

Ulrich Walz, Ulrich Schumacher und Tobias Krüger

Landschaftszerschneidung und Waldfragmentierung in Deutschland - Ergebnisse aus einem Monitoring im Kontext von Schutzgebieten und Hemerobie

Landscape and forest fragmentation in Germany - Results from monitoring in the context of protected areas and closeness to hemeroby

Große unzerschnittene Freiräume (UZF) und Wälder sind ein wichtiges Schutzgut, insbesondere in Hinblick auf die Überlebensfähigkeit von Tierpopulationen, aber auch für die naturbezogene Erholung des Menschen. Ziel des vorliegenden Beitrags ist es zu analysieren, wie sich Landschaftszerschneidung und Waldfragmentierung durch überörtliche Verkehrsstrassen von Straße und Schiene in Deutschland seit 2000 verändert haben, welche Anteile Großschutzgebiete wie Nationalparks oder Biosphärenreservate an großen UZF haben und wie stark der menschliche Einfluss auf diese Freiräume ist. Die Ergebnisse eines bundesweiten Monitorings auf Basis amtlicher topographischer Geodaten, die den Zeitraum seit dem Jahr 2000 abdecken, zeigen insgesamt wenig Dynamik, aber eine räumlich differenzierte Zunahme der Zerschneidung und Fragmentierung. Nach wie vor existieren zahlreiche überregionale Infrastrukturprojekte, die zu weiterer Zerschneidung der Landschaft führen bzw. führen werden. Positive Wirkung kann hingegen das Prinzip der Trassenbündelung haben. Es zeigt sich, dass große unzerschnittene Freiräume und Wälder häufig auch außerhalb von Großschutzgebieten liegen und damit ein eigenes Schutzgut darstellen. Eine Weiterentwicklung der aktuell verwendeten Indikatoren auf Bundes- und Landesebene wird empfohlen, insbesondere in Bezug auf die Durchlässigkeit des Straßennetzes sowie zu Kumulationseffekten entlang der Verkehrswege (z.B. mit Photovoltaikanlagen). Schließlich wäre es angesichts des hohen Zerschneidungsgrads in Deutschland im europäischen Vergleich sinnvoll und zukunftsweisend für überörtliche Straßen im Bestand, ein weiteres Entscheidungsprogramm des Bundes und der Länder aufzulegen.

Large, unfragmented open spaces and forests are an important object of conservation, for example for the survival of animal populations, but also for nature-based recreation of people. The aim of this article is to analyse how landscape fragmentation and forest fragmentation have changed in Germany due to supra-local roads and rail traffic routes since 2000, what share large-scale protected areas such as national parks or biosphere reserves have in large unfragmented open spaces and how strong human impacts on these open spaces are. The results of a nationwide monitoring based on official topographical geodata in the period since 2000 show little dynamics overall, but nevertheless a spatially differentiated increase in fragmentation. There are still numerous infrastructure projects that lead to a further fragmentation of the landscape. The principle of route bundling can have a positive effect. It can be seen that large, unfragmented open spaces and forests are often situated outside of large protected areas and thus represent an object of conservation value in their own right. Further development of the indicators currently used at federal and state level is recommended, especially with regard to the permeability of the road network and cumulative effects along the traffic routes (e.g. with photovoltaic systems). Finally, in view of the high degree of fragmentation in Germany compared to other European countries, it would be useful and forward-looking to set up a further defragmentation programme by the federal government and the federal states for existing supra-local roads.

Landschaftszerschneidung und Waldfragmentierung in Deutschland – Ergebnisse aus einem Monitoring im Kontext von Schutzgebieten und Hemerobie

Landscape and forest fragmentation in Germany – Results from monitoring in the context of protected areas and closeness to hemeroby

Ulrich Walz, Ulrich Schumacher und Tobias Krüger

Zusammenfassung

Große unzerschnittene Freiräume (UZF) und Wälder sind ein wichtiges Schutzgut, insbesondere in Hinblick auf die Überlebensfähigkeit von Tierpopulationen, aber auch für die naturbezogene Erholung des Menschen. Ziel des vorliegenden Beitrags ist es zu analysieren, wie sich Landschaftszerschneidung und Waldfragmentierung durch überörtliche Verkehrsstrassen von Straße und Schiene in Deutschland seit 2000 verändert haben, welche Anteile Großschutzