BEITRAG ▪ ARTICLE OPEN ACCESS

Biokapazitive Resilienz – Leitbild und Strategie zum Aufbau einer schützenden Raumökologie. Steuerungschancen für die Raumordnungspraxis im Kontext einer klimaresilienten Entwicklung?

Jakob Hüppauff

Received: 23 June 2022 ▪ Accepted: 23 May 2023 ▪ Published online: 4 August 2023

Zusammenfassung
Lediglich eine Sicherung ökologsicher Raumfunktionen reicht nicht (mehr) aus, um deren Funktionsfähigkeit im Zuge des Klimawandels und unter zunehmendem Nutzungsdruck zu erhalten. Vielmehr bedarf es eines grundlegenden Perspektivenwechsels auch in der Raumordnungspraxis zum Aufbau einer resilienzsicherenden Raumökologie, insbesondere im Spannungsfeld von Biomasseproduktion, Kohlenstoffspeicherung und Biodiversitätsschutz. In diesem Zusammenhang wird Biokapazitive Resilienz als Impuls für ein Leitbild der Raumentwicklung zur Diskussion gestellt. Es werden mögliche Chancen für die Akteure der Raumordnung aufgezeigt, um trotz begrenzter Mittel ihren regionalen Steuerungsauftrag im Sinne einer vorsorgenden Planung im Kontext globaler Problemlagen besser auszufüllen.

Schlüsselwörter: Raumordnung ▪ Biokapazität ▪ Landdegradationsneutralität ▪ Leitbilder der Raumentwicklung ▪ Boden

Biocapacity resilience – Guiding vision and strategy for building a protective spatial ecology. Governance opportunities for spatial planning practice in the context of climate resilient development?

Abstract
Merely safeguarding ecologically spatial functions is not (or no longer) sufficient to maintain their ability to function in the course of climate change and under increasing pressure of use. Rather, a fundamental change of perspective also in spatial planning practice is required to build up a resilience-proof spatial ecology, especially due to the tension between biomass production, carbon storage and biodiversity protection. In this context, biocapacity resilience is put forward for discussion as an impetus for a guiding vision of spatial development. Possible opportunities for the actors of spatial planning are elaborated to better fulfil their regional steering mandate in the sense of precautionary planning under the lens of global challenges despite limited resources.

Keywords: Spatial planning ▪ Biocapacity ▪ Land degradation neutrality ▪ Guiding principles in spatial development ▪ Soil

✉ **Jakob Hüppauff**, Regierung von Oberbayern, Maximilianstraße 39, 80538 München, Deutschland
jakob.hueppauff@reg-ob.bayern.de

© 2023 by the author(s); licensee oekom. This Open Access article is published under a Creative Commons Attribution 4.0 International Licence (CC BY).

1 Einleitung

„Das System der Raumordnung in Deutschland ist auf das Vorsorgeprinzip hin ausgerichtet. Die Entwicklung, die Nutzung und der Schutz des Raumes sollen in erster Linie dazu dienen, die Erfüllung gesellschaftlicher Bedarfe in der Ge-

genwart und in der Zukunft zu ermöglichen“ (Beirat für Raumentwicklung 2017: 4). Angesichts bestehender und erkennbarer Raumkonflikte im Kontext einer „klimaresilienten Entwicklung“ (IPCC 2022: 30) kann angenommen werden, dass dies die Akteure der Raumordnung auf absehbare Zeit vor besondere Herausforderungen stellt.

Ersichtlich ist, dass in den nächsten Jahren der Druck auf nachwachsende Ressourcen steigt und Flächennutzungskonkurrenzen verschärft werden. Entwicklungstreiber sind weiterhin vor allem die Zunahme der Weltbevölkerung, flächenintensive Konsummuster und eine anhaltende Urbanisierung (Böttcher/Hennenberg/Wiegmann et al. 2020: 34). Bis zum Jahr 2050 wird ein Anstieg der Nachfrage nach biogenen Rohstoffen von 70 % im Vergleich zu Beginn der 2010er-Jahre prognostiziert (EK 2011: 2), auch wenn die Nutzung natürlicher Ressourcen bereits deren Regenerationsfähigkeit übersteigt (Böttcher/Hennenberg/Wiegmann et al. 2020: 34). Hinzu kommen Flächenansprüche von Maßnahmen für den Klimaschutz und die Klimawandelanpassung sowie den Biodiversitätserhalt (Pannicke-Prochnow/Krohn/Albrecht et al. 2021: 53). Außerdem übersteigen Bodenverluste im Zuge klimawandelinduzierter Degradation und durch den Anstieg des Meeresspiegels die Bodenbildungsrate (IPCC 2019: 3, 7). Für die Versorgung gesellschaftlicher Bedarfe in Industrieländern wird zu einem erheblichen Anteil auf Landflächen außerhalb ihrer Grenzen zurückgegriffen. Diese sind als Investitionsobjekt zunehmend attraktiv (Jering/Klatt/Seven et al. 2013: 41–42). Die Konfliktlage zwischen Ernährungssicherheit, Klima- und Biodiversitätsschutz fasst der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) als „Trilemma der Landnutzung“ zusammen, zu dessen Vermeidung er einen „integrierten Landschaftsansatz“ proklamiert und insbesondere die Raumordnung hierfür als zentrale Umsetzungsebene identifiziert (WBGU 2020: 1, 8).

Der vorliegende Beitrag schließt an diese Befunde an. Um den oben genannten Anforderungen durch die Raumordnung besser gerecht zu werden, bedarf es neuer methodischer und theoretischer Zugänge. Diskutiert wird anhand des im Beitrag vorgestellten Ansatzes der Biokapazitiven Resilienz (Kapitel 6) und ausgehend von einem erweiterten Biokapazitätskonzept (Kapitel 3, 4 und 5) die Notwendigkeit, Leitbilder der Raumentwicklung und Instrumente der Raumordnung im Kontext einer klimaresilienten Entwicklung zu aktualisieren (Kapitel 2). Es wird aufgezeigt, wie Raumordnungspläne als fachübergreifende Schnittstelle für den Aufbau einer resilienzsichernden Raumökologie fungieren könnten (Kapitel 7). Beabsichtigt wird, raumordnerische Aufgaben im Hinblick auf den normativen Handlungszwang ihrer Akteure im Zuge täglich ablaufender ökologischer, sozialer und ökonomischer Veränderungsdynamiken auf wesentliche Zukunftsfelder zu fokussieren und die Zusammenarbeit mit den Fachressorts zu stärken. Der vorgestellte Ansatz wird abschließend zusammengefasst und ein Ausblick für die weitere Diskussion gegeben (Kapitel 8).

Das Konzept der Biokapazität wurde in Bezug auf (räumliche) Resilienz und die Aufgaben der Raumordnung bisher nicht näher untersucht. Exemplarische Ansätze zur Ergänzung eines erweiterten Konzepts der Biokapazität hin zu einer räumlichen Kategorie und die Verknüpfung mit den Instrumenten Raumordnung, insbesondere Raumordnungspläne, bilden den fachlichen Beitrag dieses Artikels. Der Beitrag ist beschränkt auf die Raumordnung, wenngleich biokapazitive Resilienz ein umfassendes Raumentwicklungsprogramm skizziert. Bezüge zu einzelnen Fachplanungen und weiteren staatlichen Aufgaben können in diesem Beitrag nicht beleuchtet werden.

Vorab sei darauf verwiesen, dass die Ausführungen nicht als umfassend und abschließend verstanden werden sollen. Die Verknüpfung von Theorie und Praxis ist immer mit der Herausforderung verbunden, beiden Seiten gleichermaßen Rechnung zu tragen. Die Darstellungen sollen vor allem als Einstieg in die Debatte sowie weitere Forschung dienen und zur Diskussion und Vertiefung anregen.

2 Über die Notwendigkeit einer resilienzsichernden Raumökologie für eine nachhaltige Entwicklung

Im Zuge wachsender ökologischer Herausforderungen steigen auch die ökologischen Anforderungen an die Raumordnung, „stabile Umweltbedingungen als Fundament sozialer und ökonomischer Entwicklungen“ zu gewährleisten (SRU 2019: 104). Die *Sustainable Development Goals* (SDGs) der Vereinten Nationen (UN) bilden den gemeinsamen strategischen Rahmen einer global nachhaltigen Entwicklung bis 2030 (UN 2015b). Mit dem Pariser Klimaabkommen wurde international vereinbart, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C (im Vergleich zum vorindustriellen Niveau) zu begrenzen und die Bemühungen zur Begrenzung des Temperaturanstiegs auf möglichst 1,5 °C fortzusetzen (UN 2015a: 2). In diesem Zusammenhang wird auch auf die Notwendigkeit der Integrität von Ökosystemen, den Schutz der Biodiversität und die Bedeutung der Ernährungssicherheit im Zuge der Klimawandelanpassung hingewiesen (UN 2015a: 1–2). Die Bundesregierung hat hierzu den Klimaschutzplan 2050 aufgestellt (BMU 2016). Um das globale Klimaziel zu erreichen, hat das Bundesverfassungsgericht von der Bundesre-

gierung Nachbesserungen im Klimaschutzgesetz gefordert.[1] Aus dem Beschluss geht hervor, dass für die Belange des Klimaschutzes aus Gründen der faktischen Dringlichkeit und staatlichen Sorgfaltspflicht zwar kein absoluter Vorrang abgeleitet werden kann, jedoch relativ eine zunehmende Bedeutung. Demnach wäre diesen Belangen auch in der Raumordnung ein stärkeres Gewicht beizumessen (vgl. auch Wagner 2019: 167). Aus dem allgemeinen Ziel, klimaschädliche Treibhausgase zu reduzieren, ergeben sich vielfältige Anforderungen an die Transformation der Landnutzung (vgl. auch BMUV o.J.). Besonders herausfordernd scheint, dieses Ziel mit dem gesellschaftlichen Bedarf an Landflächen in Einklang zu bringen und gleichermaßen für die Klimawandelanpassung im Kontext unsicherer globaler Verhältnisse (u. a. Corona-Pandemie, Ukraine-Krieg) Vorsorgeleistungen zu erbringen (WBGU 2020: 1). Neben einer weiteren Vermeidung von Degradationsprozessen ist deren Entwicklung zur Gewährleistung resilienzsichernder Umweltbedingungen geboten (SDG 15.3[2]), das heißt ökologische Reserven anzulegen, um elementare biosphärische Prozesse, und damit auch die Versorgung mit Biomasse, aufrechtzuerhalten (IPCC 2019: 31). Entscheidend für das Erreichen der *Sustainable Development Goals* ist hierbei in erheblichem Maße der Erhalt und die Verbesserung der Funktionalität von Böden (Bonfante/Basile/Bouma 2020: 456; Lal/Bouma/Brevik et al. 2021: 1). Der Intergovernmental Panel on Climate Change fordert insbesondere, den Erhalt funktionsfähiger Ökosysteme zu fördern. In Anbetracht sich „verengender Möglichkeiten" zur Umsetzung einer „klimaresilienten Entwicklung" bestimmt zunehmend die Integrität von Ökosystemen die Handlungsmöglichkeiten für den Klimaschutz und die Klimawandelanpassung und damit die Chance einer „nachhaltigen Entwicklung für alle" (IPCC 2022: 30, 10).

Biokapazitive Resilienz umfasst in diesem Zusammenhang die Sicherung und Entwicklung widerstandsfähiger essenzieller – man könnte auch sagen – kritischer ökologischer Raumfunktionen als Voraussetzung für eine nachhaltige soziale und wirtschaftliche (Raum-)Entwicklung. In Anlehnung an die Idee einer „schützenden Ökologie" (Bude 2022) wird damit ein strategischer und vorsorgeorientierter Raumentwicklungsprozess zum Aufbau einer resilienzsichernden Raumökologie konturiert. Beabsichtigt wird, vor dem Hintergrund des Klimawandels widerstandskräftigende Umweltbedingungen zu gewährleisten, um die Möglichkeit auf eine nachhaltige Raumentwicklung sowie gesellschaftliche und intergenerationelle Gestaltungsalternativen zu bewahren (SRU 2019: 104). Abgeleitet aus dem „Trilemma der Landnutzung" (WBGU 2020: 1) werden Biomasseproduktion, Kohlenstoffspeicherung und Biodiversitätsschutz als elementare ökologische Raumfunktionen näher betrachtet und unter dem erweiterten Konzept der Biokapazität zusammengefasst.

Die im Rahmen des Beitrags behandelten Erweiterungen und Ergänzungen des Biokapazitätskonzepts als räumliche Kategorie und planerisch-methodische Grundlage biokapazitiver Resilienz bauen auf den Arbeiten des *Global Footprint Networks* (Lin/Hanscom/Martindill et al. 2019), von Venetoulis/Talberth (2008) und von Guo/Yue/Li et al. (2017) auf und schließen insbesondere an die Überlegungen von Kegler (2022: 251–258) an.

3 Biokapazität, das Pendant des ökologischen Fußabdrucks: Grundlagen und Kritik

Die Diskussion über Einsatzmöglichkeiten des ökologischen Fußabdrucks in der räumlichen Planung ist nicht neu. Insbesondere seine Anwendbarkeit zur Vorbereitung von Planungsentscheidungen wurde in der Fachliteratur kritisch reflektiert (z. B. Narodoslawsky/Stöglehner 2010). Grundlegende Überlegungen, die räumliche Dimension des ökologischen Fußabdrucks – die Biokapazität – als Kategorie einer resilienzorientierten Daseinsvorsorge mit globalen Bezügen für die Raumplanung zu operationalisieren, diskutieren Kegler und Köstermenke (2017: 43) (vgl. weiterführend Kegler 2022: 251–258). Zur Einordnung eines erweiterten Konzepts der Biokapazität werden zunächst die methodischen Grundlagen des ökologischen Fußabdrucks und der Biokapazität dargestellt, bevor Biokapazität als eigenständige räumliche Kategorie abgegrenzt wird (Kapitel 4 und 5).

Der ökologische Fußabdruck stellt ein Berechnungsverfahren von Ökobilanzen dar. Sie ermitteln zumeist den Konsum einer Einheit in Bezug auf das Verhältnis von Angebot und Nachfrage (z. B. Bedarf an Landflächen einer Region). Etabliert hat sich der ökologische Fußabdruck vor allem in der Nachhaltigkeitsbildung (Giljum/Hammer/Stocker et al. 2007: 71). Anlass bildete Anfang der 1990er-Jahre die Absicht, Auswirkungen städtischer Flächenbedarfe auf Gebiete außerhalb ihrer Grenzen zu veranschaulichen (Rees 1992: 121). Ziel war es, ungleiche Ressourcenverhältnisse zwischen städtischen und ländlichen Räumen sowie deren Verflechtung mit globalen ökosystemaren Prozessen im Kontext „zunehmender ökologischer Unsicherheiten" aufzuzeigen (Rees 1992: 121). Der ökologische Fußabdruck ist wohl die bekannteste und gleichermaßen am stärksten kritisierte Methode (van den Bergh/Verbruggen

[1] Bundesverfassungsgericht, Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021, 1 BvR 2656/18, Rn. 1-270.

[2] https://sdgs.un.org/goals/goal15 (19.05.2023).

1999; Giljum/Hammer/Stocker et al. 2007), mit deren Hilfe versucht wird, bioproduktive Flächenbedarfe und -angebote in einer einheitlichen Metrik darzustellen (Thornbush 2021: 1). Berechnet werden sie für die Landnutzungstypen Siedlungsland, Ackerland, Grünland, Waldland und Gewässer.

Im Unterschied zu anderen Fußabdruck-Methoden (z. B. Fischer/Tramberend/Bruckner et al. 2017) steht der ökologische Fußabdruck (ÖF) dem Fußabdruck[3] die Biokapazität (BK)[4] gegenüber. Durch die Gegenüberstellung der aggregierten Größen werden unterschiedliche Verbrauchs-Konstellationen abgeleitet (Gleichgewicht: BK = ÖF; Defizit: BK < ÖF; Reserve: BK > ÖF) (Giljum/Hammer/Stocker et al. 2007: 11–16). Die Umrechnung beider Größen in eine universelle Flächenbezugseinheit – den globalen Hektar (gha) – soll deren Vergleichbarkeit ermöglichen. Für den ökologischen Fußabdruck wird hierfür zunächst der Konsum durch den durchschnittlichen weltweiten Ertrag der diesem Konsum zugrunde liegenden Fläche dividiert. Anschließend werden die Erträge mit dem zugehörigen Äquivalenzfaktoren[5] (ÄQF) multipliziert. Für die Biokapazität werden zunächst bioproduktive Landflächen (A) mit den jährlich aktualisierten Ertragsfaktoren[6] (EF) und dem intertemporalen Ertragsfaktor[7] (IEF) multipliziert. Der hieraus resultierende „global vergleichbare Ertrag" einzelner Flächen wird auch mit dem entsprechenden Äquivalenzfaktor multipliziert (Giljum/Hammer/Stocker et al. 2007: 11–16). Die Biokapazität wird mit folgender Formel berechnet (Lin/Hanscom/Martindill et al. 2019: 9):

$$BK = A \times EF \times IEF \times \ddot{A}QF \qquad (1)$$

Unter Biokapazität wird die flächenbezogene Leistungsfähigkeit der biogenen Ressourcenbasis anhand der oben genannten Landnutzungstypen zusammengefasst. Sie ist eine relative Größe, die durch die naturräumlichen Voraussetzungen, die räumliche Verteilung der Landnutzungstypen und die eingesetzten Landnutzungstechniken beeinflusst wird. Die Biokapazität drückt demnach keine absolute globale ökologische Grenze aus, sondern eher das maximale Potenzial eines/aller Landnutzungstypen zu einem Zeitpunkt X bestimmte Mengen an Biomasse zu produzieren oder CO_2 zu absorbieren (Haberl/Erb/Krausmann 2001: 43; Blomqvist/Brook/Ellis et al. 2013; Rees/Wackernagel 2013; Lin/Galli/Borucke et al. 2015: 187).

Fußabdruck-Methoden stehen vor ähnlichen methodischen Herausforderungen, z. B. globale Land-/Stoffströme konsistent zu ermitteln (Bruckner/Giljum/Fischer et al. 2017: 38–39). Wesentliche Kritikpunkte an der Methodik des *Global Footprint Networks* (GFN) sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Hervorzuheben ist zudem die Kritik von Haberl/Erb/Krausmann (2001), die aufgrund der räumlichen und zeitlichen Abhängigkeit des ökologischen Fußabdrucks und der Biokapazität von Biomasseerträgen und den daraus folgenden methodischen und interpretativen Schwierigkeiten in Bezug auf mögliche politische Strategien ökologische Bedenken anführen: Aus politischen Gründen seien (staatliche) Maßnahmen zur Reduktion des *Overshoot*, die auf Ertragssteigerungen und Landnutzungsänderungen abzielen, attraktiver als den Pro-Kopf-Verbrauch und die Bevölkerungszunahme zu senken. Für erstgenannte Maßnahmen wäre ein „drastischer Landnutzungswandel" notwendig, der nur durch die Umwandlung ertragsarmer in ertragreiche Landnutzungstypen erzielt werden könnte (vor allem von Grünland in Acker-/Waldland) mit gegebenenfalls negativen Effekten, beispielsweise für den Erhalt der Biodiversität (Haberl/Erb/Krausmann 2001: 42–43).

Zu Illustrationszwecken wird für Deutschland, aufbauend auf der Siedlungsflächenprojektion 2045 des Umweltbundesamts (Behmer 2020: 50–51), die Entwicklung der Biokapazität überschlägig für einzelne Landnutzungstypen in Bezug auf drei Landnutzungsprojektionen extrapoliert (vgl. Tabelle 2). Die drei Projektionen „Stabilität" (= Erreichen 30-ha-Ziel), „Trend" (= Verbrauch von Siedlungs- und Verkehrsfläche von 40 ha/Tag) und „Dynamik" (= Verbrauch von Siedlungs- und Verkehrsfläche von 45 ha/Tag) beschreiben mögliche Entwicklungen der Flächennutzung in Deutschland für den Zeitraum 2015 bis 2045. Unterschiede zwischen den Projektionen bestehen hinsichtlich der Flächenzunahme des Siedlungslands (Siedlungs- und Verkehrsfläche = SL) und der anteiligen Flächenabnahme von Grasland (GL) und Ackerland (AL). Die Zuwachsrate von Waldland (WL) und die Abnahme naturnaher Flächen (NF) ist in allen Projektionen (modellbedingt) gleich.

Deutlich wird, dass der Flächenproporz in Abhängigkeit des jeweiligen Landnutzungstyps den wesentlichen Einflussfaktor für die rechnerisch ermittelte Biokapazität darstellt. Die Zuwachsrate von Waldland gleicht die biokapazitiven Verluste bilanziell aus. Bei Erreichung des 30-ha-Ziels würde die Biokapazität in beiden Fällen relativ am stärksten

[3] Konsum = Produktion + Import – Export.

[4] Jährlich verfügbares Biomassepotenzial aller Landnutzungstypen.

[5] Globales Biomassepotenzial je Hektar eines Landnutzungstyps. Äquivalenzfaktoren basieren auf dem *Suitabile Index* des GAEZ-Modells der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) (Lin/Hanscom/Martindill et al. 2019: 54–55). Alternative Ansätze fußen auf der Nettoprimärproduktion (NPP); hierbei wird ein größeres Defizit ermittelt (Venetoulis/Talberth 2008: 453).

[6] Flächenproduktivität eines Landnutzungstyps im Vergleich zu dessen Weltdurchschnitt.

[7] Zeitliche Veränderung globaler Durchschnittserträge.

Tabelle 1 Übersicht der Kritik an der Methodik des *Global Footprint Networks*

Aggregation	Die Verwendung eines einzigen Werts (globaler Hektar) für den ökologischen Fußabdruck ist eine vereinfachende und reduktionistische Maßeinheit.
Maßstab	Räumlich: Die Berechnungen fußen auf willkürlichen räumlichen, administrativen Einheiten ohne ökologische Bedeutung. Zeitlich: Ein statisches Maß, das keine Vorhersagen ermöglicht, z. B. über künftige Biokapazitätsverluste.
Scheingenauigkeit	Die Methodik schafft eine scheinbare Genauigkeit aufgrund hypothetischer statt tatsächlicher Flächennutzung(sströme).
Nutzen	Anthropozentrisches Umweltbewusstsein: In der Biokapazität werden nur die für den Menschen ‚produktiven' Teile der Erde berücksichtigt. 36 Milliarden Hektar ‚unproduktives' Land fehlen, trotz ihrer ökosystemaren Bedeutung.
Qualität	Maß für extensive Produktion, das Umweltauswirkungen intensiver Produktion (z. B. Degradation) nicht berücksichtigt.
Landnutzung	Erfasst Landnutzungen zur Vermeidung von Doppelzählungen monofunktional; dies entspricht nicht der Realität und kann den ökologischen Fußabdruck verzerren bzw. lediglich rechnerisch vergrößern. Unvollständigkeit: Faktoren wie z. B. Wasserverbrauch, Schadstoffeinsatz und die biologische Vielfalt werden nicht berücksichtigt.
Energie-Zentrismus	Ökologischer Fußabdruck wird von der Energie-Komponente dominiert – der *Overshoot* ist primär dem Kohlenstoff-Fußabdruck zuzuschreiben, aufgrund der hypothetischen Umwandlung von Energie in Landnutzung, basierend auf einer Strategie (Aufforstung), um Abfälle auszugleichen.
Äquivalenzfaktoren	Die Verwendung von Äquivalenzfaktoren ist problematisch, z. B. wenn der Äquivalenzfaktor in einem Jahr sinkt, sinkt auch der ökologische Fußabdruck, weil angenommen wird, dass weniger Biokapazität genutzt wird; außerdem berücksichtigen Äquivalenzfaktoren nicht die Produktivitätsunterschiede innerhalb der Landnutzungstypen. Problematische Annahmen, z. B. dass Bebauung grundsätzlich produktives Land einnimmt.
Ertragsfaktoren	Länder (z. B. Kanada) können sich über mehrere Klimazonen erstrecken.
Datenqualität	Daten (aus amtlichen Statistiken) haben keine Fehlerspanne und können nur schwer überprüft werden; Daten stammen hauptsächlich von der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO), der Internationalen Energieagentur (IEA) und dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Quelle: Eigene Darstellung nach Thornbush (2021: 12–14).

Tabelle 2 Entwicklung der Biokapazität (BK) in Deutschland auf Grundlage der UBA-Siedlungsflächenprojektion bis 2045 für die Landnutzungstypen Siedlungsland (SL), Ackerland (AL), Grasland (GL) und Waldland (WL)

	2015 Vergleichsjahr		2045 Stabilität[a]			2045 Trend			2045 Dynamik		
	qkm	gha	qkm	gha	%	qkm	gha	%	qkm	gha	%
SL[b]	38.121	7.236.699	2.799	531.348	7,34	4.774	906.272	12,52	5.508	1.045.611	14,45
AL	126.852	48.161.892	-2.551	-968.538	-2,01	-3.802	-1.443.505	-3,00	-4.268	-1.620.431	-3,36
GL	64.518	6.621.284	-1.395	-143.165	-2,16	-2.119	-217.466	-3,28	-2.388	-245.073	-3,70
WL	109.268	56.642.853	3.386	1.755.250	3,10	3.386	1.755.250	3,10	3.386	1.755.250	3,10
NF	9.881	–	-2.238	–	-22,6	-2.238	–	-22,6	-2.238	–	-22,6
qkm	348.640										
BK	**–**	118.662.728	–	1.174.896	**0,99**	–	1.000.551	**0,84**	–	935.357	**0,79**
BK - SL	**–**	111.426.029	–	643.548	**0,58**	–	94.279	**0,08**	–	-110.254	**-0,10**

Die Berechnung der BK wurde für SL, AL (für beide 1,53 EF, 2,5 ÄQF), GL (2,23 EF, 0,46 ÄQF) und WL (4,05 EF, 1,28 ÄQF) mit konstanten Variablen aus dem Jahr 2015 durchgeführt. Der IEF für AL und SL beträgt 0,99 und für WL und GL 1,00. Gewässer und naturnahe Flächen wurden aufgrund der UBA-Siedlungsflächenprojektion in Verbindung mit der Methodik des GFN nicht berücksichtigt.
[a] Veränderung gegenüber Vergleichsjahr 2015
[b] Für SL werden abweichend von der Methodik des GFN nur 50 % der BK zugerechnet. In Deutschland sind ca. 50 % der Siedlungs- und Verkehrsflächen versiegelt; versiegelte Flächen stellen keine wesentlichen biokapazitiven Leistungen zur Verfügung.

zunehmen. Sofern dem Siedlungsland kein biokapazitives Potenzial zugeschrieben wird, zeigt sich, dass die Verluste an Gras- und Ackerland in ihrem Umfang durch die Gewinne an Waldland kaum bzw. nicht ausgeglichen werden können.

4 Biokapazität als eigenständige räumliche Größe und Kategorie (einer planvollen Raumentwicklung)?

Die Extrapolation in der Tabelle 2 zeigt, dass das Niveau der Biokapazität in Abhängigkeit einer mehr oder weniger planvollen Raumentwicklung steht. Aus der Sicht des Autors erscheint daher eine erneute Auseinandersetzung mit dem Konzept der Biokapazität[8] in Bezug auf die Aufgaben der Raumordnung im Kontext einer klimaresilienten Entwicklung sinnvoll:

Biokapazität kann als eigenständige räumliche Größe interpretiert werden. Sie muss daher nicht notwendigerweise mit dem ökologischen Fußabdruck und einem daraus abgeleiteten Flächenausgleichsbedarf in Verbindung gesetzt werden. Biokapazität ist dynamisch; sie ändert sich zeitlich und räumlich. Ihre Veränderung kann planvoll (biokapazitätspositiv) oder ungeplant erfolgen. Biokapazität ist gegenüber dem Klimawandel exponiert/vulnerabel. Der Erhalt des Biokapazitätsniveaus eines Raumes kann daher schon eine planerische Herausforderung darstellen und bedarf räumlich-strategischer Maßnahmen. Ferner setzt sich Biokapazität aus den raumordnerischer Steuerung unterliegenden Raumnutzungen und -funktionen zusammen und ist entsprechend auch von den jeweiligen Festlegungen in Raumordnungsplänen abhängig. Sie kann das Verhältnis von raumordnerischen Kategorien neu bestimmen, insbesondere das Zusammenwirken von Funktion, Nutzung und Fläche. Die raumordnerische Steuerung der Biokapazität kann unter Berücksichtigung ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen im Zuge der Erstellung eines Raumordnungsplanes erfolgen, sofern Maßnahmen zur Entwicklung der Biokapazität räumlich (*bottom-up*) – und nicht rein rechnerisch (*top-down*) – ermittelt und abgeleitet werden. Schließlich stellt Biokapazität insbesondere im Zuge der Bioökonomisierung und des fortschreitenden Klimawandels einen wesentlichen räumlichen Standort- und Resilienzfaktor dar.

Es wird im Folgenden ausgeführt, inwiefern Biokapazität als gesamträumliche und fachübergreifende Bezugsgröße zur nachhaltigen Steuerung von Nutzungen und Funktionen eines Raumes fungieren könnte. Der Ansatz hierbei ist, dass eine auf die Biokapazität ausgerichtete räumliche Strategie auf die Erhöhung ihrer Resilienz im Zuge des Klimawandels (Optimierung) zielt und nicht auf den Ausgleich des ökologischen Fußabdrucks (Maximierung). Dies bildet den Anstoß, Biokapazität als querschnittsorientierte Raumkategorie und biokapazitive Resilienz als Leitbild für die Raumentwicklung zu diskutieren.

[8] Unter Berücksichtigung entsprechender Erweiterungen und Ergänzungen (vgl. Kapitel 5).

5 Erweitertes Konzept der Biokapazität und methodische Herausforderungen

In den letzten drei Dekaden wurden in der Fachliteratur vielzählige Ansätze zur Verbesserung der Methodik des ökologischen Fußabdrucks diskutiert (Thornbush 2021: 12–14). Für den hier verfolgten Ansatz sind die von Venetoulis/Talberth (2008) formulierten Berechnungen zur Bilanzierung der Biokapazität hervorzuheben. Sie berücksichtigen die gesamte Erdoberfläche (auch weniger produktive Flächen wirken biokapazitiv), den Lebensraum anderer Arten (nicht alle produktive Flächen können dem Menschen dienen (Biokapazitätsüberschätzung)) und Flächen für die Kohlenstoffspeicherung (bioproduktive Flächen sind multifunktional). Biokapzität wird demnach wie folgt definiert: Sie ist die Fähigkeit von Land- und Wasserflächen (Güte), Biomasse zu produzieren, Kohlenstoff zu binden und Biodiversität zu erhalten. Durch die definitorische Erweiterung der Biokapazität erweist sich die Biomasseproduktion nicht mehr als die alleinige, sondern als eine neben zwei weiteren gleichwertigen Teilgrößen (Biodiversitätsschutzfläche (BD), Kohlenstoffspeicherung (K)). Venetoulis und Talberth (2008: 452–453) berechnen die erweiterte Biokapazität folgendermaßen:

$$ewBK = (BK - BD) + A \times K \tag{2}$$

Neben den oben genannten Faktoren ist für das biokapazitive Flächenpotenzial die Funktionsfähigkeit von Böden als Träger der Biokapazität – neben Gewässern[9] – von besonderer Bedeutung (vgl. Abbildung 1). Böden werden bis zu sieben Funktionen zugeschrieben: [I] Erzeugung von Biomasse, auch in der Land-/Forstwirtschaft; [II] Speicherung, Filterung und Umwandlung von Nährstoffen, anderen Stoffen und Wasser; [III] Pool für die biologische Vielfalt; [IV] physisches und kulturelles Umfeld für den Menschen; [V] Rohstoffquelle; [VI] Kohlenstoffspeicher; [VII] Archiv geologischen und archäologischen Erbes der Menschheit (EK 2006: 16). Böden erfüllen alle sieben Funktionen, wobei je nach Beschaffenheit unterschiedliche Eignungen bestehen (Schulte/Bampa/Bardy et al. 2015; Bonfante/Basile/

[9] Auch Gewässer stellen Biokapazität zur Verfügung. Sie stehen (bisher) nicht im gleichen Maße in Konkurrenz wie bodengebundene Landnutzungen; daher werden sie in diesem Beitrag nicht betrachtet.

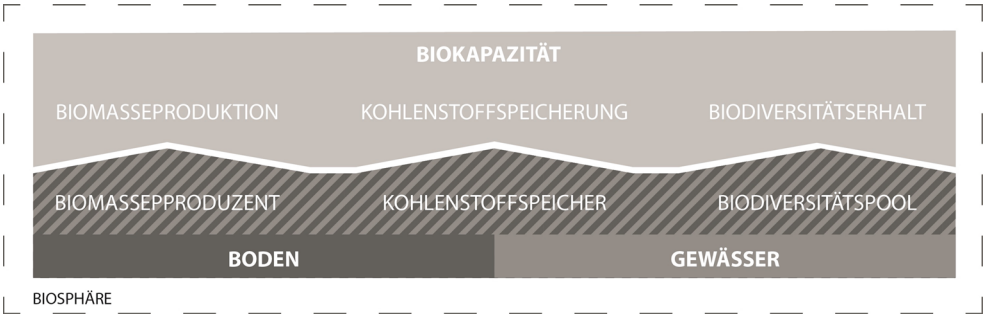

Abbildung 1 Naturräumliche Voraussetzungen der Biokapazität

Bouma 2020: 456). Die erweiterte Biokapazität kann mit mindestens fünf der oben genannten Funktionen verbunden werden: So bildet die Ertragsfähigkeit von Böden als natürlicher Produktionsfaktor die zentrale Voraussetzung für die land-/forstwirtschaftliche Bereitstellung von Biomasse [I] (Liedtke/Marschner 2003: 104–105; Jering/Klatt/Seven et al. 2013: 28). Böden sind aufgrund ihrer Filter-/Speicherfähigkeit von Stoffen der größte terrestrische Kohlenstoffspeicher [II, VI] (Lal 2015: 16–17) und beheimaten als Pool biologischer Vielfalt circa ein Viertel aller Arten weltweit [III, VIII] (Jeffery/Gardi/Jones et al. 2010: 9; FAO 2020: XXII). Die Verknüpfung der erweiterten Biokapazität mit der Funktionalität von Böden ermöglicht, die abstrakte Größe der Biokapazität räumlich differenziert zu verorten.

Auch bei einer Berechnung der erweiterten Biokapazität bleiben methodische Herausforderungen bestehen. Bisher ist Biokapazität eine rechnerische Größe, die (standardmäßig) nur eingeschränkt auf die tatsächlichen Flächen in einem Raum zurückgeführt werden kann und damit räumliche Unterschiede nivelliert (Thornbush 2021: 12–14; vgl. auch Haberl/Erb/Krausmann 2001: 28–31). Sowohl Venetoulis und Talberth (2008) als auch Guo, Yue, Li et al. (2017) lösen diese Kritik nicht auf. Daher wäre die Ergänzung der landnutzungsbezogenen Methodik durch einen bodenfunktionsbezogenen Ansatz für eine räumliche Bilanzierung der Biokapazität notwendig.

Für das bundesdeutsche Gebiet könnte die Biokapazitätsformel für Acker- und Grasland durch die Werte der Bodenschätzung ergänzt werden. Die Acker-/Grünlandzahlen geben jeweils das Ertragsniveau einer Fläche im Verhältnis zu den ‚besten' Böden in Deutschland wieder (Liedtke/Marschner 2003: 104);[10] sie sind zudem ein etablierter Indikator zur Abgrenzung raumordnerischer Gebiete. Ein durchschnittlicher landnutzungsbezogener Biokapazitätswert wäre unter Berücksichtigung der Bodenwertzahl (BZ) für eine einzelne Fläche auf-/abzuwerten.[11] Für eine gebietsscharfe Darstellung der regionalen Biokapazität (regBK) für die Landnutzungstypen AL und GL im raumordnerischen Maßstab könnte die Formel folgendermaßen ergänzt werden:

$$regBK = BK \times BZ \tag{3}$$

Venetoulis und Talberth (2008: 452) berechnen die Kohlenstoffbindung von Landflächen pauschal, nicht räumlich differenziert. Die Berechnung könnte analog zur Bodenwertzahl erfolgen, indem das Speicherpotenzial je Boden unter Berücksichtigung der Nutzung einbezogen wird. Auch wenn kein vergleichbarer Ansatz zur Bodenschätzung existiert, wurde die Datenlage hierzu in den letzten Jahren auf-/ausgebaut (z. B. Wellbrock/Bolte/Flessa 2016; Jacobs/Flessa/Don et al. 2018). Entsprechende Werte ließen sich hieraus zumindest näherungsweise ableiten.

Auch Guo/Yue/Li et al. (2017) beziehen keine – wie von Venetoulis und Talberth (2008: 453) vorgeschlagen – Flächen für den Biodiversitätsschutz[12] ein. Bei einer räumlichen Bilanzierung könnte der Schutzraum für die Biodiversität anhand bestehender und geplanter Schutzgebiete von der regionalen Biokapazität abgezogen, gleichzeitig aber je Boden differenziert deren Kohlenstoffbindung angerechnet werden. Die Kohlenstoffbindung und der Biodiversitätsschutz sind vor allem für die Inwertsetzung der „less productive lands" bedeutend (Venetoulis/Talberth 2008: 453).

[10] Für Waldböden gibt es kein vergleichbares Verfahren (Liedtke/Marschner 2003: 104). Hier müsste zunächst ein landnutzungsbezogener Ansatz – gegebenenfalls gestuft nach Flächenproduktivität einzelner Waldtypen – herangezogen werden.

[11] Bei einem fiktiven bundesweiten Durchschnitt der Ackerzahl von 50 und einer fiktiven Fläche mit einer Ackerzahl von 80 beträgt die Bodenwertzahl 1,6. Folglich würde der globale Hektar für diese Fläche von 3,6 des bundesweiten Durchschnitts auf einen regionalen Wert 5,7 steigen.

[12] 30 % der Unionsfläche sollen künftig für die Biodiversität geschützt werden (EK 2020: 4–5).

Mit den bereits genannten Erweiterungen und Ergänzungen der Biokapazität ließen sich insbesondere folgende Vorteile für die Praxis verbinden:

- Sie bilden elementare ökologische Raumfunktionen differenziert gemäß ihrer Flächenleistungen und räumlichen Struktur ab.
- Sie lassen sich mit etablierten Planungspraktiken verbinden (niederschwellige Anwendung).
- Sie reduzieren durch den räumlichen Ansatz die Gefahr pauschaler – gegebenenfalls ökologisch negativer – Entwicklungen.
- Sie schaffen eine neue planerische Perspektive, Schutz- und Nutzungsanforderungen an einen Raum in einer übergeordneten Kategorie zu verbinden.
- Sie schaffen die Grundlage für einen eigenständigen Ansatz, die raumordnerischen Aufgaben, ergänzend zur institutionalisierten Konfliktvermeidung, stärker vorsorgeorientiert auszurichten.

6 Biokapazitive Resilienz als Impuls für ein Leitbild der Raumentwicklung

Der Begriff des Leitbilds ist unscharf und findet dementsprechend vielfältige Verwendung. Leitbilder fungieren als Handlungsstrategie und bilden ein mittelfristiges (unverbindliches) Arbeits-/Aktionsprogramm. Sie setzen zeitliche und räumliche Prioritäten und haben den Anspruch, Orientierung zu geben. In der Raumentwicklung sollten Leitbilder mit den Grundprinzipien der Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse und der Nachhaltigkeit vereinbar sein (Aring 2018: 1397). Die Entwicklung von Leitbildern der Raumentwicklung steht vor allem vor der Herausforderung, globalen Problemlagen auf der landesweiten bzw. regionalen planungspolitischen Ebene zu begegnen, z. B. staatliches Abstandsgebot vor ökologischen Belastungsgrenzen[13] (SRU 2019: 75–76), ohne durch zu hohe Anforderungen öffentliche Planungsstellen zu überfordern und Pläne zu überfrachten (Knieling/Kretschmann/Zimmermann et al. 2016: 16; Deppisch/Geißler/Poßer et al. 2022: 82).

Zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung existieren bereits viele Ansätze, Konzepte und Strategien. Der räumlichen Planung wird oftmals eine Schlüsselrolle zugeschrieben (IPCC 2019: 31; WBGU 2020: 8; IPCC 2022: 25) – weniger jedoch eine direkte Verbindung zu deren Aufgaben, Prozessen und Instrumenten aufgezeigt.[14] Mit dem Ansatz biokapazitiver Resilienz wird versucht, diese Verbindung stärker herauszuarbeiten. ‚Neu' ist, die Wechselwirkung zwischen den Raumnutzungen und -funktionen in Bezug auf ihren Beitrag zum Aufbau einer resilienzsichernden Raumökologie genauer zu betrachten und direkter mit den raumordnerischen Instrumenten zu verknüpfen.

Biokapazität als grundsätzlich querschnittsorientierte Raumkategorie

Biokapazität bildet sich im Zusammenwirken verschiedener Raumnutzungen und -funktionen aus, die bereits Gegenstand von Raumordnungsplänen sind. Das Biokapazitätskonzept ermöglicht aufgrund des querschnittsorientierten Charakters, die Zusammenarbeit der zum Teil nebeneinander und additiv agierenden Raumordnung und Fachplanung zu verbessern. Durch die Rückwirkung auf und die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Sektoren der Landnutzung könnte die Biokapazitätssicherung und -entwicklung zu einem sektorenübergreifenden Strategierahmen und eigenständigen raumordnerischen Belang erhoben werden.

Die Verknüpfung des Biokapazitätskonzepts mit den Funktionen des Bodens stellt in Ergänzung zu einem landnutzungsbezogenen Ansatz Raumbezüge her. Es knüpft an etablierte planerische Konzepte und Instrumente an und erweitert diese, indem insbesondere das Verhältnis von Fläche, Funktion und Nutzung durch die Kategorie der Kapazität raumordnerisch (neu) bestimmt und bewertet werden könnte – speziell in Bezug auf die Gewichtung individueller Nutzungs- und gesellschaftlicher Funktionsansprüche an einen Raum (Kegler 2022: 254). Auch raumstrukturell ergäben sich neue Akzente. Das sozioökonomisch ausgerichtete Zentrale-Orte-Konzept eignet sich im Kontext einer klimaresilienten Entwicklung nur begrenzt, Vorgaben für die räumliche Entwicklung abzuleiten – ein ökologisches Pendant fehlt. Das Biokapazitätskonzept bietet hierfür erste Ansätze: Das Ziel, ein gewisses Versorgungsniveau in allen Teilräumen zu gewährleisten, sollte vor dem Hintergrund des Klimawandels nicht weiter losgelöst von der Resilienz der Biokapazität betrachtet werden (IPCC 2022: 34; Kegler 2022: 258). Die Einteilung strukturstarker/-schwacher Räume erfolgt vorrangig durch die Erreichbarkeit von spezialisierten Gütern und Dienstleistungen. Bezogen auf die Biokapazität verkehrt sich diese Betrachtung mitunter ins

[13] Insbesondere die Bestimmung regionaler Belastungsgrenzen als Vorläufer globaler Kipppunkte (vgl. Dearing/Wang/Zhang et al. 2014: 228).

[14] Ausdrückliche Bezüge zur Raumordnung finden sich beispielsweise in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie nur in Bezug auf das Thema Flächensparen (Bundesregierung 2020: 265-285). Bezüge zum Querschnittsthema Erhalt von Landökosystemen werden nicht hergestellt (Bundesregierung 2020: 326-340).

Gegenteil, sodass die Förderung ländlicher Räume und von Stadt-Umland-Beziehungen neue Impulse erfahren könnte (Kegler/Köstermenke 2017: 44). Eine baulich orientierte sozioökonomische Gleichwertigkeit beider Räume sollte in Bezug auf die Biokapazität überdacht und eher tatsächliche Raumpotenziale zur Verbesserung der Biokapazität und entsprechende Ausgleichsmechanismen gestärkt werden (Kegler 2022: 254–255).

Biokapazitive Resilienz im Kontext einer global nachhaltigen (Raum-)Entwicklung

Eine nachhaltige Entwicklung wird sich unter anderem an der Etablierung einer „Landdegradationsneutralen Welt" bis 2030 (UN 2015b: 14) messen lassen müssen. Zur Messung dieses Ziels hat sich bisher kein überzeugender Indikator etabliert (Wunder/Kaphengst/Frelih-Larsen et al. 2018). Der konzeptionelle Ansatz des Ziels könnte auch mit dem Konzept biokapazitiver Resilienz verbunden werden, indem die regionale Biokapazität als Referenz für die künftige Raumentwicklung angesetzt wird, deren Niveau sich künftig mindestens nicht verschlechtern sollte. Dazu wären vor allem bioproduktive Flächenverluste nicht nur naturschutzfachlich, sondern auch biokapazitiv, das heißt in globalen Hektaren, auszugleichen. Um den Druck auf bioproduktive Flächen in anderen Teilen der Welt zu mildern, könnte die Inanspruchnahme von Freiflächen in gewissem Maße biokapazitiv überkompensiert werden, indem bei Ausgleichsmaßnahmen ein möglichst hoher Biokapazitätswert geschaffen wird. Langfristig könnte dies zur Biokapazitätsgewinnung in ein Ziel für eine negative Flächeninanspruchnahme (- x ha/Tag) münden.

Ein Resilienzziel, das den Bedarf an Biokapazität ins Auge fasst, ist ein schwierigeres Unterfangen – vermutlich wird dies daher in der Raumentwicklung kaum behandelt (bezüglich Planung vgl. Deppisch/Geißler/Poßer et al. 2022: 81; bezüglich Indikatorentwicklung vgl. Wunder/Kaphengst/Frelih-Larsen et al. 2018: 64; weiterführend vgl. Kegler 2022: 254–255). Gleichwohl zählt „die Erfüllung gesellschaftlicher Bedarfe" zu ihrem Kerngeschäft (Beirat für Raumentwicklung 2017: 4).

Biokapazitive Resilienz als Aufgabe der Raumordnung

„Die hoheitliche Aufgabe der Raumordnung beinhaltet die zusammenfassende [c], überörtliche [a] und fachübergreifende [b] Planung und Ordnung des Raums. Demgemäß bestimmt § 1 Abs. 1 ROG als Aufgabe der Raumordnung die Entwicklung und Ordnung des Gesamtraums […] und seiner Teilräume durch […] Raumordnungspläne" (Knieling/Kretschmann/Zimmermann et al. 2016: 23).

[a] Die in § 1 Abs. 1 ROG[15] bestimmten Aufgaben und die durch § 2 Abs. 2 ROG geregelten gesetzlichen Grundsätze der Raumordnung stellen überörtliche und übergeordnete Aufgaben dar. Biokapazitive Resilienz ist in den Grundsätzen der Raumordnung nicht ausdrücklich erwähnt, knüpft aber an viele Grundsätze an. Die Sicherung und Entwicklung biokapazitiv bedeutender Raumfunktionen in einem sich ändernden Klima ist zunächst eine Maßnahme der Klimawandelanpassung und des Klimaschutzes (§ 2 Abs. 2 Nr. 6 S. 6 ROG). Sie steht in engem Verhältnis zur Funktionsfähigkeit von Böden, des Wasserhaushalts, der Tier- und Pflanzenwelt sowie des Klimas (§ 2 Abs. 2 Nr. 6 S. 1 ROG), dem Schutz von Freiräumen (§ 2 Abs. 2 Nr. 2 S. 5, 6 ROG) und einem sparsamen Umgang mit natürlichen Ressourcen und Freiflächen (§ 2 Abs. 2 Nr. 1 S. 2 ROG; § 2 Abs. 2 Nr. 6 S. 2, 3 ROG). Dies schafft die Voraussetzung für eine langfristig wettbewerbsfähige und räumlich ausgewogene Wirtschaftsstruktur, insbesondere in der Land-/Forstwirtschaft als bedeutender Nahrungs- und Rohstoffproduzent (§ 2 Abs. 2 Nr. 4 S. 1, 6, 7 ROG). Folglich könnte biokapazitive Resilienz als überörtliche Aufgabe zur Konkretisierung einer nachhaltigen Raumentwicklung nach § 2 Abs. 1 i.V.m. § 1 Abs. 2 ROG beitragen.

[b] Die Aufgabe der fachübergreifenden Planung erfordert eine Abstimmung der fachplanerischen Ansprüche an den Raum und im Ergebnis die Aufstellung eines integrierenden Raumordnungsplans (Knieling/Kretschmann/Zimmermann et al. 2016: 25). Für die querschnittsorientierte Sicherung und Entwicklung der Biokapazität gibt es (bisher) keine Fachplanung; die Raumordnung stünde demnach nicht in Konflikt zu dieser. Gleichwohl können Fragestellungen der biokapazitiven Resilienz einzelne Fachplanungen berühren. Daher könnte es im besonderen Maße die Wahrnehmung des fachübergreifenden raumordnerischen Steuerungsauftrages fördern.

[c] Aufgabe der zusammenfassenden Planung ist es, in einem Raumordnungsplan die erforderlichen raumbedeutsamen Nutzungs- und Schutzfunktionen mit ihren ermöglichenden und abwehrenden Inhalten auf der jeweiligen Planungsebene zusammenzuführen (Knieling/Kretschmann/Zimmermann et al. 2016: 24). Folglich sind die Belange der biokapazitiven Resilienz mit denen der bestehenden gesamträumlichen Konzeption abzuwägen. Diesen käme per se keine höhere Bedeutung zu, jedoch eine relative Bedeutungszunahme im Kontext multipler ökologischer Herausforderungen. Die Sicherung und Entwicklung der Biokapazität können aktiv nur in einer gesamträumlichen

[15] Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist.

Konzeption erfolgen. Etablierte Umweltschutzverfahren erfüllen diesen Entwicklungsanspruch nicht. Sie sind dennoch inhaltlich wie prozessual in diesem Zusammenhang von Bedeutung (vgl. Kapitel 7).

Bei künftigen Entwicklungen, die in besonderem Maße mit Unsicherheiten behaftet sind, sind die Akteure der Raumordnung nach § 1 Abs. 2 Nr. 2 ROG angehalten, „Vorsorge für einzelne Nutzungen und Funktionen des Raums zu treffen“ (Knieling/Kretschmann/Zimmermann et al. 2016: 26). Im Zuge einer vorsorgeorientierten Raumordnung werden Mitigationsbestrebungen im Sinne einer „vorbeugenden Anpassung“ künftig eine wichtigere Rolle spielen (Kegler 2022: 52). Dem Erhalt resilienzsichernder Umweltzustände kommt vor allem zur Wahrung der Versorgungssouveränität und Generationengerechtigkeit eine herausragende Bedeutung zu (*No-Regret*-Ansatz).

Der Impuls der biokapazitiven Resilienz für ein neues Leitbild der Raumentwicklung läge darin, zunächst keine gänzliche Neugestaltung der räumlichen Planung und insbesondere der Raumordnung nach sich zu ziehen, sondern etablierte Aufgaben, Prozesse und Instrumente prioritär und querschnittsorientiert zum Aufbau einer resilienzsichernden Raumökologie bestmöglich ein- und umzusetzen sowie diese zu ergänzen.

7 Ansätze zur Integration biokapazitiver Resilienz in das System der Raumordnung

Der Konflikt zwischen der Nachfrage nach biogenen Rohstoffen und deren ökologischer Belastung hat in unterschiedlichen Fachrichtungen zur Diskussion von Ansätzen zur Verbesserung von Landnutzungsplanungen/-techniken geführt (z. B. Schulte/Bampa/Bardy et al. 2015; UNEP 2016). In Bezug auf die Optimierung der Biokapazität durch eine regionale Planung haben Guo, Yue, Li et al. (2017: 1) einen ersten räumlichen Berechnungsansatz vorgestellt. Sie resümieren, dass die Potenziale der räumlichen Optimierung der Biokapazität in der Fachliteratur bisher im Allgemeinen vernachlässigt werden. Ihr Ansatz zielt nicht – wie oft kritisiert – auf eine umfassende Verringerung des ökologischen Fußabdrucks durch Landnutzungsänderungen, sondern unter Berücksichtigung verschiedener Landnutzungsszenarien und deren ökologischen Auswirkungen soll das regionale Optimierungspotenzial der Biokapazität räumlich bestimmt werden. Sie verfolgen das Ziel, insbesondere (staatliche) Maßnahmen aufeinander abzustimmen und deren Auswirkungen auf die Biokapazität abzuschätzen. Die technischen Voraussetzungen (z. B. Fernerkundungsmethoden), die Biokapazität räumlich zu ermitteln, stehen zur Verfügung. Die Wahl zwischen unterschiedlichen Landnutzungsszenarien schafft insbesondere einen (planerischen) Gestaltungs- und Abwägungsspielraum (Guo/Yue/Li et al. 2017: 2, 4).

Stetig ablaufende Änderungen der Landnutzung (vgl. Tabelle 2) wären durch planerische Maßnahmen im Hinblick auf biokapazitive Resilienz so zu flankieren, dass das Niveau der Biokapazität eines Raumes sich mindestens nicht verschlechtert und bestenfalls verbessert. Hierzu werden regionale räumliche Potenziale genutzt, um insbesondere negativen ökologischen Effekten vorzubeugen (Jering/Klatt/Seven et al. 2013: 96–97; WBGU 2020: 58). In erster Linie wäre bei einer räumlichen Optimierung der Biokapazität zu berücksichtigen, dass

- die Aufforstung von hierfür geeigneten, nicht bewaldeten Flächen als eine der wirkungsvollsten Maßnahmen gilt (vgl. auch BMU 2016: 68–69). Sie schafft Synergien zwischen den Komponenten der Biokapazität – auch mit positiven Effekten im Sinne der Klimaanpassung (z. B. Dürreprävention). Erwartungen an die Speicherung atmosphärischen Kohlenstoffs sollten grundsätzlich nicht zu hoch gesetzt und bestehende Senken prioritär erhalten werden (WBGU 2020: 58). Die Renaturierung von Mooren ist grundsätzlich hierfür besser geeignet und kostengünstig (Drösler/Kraut 2020: 31).
- die Erweiterungen von Ackerflächen nur in geringfügigem Umfang (Arrondierung) aufgrund negativer Effekte auf die Kohlenstoffspeicherung und den Biodiversitätserhalt in Betracht kommt (IPCC 201: 3). So wäre der Sicherung von ertragreichen – und nicht nur besonders ertragreichen – Ackerflächen im Allgemeinen und im Speziellen der Ernährungsfunktion von Böden Vorrang gegenüber anderen Nutzungen einzuräumen (Böttcher/Hennenberg/Wiegmann et al. 2020: 37; WBGU 2020: 215).
- die unbedingt notwendige Entwicklung von Siedlungen und Infrastrukturen einschließlich von Anlagen für erneuerbare Energien und für den obertägigen Rohstoffabbau ganz überwiegend auf wenig ertragreiche Standorte ohne besondere Bedeutung für die Kohlenstoffspeicherung und den Biodiversitätserhalt zu lenken wäre.
- die Renaturierung und Rekultivierung degradierter Flächen insbesondere die Bodenfunktionen einbeziehen sollte, um Synergien zwischen den Komponenten der Biokapazität zu schaffen. Beispielsweise wäre die Wiederherstellung von Grenzertragsflächen vorrangig dem Biodiversitätsschutz, von kohlenstoffreichen Böden dem Klimaschutz und von ertragreichen Böden der Aufforstung und nur untergeordnet der ackerbaulichen Nutzung zuzuordnen.
- weniger (kurzfristig) ertragreiche Landnutzungen, wie die ökologische Landwirtschaft, durch das erweiterte Biokapazitätskonzept nicht benachteiligt werden, da dieses

die Komponenten Kohlenstoffspeicherung und Biodiversitätserhalt einschließt.
– weitere Aspekte der Klimawandelanpassung mittelbar positiv beeinflusst werden können. Beispielsweise kann die Ausweitung von Wäldern auch zur Verbesserung der thermischen Situation in Siedlungen und zur Verbesserung des Wasserhaushalts (Grundwasserneubildung/-speicherung) beitragen.

7.1 Instrumentelle Ansätze

Aufbauend auf den zuvor genannten Grundsätzen werden im Folgenden die theoretischen Überlegungen zu den etablierten Festlegungsmöglichkeiten in Raumordnungsplänen (Instrumente) in Verbindung gesetzt. Dies bietet die Möglichkeit, insbesondere die raumordnerische Sicherung und Entwicklung des Freiraums im Sinne eines „multifunktionalen Ressourcenmanagements“ (Siedentop/Egermann 2009: 1) und eines „integrierten Landschaftsansatzes“ (WBGU 2020: 8) zum Aufbau einer resilienzsichernden Raumökologie neu auszuleuchten.

Grundsätzlich können zwei strategische Ebenen unterschieden werden: Erhalt der Biokapazität und Erhöhung der Biokapazität. Beim Erhalt der Biokapazität wird das Niveau der Biokapazität eines Raumes durch Vorbeugung von Degradationsprozessen und Ausgleich von biokapazitiven Verlusten erhalten. Biokapazitive Flächenleistungen sind dem Klimawandel ausgesetzt (z. B. Ernteeinbußen infolge von Dürren und Schädigung natürlicher Kohlenstoffsenken durch Brände (WBGU 2020: 57; IPCC 2022: 11–13)). Die Vermeidung klimawandelinduzierter Degradation stellt bereits eine planerische Herausforderung dar (Möckel 2016: 212–216).

Eine Erhöhung der Biokapazität bedeutet, das Biokapazitätsniveau eines Raumes durch Optimierung der Landnutzung ohne Verstärkung von Degradationsprozessen zu erhöhen. Dabei sind Veränderungen hinsichtlich der Verteilung und der Intensität der Landnutzung zu unterscheiden. Die Erhöhung der Landnutzungsproduktivität und landbasierte Klimaschutzmaßnahmen sind ein diffiziles Vorhaben (Jering/Klatt/Seven et al. 2013: 37–43; 96–98; IPCC 2022: 19–20), insbesondere bezüglich der Schaffung räumlicher Voraussetzungen. Daher ist die Erschließung neuer biokapazitiver Potenziale begrenzt. Dafür wären stärker (als bisher) raumordnerische Instrumente zur Entwicklung von Nutzungen und Funktion eines Raumes relevant.

In diesem Zusammenhang können folgende raumordnerische Instrumente, insbesondere zur Sicherung von Raumnutzungen und -funktionen, hervorgehoben werden:

Raumordnerische Gebiete zur Sicherung biokapazitiver Nutzungen und Funktionen

Viele raumordnerische Instrumente dienen dem Erhalt eines Status quo, vor allem Vorrang- und Vorbehaltsgebiete. Für ihre Akteure ergeben sich im Zuge einer klimawandelinduzierten Dynamisierung des Status quo neue Herausforderungen, etablierte Instrumente einzusetzen. Durch Vorrang- und Vorbehaltsgebiete kann beispielsweise die landwirtschaftliche Nutzung gegenüber anderen Nutzungen gesichert, aber Verluste der Ertragsfähigkeit durch Klimaveränderungen und nicht (klima)angepasste Nutzungen können nicht vermieden werden (Kegler 2022: 252). Künftig könnte ergänzend eine (multi)funktionsbezogene Ausrichtung raumordnerischer Gebiete wirkungsvoll sein (Knieling/Kretschmann/Zimmermann et al. 2016: 9; Kegler 2022: 253). Diese sollten insbesondere auf der Funktionalität von Böden als Träger der Biokapazität aufbauen (z. B. regionale Biokapazitätsgebiete), um ihre Funktionsvielfalt gegenüber konkurrierenden Nutzungen besser abzusichern und ihrem doppelten Anspruch auf Nutzung und Schutz Rechnung zu tragen.

Etablierte Instrumente der Freiraumsicherung (v.a. zur Ergänzung des Natur- und Landschaftsschutzes) sind eher auf Verdichtungsräume ausgerichtet. Um künftig Verlusten der Biokapazität und Nutzungskonkurrenzen vorzubeugen, wären diese unter anderem stärker auf ländliche (biokapazitivstarke) Räume auszuweiten und bodenfunktionsbezogen auszurichten, im Umfang und unter Berücksichtigung von Artenwanderungen zu ergänzen und zu vernetzen (IPCC 2022: 24). Vereinzelt etablierte Instrumente der Raumordnung, wie ein planerisch zu sichernder Mindestanteil landwirtschaftlicher Flächen über Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete, sind auch für den Erhalt der Biokapazität von Bedeutung, insofern zur Sicherung und Entwicklung ihrer Funktionen (z. B. Erosionsschutz, Humusaufbau, Wiedervernässung) ergänzend Instrumente wie Regionale Grünzüge gezielt eingesetzt werden. Auch raumordnerische Gebiete mit Ausschlusswirkung für bestimmte Nutzungsformen könnten in vulnerablen Bereichen (z. B. Hanglagen, Auen) ein Mittel sein, biokapazitive Verluste zu reduzieren. Gegebenenfalls sind in diesem Zusammenhang auch Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Formen der Land- und Forstwirtschaft mit positiven Effekten für den Klima- und Biodiversitätsschutz denkbar.

Gebietsbezogene Instrumente zum Ausgleich biokapazitiver Verluste (und zur Entwicklung der Biokapazität)

Etablierte Instrumente, die in einigen Bundesländern der Raumordnung zur Verfügung stehen, könnten insbesondere auch für den Ausgleich biokapazitiver Verluste eingesetzt werden, z. B. Waldmehrungs-, Kompensations- und Sanie-

rungsgebiete sowie bei entsprechenden Festlegungen von Folgenutzungen in Rohstoffabbaugebieten.

In einigen Bundesländern werden auf raumstruktureller Ebene aus sozioökonomischer Perspektive defizitäre Räume mit besonderem Handlungsbedarf ausgewiesen. Ein analoges Prozedere für ökologische Belange ist bisher nicht etabliert. Eine Ausnahme bildet in einzelnen Bundesländern die Möglichkeit, Landschaften mit besonderem Handlungsbedarf zur Bündelung von Maßnahmen der Regionalentwicklung oder zur Sanierung einzelner Funktionen auszuweisen. Für biokapazitiv defizitäre/produktive Bereiche könnte die Raumordnung Freiräume mit besonderem Handlungsbedarf ausweisen. Auf der Grundlage räumlich-funktionaler Gebiete könnten raumplanerische Vorgaben (z. B. Kompensationsmaßnahmen) spezifiziert, der Einsatz staatlicher Mittel in wirkungsvolle Bereiche gelenkt und damit Anreize zur Anpassung der Raumnutzung begünstigt werden.

Textliche Festlegungen zur Konkretisierung des Erhalts der Biokapazität

Auch textliche Festlegungen in Raumordnungsplänen können den Erhalt der Biokapazität begünstigen. Etabliert ist beispielsweise, dass die Inanspruchnahme von Böden mit gewissen Ertragszahlen nur für die landwirtschaftliche (bzw. enger gefasst: z. B. ackerbauliche) Nutzung zulässig ist und damit gegenüber anderen Nutzungen Vorrang hat. Dies lässt sich auf für den Klima- und Biodiversitätsschutz bedeutende Flächen übertragen (zur Abgrenzung schutzwürdiger Böden vgl. MUNLV 2007). Erste Ansätze, landnutzungsbezogene CO_2-Emissionen im Zuge eines raumordnerischen Ausgleichsmechanismus zu kompensieren, wurden entwickelt. Diese könnten für einen biokapazitiven Ausgleich weiterentwickelt werden.

Raumordnerische Instrumente zur Steuerung der räumlichen Verteilung der Landnutzungstypen

Biokapazitive Zuwächse können grundsätzlich durch die Ausweitung biomasse- und kohlenstoffreicher Landnutzungen (z. B. Aufforstung, Moorrenaturierung in Verbindung mit Biodiversitätsschutzflächen) erreicht werden. Bei entsprechenden Gebietsgrößen kann hier auf die oben genannten Instrumente unter den vorhergenannten Punkten verwiesen werden, insbesondere zum Ausgleich biokapazitiver Verluste.

Zuwächse der Biokapazität könnten auch im Zuge einer Flächenkreislaufwirtschaft erzielt werden, indem beim Ausgleich für die Inanspruchnahme von Freiflächen ein möglichst hoher Biokapazitätswert angestrebt wird. In siedlungsnahen und verhältnismäßig gering versiegelten Bereichen könnte zudem auf die Entwicklung verbrauchernaher und flächeneffizienter Formen der Land- und Forstwirtschaft geachtet werden (z. B. Nachfolgenutzung für Siedlungsflächen).

Das planerische Instrumentarium ist auf die Renaturierung von Flächen bisher nicht ausgelegt (BMVBS/BBSR 2009: 1). Grundsätzlich bestehen für die Entsiegelung von Flächen jedoch planungs- und raumordnungsrechtliche Möglichkeiten (Pannicke-Prochnow/Krohn/Albrecht et al. 2021: 54, 258), unter anderem durch ein Entsiegelungsgebot bei der Neuinanspruchnahme von Freiflächen, den Einsatz von Gebieten zur Sanierung und Entwicklung von Raumfunktionen (§ 13 Abs. 5 Nr. 2c ROG), die Umsetzung einer raumordnerischen Eingriffsregelung (Anlage 1 zu § 8 Abs. 1 ROG) oder einen bundesweiten Grundsatzplan der Raumordnung (§ 17 Abs. 3 ROG). Diese Möglichkeiten werden in Raumordnungsplänen bisher weniger angewendet.

Raumordnerische Instrumente zur Steuerung der Intensität innerhalb eines Landnutzungstyps

Grundsätzlich nutzen einige Bundesländer die Instrumente der Raumordnung, um Vorgaben für die Mehrfachnutzung, insbesondere von Siedlungs- und Infrastrukturflächen, zu forcieren. Damit kann der Konkurrenz um biokapazitiv bedeutende Flächen in gewissem Maße entgegengewirkt werden. Auf die Erhöhung der Effizienz je Landnutzungstyp – vor allem in Bezug auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung – hat die Raumordnung nur geringen Einfluss (Knieling/Kretschmann/Zimmermann et al. 2016: 16; Möckel 2016: 256–257). Der Lückenschluss durch ein nationales Landwirtschaftsgesetz könnte hilfreich sein (Czybulka/Fischer-Hüftle/Hampicke et al. 2021), um durch Raumordnungsklauseln die Steuerungswirkung zu erhöhen. Zumindest wären sektorale Konzepte, Planungen und Maßnahmen im Zuge raumordnerischer Stellungnahmen bezüglich ihres Einflusses auf die Biokapazität zu überprüfen, wenn Raumordnungspläne entsprechende Vorgaben aufweisen.[16]

Ergänzend sind raumordnerische Instrumente anzuführen, die Synergien innerhalb eines Landnutzungstypen schaffen, z. B. durch die Vereinbarkeit von Landnutzung und Bodenfunktionen in biokapazitiv bedeutenden Bereichen (z. B. Paludikulturen), die Anlage diversifizierter land- und forstwirtschaftlicher Produktionssysteme (z. B. Agroforstsysteme) und das Ausschöpfen begrenzter Spielräume für die urbane Landwirtschaft. Etablierte Instrumente der

[16] Nach § 4 Abs. 1 Nr. 2 ROG sind die Erfordernisse der Raumordnung auch bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen zu beachten bzw. zu berücksichtigen, wenn diese überwiegend mit öffentlichen Mitteln finanziert werden (Runkel 2018: 2990). Biokapazitive Resilienz wäre somit auch bei diesen Planungen/Maßnahmen zu berücksichtigen.

Freiraumsicherung wären hierfür funktional zu ergänzen (Harteisen/Kaether/Kufeld et al. 2021: 87–92). Beispielsweise könnte die Anlage von Trenngrün nicht nur das Zusammenwachsen von Siedlungskörpern verhindern, sondern auch landwirtschaftliche Flächen gliedern. Verbunden mit Vorgaben für Kompensationsmaßnahmen, wie dies in einzelnen Bundesländern der Fall ist, wären diese Bereiche tatsächlich gestaltbar.

Weiter kann raumordnerisch auf Synergien zwischen Biomasse- und Energieproduktion mit Biodiversitätsschutz hingewirkt werden, vor allem durch eine verstärkte Lenkung von Anlagen für die Nutzung von Sonnenenergie vorzugsweise auf Grenzertrags- und Dachflächen. Gegebenenfalls könnte künftig auch der Einsatz treibhausgasarmer Baumaterialen durch raumplanerische Vorgaben (z. B. Holzanteil bei Neubauten) in Erwägung gezogen werden, um die Senkenfunktion von Gebäuden zu erhöhen und natürliche Kohlenstoffsenken zu erneuern (Churkina/Organschi/Reyer et al. 2020).

7.2 Prozessuale Ansätze

Raumordnungspläne haben eine Mittlerfunktion und den Anspruch, eine optimierte räumliche Gesamtentwicklung zu ermöglichen und dabei ein großes Konfliktpotenzial zu bewältigen (Priebs 2018: 2047). Das Aufstellungsverfahren eines Raumordnungsplanes kann in drei Phasen gegliedert werden: Vorbereitungs-, Beteiligungs- und Abschlussphase. In den ersten beiden Phasen erarbeitet die planende Verwaltung den Planentwurf, in der Abschlussphase wird der Plan politisch beschlossen.

Die Vorbereitungsphase dient zunächst der Ermittlung des Handlungsbedarfs bezüglich der Aufstellung oder Änderung eines Raumordnungsplans und der hierfür nötigen planerischen Unterlagen. In dieser Phase könnte der Ansatz biokapazitiver Resilienz zur Analyse der bestehenden Raumordnungspläne dienen, um konkreten Handlungsbedarf aufzuzeigen. Eine frühe Abstimmung mit den betreffenden Fachbehörden hinsichtlich biokapazitiver Optimierungsmöglichkeiten wäre denkbar, um entsprechende planerische Grundlagen zu erstellen. Im Unterschied zur bisher etablierten Praxis geht es dabei nicht nur um die Berücksichtigung fachplanerischer Belange, sondern um deren Beitrag zu einer überfachlichen Raumkategorie. Die Zusammenarbeit der Fachressorts würde dadurch neu ausgerichtet und vertieft. Angesichts der begrenzten Mittel der Raumplanungsbehörden bietet der Ansatz den Vorteil, dass die erstellten Grundlagen auch für weitere raumordnerische Steuerungsaufgaben (z. B. Siedlungsentwicklung, Hochwasserschutz, Energiestandorte/-leitungen) nutzbar wären.

Im Zuge der Beteiligungsphase erfolgt die eigentliche Erstellung des Plans einschließlich einer Begründung und eines Umweltberichts (Priebs 2018: 2059). Zur Vermeidung möglicher negativer Auswirkungen der geplanten raumordnerischen Festlegungen kommt der Beteiligung öffentlicher Stellen eine besondere Rolle zu. Zusätzlich haben Verbände, Vereinigungen und die Öffentlichkeit Gelegenheit, zum Planentwurf (§ 10 ROG) und zur Durchführung einer strategischen Umweltprüfung mit Erstellung des Umweltberichts Stellung zu nehmen (§ 9 ROG). Die planerische Gesamtkonzeption zur Optimierung der Biokapazität kann durch beide Verfahrensschritte hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Auswirkungen überprüft und bewertet werden. Durch die Sicherung des Optimierungsgedankens verfügt die Raumordnung grundsätzlich über eine robuste operative Struktur zur Umsetzung biokapazitiver Resilienz.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Akteure der Raumordnung sind im Kontext multipler ökologischer Herausforderungen mit der Erfüllung ihres Steuerungsauftrags und dessen Vorsorgeprinzip konfrontiert. Um diesen Anforderungen im Zuge eines sich wandelnden Klimas Rechnung zu tragen, wird biokapazitive Resilienz als räumliche Strategie und Impuls für die Aktualisierung der Leitbilder der Raumentwicklung zur Diskussion gestellt. Eine resilienzsichernde Raumökologie schafft die räumlichen Voraussetzungen auch infolge klimatischer Veränderungen, ökosystemare Leistungen von Land- und Wasserflächen zu gewährleisten. Anhand des räumlichen Ansatzes der regionalen Biokapazitätsoptimierung wurde aufgezeigt, welchen Beitrag die Raumordnung hierzu leisten könnte.

Auch dieser Ansatz löst nicht jeglichen räumlichen Konflikt und muss methodisch vertieft und weiterentwickelt werden. Er eröffnet jedoch einen räumlichen Maßstab, Raumkonflikte neu zu bewerten und zu bewältigen. Damit wäre ein stärker ökologisch gewichteter Raumentwicklungsanspruch verbunden, der konkret an die Aufgaben, Prozesse und Instrumente der Raumordnung anknüpft. Für die Akteure der Raumordnung lägen Steuerungschancen insbesondere darin, ihren Koordinierungsauftrag inhaltlich und kommunikativ zu verbessern sowie raumordnerische Instrumente und die begrenzten Ressourcen der Raumordnung für eine nachhaltige Raumentwicklung bestmöglich einzusetzen.

Für eine weitere Diskussion über die Schwerpunktsetzung der Raumordnung im Kontext einer klimaresilienten Entwicklung sind aus der Sicht des Autors anhand des vorgestellten Ansatzes biokapazitiver Resilienz folgende Punkte hervorzuheben:

Der Aufbau einer resilienzsichernden Raumökologie bedarf eines aktiven strategischen Raumentwicklungspro-

zesses. Ein entsprechendes Leitbild der Raumentwicklung könnte diese Funktion erfüllen. Biokapazitive Resilienz konturiert den Perspektivenwechsel auf eine stärker vorsorgeorientierte Raumordnung. Der Auf- und Ausbau der Widerstandsfähigkeit kritischer ökologischer Raumfunktionen gegenüber Klimawandelfolgen wird in den Mittelpunkt gestellt. Die Verbindung des erweiterten Konzepts der Biokapazität mit den Instrumenten der Raumordnung zeigt, dass Raumordnungspläne eine Schlüsselrolle bei der Umsetzung dieses Ansatzes einnehmen könnten.

Um den Handlungsanforderungen im Zusammenhang mit einer nachhaltigen und klimaresilienten Entwicklung ansatzweise Rechnung zu tragen, sollten die eingeschränkten Mittel von Raumordnungsbehörden möglichst effektiv eingesetzt werden.

Mit dem Ansatz biokapazitiver Resilienz wird versucht, wesentliche Raumkonflikte in Zusammenhang zu etablierten Instrumenten der Raumordnung zu setzen. Die Anforderungen einer niederschwelligen Einbindung übergeordneter Steuerungskontexte in die Planungspraxis wurden skizziert. Ansätze zur Umsetzung sollten weiter untersucht werden.

Raumordnungspläne steuern bereits in weiten Teilen die Biokapazität eines Raumes. Sie enthalten Festlegungen zu einschlägigen Raumnutzungen und -funktionen, etwa zur Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung, der Land- und Forstwirtschaft, der Fischerei und zum Natur-, Gewässer- und Bodenschutz. Biokapazitive Resilienz bietet die Möglichkeit, raumordnerische Festlegungen zielgerichteter aufeinander auszurichten. Als räumliche Kategorie dient die Biokapazität dazu, das Verhältnis von Fläche, Nutzung und Funktion zu optimieren.

Raumordnerische Tätigkeiten sollten künftig insbesondere auch auf die Sicherung und Entwicklung elementarer ökologischer Raumfunktionen als wesentliche räumliche Standort- und Resilienzfaktoren fokussieren. Mit dem erweiterten Konzept der Biokapazität wird versucht, elementare ökologische Funktionen aufzuwerten und mit stark konfligierenden Nutzungen (Trilemma der Landnutzung) in einer übergeordneten, grundsätzlich querschnittsorientierten Raumkategorie zusammenzuführen, um räumliche Konflikte neu zu beurteilen.

Übergeordnete Steuerungskontexte (hier: klimaresiliente Entwicklung) sollten konkreter mit den steuerungsstarken staatlichen Ebenen und deren Instrumenten (hier: Raumordnungspläne) verbunden werden. Mit dem erweiterten Konzept der Biokapazität könnten elementare Raumfunktionen dargestellt und raumordnerisch gefasst werden. Es ließe sich auch die raumordnerische Steuerung von nicht biokapazitiv wirksamen Raumnutzungen erhöhen und einer Verschärfung räumlicher Konkurrenzen um bioproduktive Flächen stärker vorbeugen. Ferner böte dies die Möglichkeit, näherungsweise einen angemessenen Ausgleich für den Verlust biokapazitiver Flächen zu schaffen, um globale Flächenverlagerungseffekte zu reduzieren.

Competing Interests The author declares no competing interests.

Acknowledgements The author would like to thank two anonymous reviewers for their helpful comments.

Funding This work received no external funding.

Literatur

Aring, J. (2018): Leitbilder der Raumentwicklung. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover, 1389–1398.

Behmer, J. (2020): Siedlungsflächenprojektion 2045. Teilbericht der Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse 2021. Dessau-Roßlau. = Climate Change 08/2020.

Beirat für Raumentwicklung (2017): Resilienz als Strategie in Raumentwicklung und Raumordnung. Berlin.

Blomqvist, L.; Brook, B. W.; Ellis, E. C.; Kareiva, P. M.; Nordhaus, T.; Shellenberger, M. (2013): Does the shoe fit? Real versus imagined ecological footprints. In: PLoS Biology 11, 11, e1001700. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001700

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin.

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (o. J.): Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz. Entwurf. Berlin.

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2009): Renaturierung als Strategie nachhaltiger Stadtentwicklung. Ergebnisse des Forschungsprojekts. Bonn. = Werkstatt: Praxis 62.

Böttcher, H.; Hennenberg, K.; Wiegmann, K.; Scheffler, M.; Wolff, F.; Gsell, M.; Hansen, A.; Meyer-Aurich, A.; Grundmann, P.; Vedel, D. (2020): Nexus Ressourceneffizienz und Landnutzung – Ansätze zur mehrdimensionalen umweltpolitischen Bewertung der Ressourceneffizienz bei der Biomassebereitstellung. Dessau-Roßlau. = UBA-Texte 45/2020.

Bonfante, A.; Basile, A.; Bouma, J. (2020): Targeting the soil quality and soil health concepts when aiming for the United Nations Sustainable Development Goals and the EU Green Deal. In: Soil 6, 2, 453–466. https://doi.org/10.5194/soil-6-453-2020

Bruckner, M.; Giljum, S.; Fischer, G.; Tramberend, S.; Wunder, S.; Kaphengst, T. (2017): Entwicklung von kon-

sumbasierten Landnutzungsindikatoren. Dessau-Roßlau. = UBA-Texte 81/2017.

Bude, H. (2022): Kein Stein wird auf dem anderen bleiben. In: Süddeutsche Zeitung vom 5. Februar 2022. https://www.sueddeutsche.de/kultur/ampelkoalition-wahlversprechen-heinz-bude-1.5522062?reduced=true

Bundesregierung (2020): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Berlin.

Churkina, G.; Organschi, A.; Reyer, C. P. O.; Ruff, A.; Vinke, K.; Liu, Z.; Reck, B. K.; Graedel, T. E.; Schellnhuber, H.-J. (2020): Buildings as a global carbon sink. In: Nature Sustainability 3, 4, 269–276. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4

Czybulka, D.; Fischer-Hüftle, P.; Hampicke, U.; Köck, W.; Martinez, J. (2021): Ein Landwirtschaftsgesetz für Deutschland im Zeichen von Umweltschutz und Biodiversität – Notwendigkeit, Funktion und Leitbild. In: Natur und Recht 43, 4, 227–236. https://doi.org/10.1007/s10357-021-3825-3

Dearing, J. A.; Wang, R.; Zhang, K.; Dyke, J. G.; Haberl, H.; Hossain, M. S.; Langdon, P. G.; Lenton, T. M.; Raworth, K.; Brown, S.; Carstensen, J.; Cole, M. J.; Cornell, S. E.; Dawson, T. P.; Doncaster, C. P.; Eigenbrod, F.; Flörke, M.; Jeffers, E.; Mackay, A. W.; Nykvist, B.; Poppy, G. M. (2014): Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems. In: Global Environmental Change 28, 227–238. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.012

Deppisch, S.; Geißler, G.; Poßer, C.; Schrapp, L. (2022): Ansätze zur Integration von Ökosystemleistungen in die formelle räumliche Planung. In: Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning 80, 1, 80–96. https://doi.org/10.14512/rur.66

Drösler, M.; Kraut, M. (2020): Klimaschutz durch Moorschutz – im Klimaprogramm Bayern (KLIP 2020/2050). In: Anliegen Natur 42, 1, 31–38.

EK – Europäische Kommission (2006): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für den Bodenschutz und zur Änderung der Richtlinie 2004/35/EG. KOM(2006) 232 endgültig. Brüssel.

EK – Europäische Kommission (2011): Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa. KOM(2011) 571 endgültig. Brüssel.

EK – Europäische Kommission (2020): EU-Biodiversitätsstrategie für 2030. Mehr Raum für die Natur in unserem Leben. COM(2020) 380 final. Brüssel.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020): State of Knowledge of Soil Biodiversity. Status, challenges and potentialities. Rom. https://doi.org/10.4060/cb1928en

Fischer, G.; Tramberend, S.; Bruckner, M.; Lieber, M. (2017): Quantifying the land footprint of Germany and the EU using a hybrid accounting model. Dessau-Roßlau. = UBA-Texte 78/2017.

Giljum, S.; Hammer, M.; Stocker, A.; Lackner, M.; Best, A.; Blobel, D.; Ingwersen, W.; Naumann, S.; Neubauer, A.; Simmons, C.; Lewis, K.; Shmelev, S. (2007): Wissenschaftliche Untersuchung und Bewertung des Indikators „Ökologischer Fußabdruck“. Dessau-Roßlau. = UBA-Texte 46/07.

Guo, J.; Yue, D.; Li, K.; Hui, C. (2017): Biocapacity optimization in regional planning. In: Scientific Reports 7, 1, 41150. https://doi.org/10.1038/srep41150

Haberl, H.; Erb, K.-H.; Krausmann, F. (2001): How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926–1995. In: Ecological Economics 38, 1, 25–45. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00152-5

Harteisen, U.; Kaether, J.; Kufeld, W.; Malburg-Graf, B. (2021): Instrumente, Modelle und Planungsprozesse zur Steuerung und Gestaltung einer nachhaltigen Raumentwicklung am Beispiel ausgewählter Handlungsfelder. In: Hofmeister, S.; Warner, B.; Ott, Z. (Hrsg.): Nachhaltige Raumentwicklung für die große Transformation. Hannover, 76–124. = Forschungsberichte der ARL 15.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2019): Climate Change and Land. Summary for Policymakers. o. O.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022): Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. Cambridge.

Jacobs, A.; Flessa, H.; Don, A.; Heidkamp, A.; Prietz, R.; Dechow, R.; Gensior, A.; Poeplau, C.; Riggers, C.; Schneider, F.; Tiemeyer, B.; Vos, C.; Wittnebel, M.; Müller, T.; Säurich, A.; Fahrion-Nitschke, A.; Gebbert, S.; Hopfstock, R.; Jaconi, A.; Kolata, H.; Lorbeer, M.; Schröder, J.; Laggner, A.; Weiser, C.; Freibauer, A. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig. = Thünen-Report 64. https://doi.org/10.3220/REP1542818391000

Jeffery, S.; Gardi, C.; Jones, A.; Montanarella, L.; Marmo, L.; Miko, L.; Ritz, K.; Peres, G.; Römbke, J.; van der Putten, W. H. (2010): European Atlas of Soil Biodiversity. Luxemburg. https://doi.org/10.2788/94222

Jering, A.; Klatt, A.; Seven, J.; Ehlers, K.; Günther, J.; Ostermeier, A.; Mönch, L. (2013): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Dessau-Roßlau.

Kegler, H. (2022): Resilienz. Strategien und Perspektiven für die widerstandsfähige und lernende Stadt. Basel. = Bauwelt-Fundamente 151.

Kegler, H.; Köstermenke, C. (2017): Fläche als „Kampf-

platz“ oder Zukunftsareal. Globaler Footprint gegen neue Verschwendung. In: Planerin 3, 43–45.

Knieling, J.; Kretschmann, N.; Zimmermann, T.; Reitzig, F. (2016): Handlungshilfe Klimawandelgerechter Regionalplan. Ergebnisse des Forschungsprojektes KlimREG für die Praxis. Berlin. = MORO Praxis 6/2017.

Lal, R. (2015): Der große Kohlenspeicher. In: Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.): Bodenatlas. Daten und Fakten über Acker, Land und Erde. Berlin, 16–17.

Lal, R.; Bouma, J.; Brevik, E.; Dawson, L.; Field, D. J.; Glaser, B.; Hatano, R.; Hartemink, A. E.; Kosaki, T.; Lascelles, B.; Monger, C.; Muggler, C.; Ndzana, G. M.; Norra, S.; Pan, X.; Paradelo, R.; Reyes-Sánchez, L. B.; Sandén, T.; Singh, B. R.; Spiegel, H.; Yanai, J.; Zhang, J. (2021): Soils and sustainable development goals of the United Nations: An International Union of Soil Sciences perspective. In: Geoderma Regional 25, e00398. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00398

Liedtke, H.; Marschner, B. (2003): Bodengüte der landwirtschaftlichen Nutzflächen. In: Leibniz-Institut für Länderkunde (Hrsg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Band 2: Relief, Boden und Wasser. Leipzig, 104–105.

Lin, D.; Galli, A.; Borucke, M.; Lazarus, E.; Grunewald, N.; Martindill, J.; Zimmerman, D.; Mancini, S.; Iha, K.; Wackernagel, M. (2015): Tracking Supply and Demand of Biocapacity through Ecological Footprint Accounting. In: Dewulf, J.; de Meester, S.; Alvarenga, R. (Hrsg.): Sustainability assessment of renewables-based products. Methods and case studies. Chichester, 179–199. https://doi.org/10.1002/9781118933916.ch12

Lin, D.; Hanscom, L.; Martindill, J.; Borucke, M.; Cohen, L.; Galli, A.; Lazarus, E.; Zokai, G.; Iha, K.; Eaton, D.; Wackernagel, M. (2019): Working Guidebook to the National Footprint and Biocapacity Accounts. Oakland.

Möckel, S. (2016): Schutz der Böden. In: Reese, M.; Möckel, S.; Bovet, J.; Köck, W. (Hrsg.): Rechtlicher Handlungsbedarf für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Analyse, Weiter- und Neuentwicklung rechtlicher Instrumente. Dessau-Roßlau, 212–315. = Climate Change 07/2016.

MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2007): Schutzwürdige Böden in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.

Narodoslawsky, M.; Stöglehner, G. (2010): Planning for Local and Regional Energy Strategies with the Ecological Footprint. In: Journal of Environmental Policy and Planning 12, 4, 363–379. https://doi.org/10.1080/1523908X.2010.528885

Pannicke-Prochnow, N.; Krohn, C.; Albrecht, J.; Thinius, K.; Ferber, U.; Eckert, K. (2021): Bessere Nutzung von Entsiegelungspotenzialen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen und zur Klimaanpassung. Dessau-Roßlau. = UBA-Texte 141/2021.

Priebs, A. (2018): Regionalplanung. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover, 2047–2062.

Rees, W. E. (1992): Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. In: Environment and Urbanization 4, 2, 121–130. https://doi.org/10.1177/095624789200400212

Rees, W. E.; Wackernagel, M. (2013): The shoe fits, but the footprint is larger than earth. In: PLoS Biology 11, 11, e1001701. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001701

Runkel, P. (2018): Ziele, Grundsätze und sonstige Erfordernisse der Raumordnung. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover, 2989–3000.

Schulte, R. P. O.; Bampa, F.; Bardy, M.; Coyle, C.; Creamer, R.; Fealy, R.; Gardi, C.; Ghaley, B.; Jordan, P.; Laudon, J.; O’Donoghue, C.; O’h Uallachain, D.; O’Sullivan, L.; Rutgers, M.; Six, J.; Toth, G.; Vrebos, D. (2015): Making the Most of Our Land: Managing Soil Functions from Local to Continental Scale. In: Frontiers in Environmental Science 3, 81. https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00081

Siedentop, S.; Egermann, M. (2009): Freiraumschutz und Freiraumentwicklung durch Raumordnungsplanung – zur Einführung. In: Siedentop, S.; Egermann, M. (Hrsg.): Freiraumschutz und Freiraumentwicklung durch Raumordnungsplanung. Bilanz, aktuelle Herausforderungen und methodisch-instrumentelle Perspektiven. Hannover, 1–7. = Arbeitsmaterial der ARL 349.

SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2019): Demokratisch regieren in ökologischen Grenzen. Zur Legitimation von Umweltpolitik. Berlin.

Thornbush, M. J. (2021): The Ecological Footprint as a Sustainability Metric. Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62666-2

UN – United Nations (2015a): Paris Agreement. o. O.

UN – United Nations (2015b): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York.

UNEP – United Nations Environment Programme (2016): Unlocking the Sustainable Potential of Land Resources. Evaluation systems, strategies and tools. Nairobi.

van den Bergh, J.; Verbruggen, H. (1999): Spatial Sustainability, Trade and Indicators; An Evaluation of the “Ecological Footprint”. In: Ecological Economics 29, 1, 61–72. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00032-4

Venetoulis, J.; Talberth, J. (2008): Refining the ecological footprint. In: Environment, Development and Sustain-

ability 10, 4, 441–469. https://doi.org/10.1007/s10668-006-9074-z

Wagner, S. (2019): Klimaschutz durch Raumordnung. In: Natur und Recht 41, 3, 159–167. https://doi.org/10.1007/s10357-019-3484-9

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2020): Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration. Berlin.

Wellbrock, N.; Bolte, A.; Flessa, H. (Hrsg.) (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland. Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Braunschweig. = Thünen-Report 43. https://doi.org/10.3220/REP1473930232000

Wunder, S.; Kaphengst, T.; Frelih-Larsen, A.; McFarland, K.; Albrecht, S. (2018): Land Degradation Neutrality. Handlungsempfehlungen zur Implementierung des SDG-Ziels 15.3 und Entwicklung eines bodenbezogenen Indikators. Dessau-Roßlau. = UBA-Texte 15/2018.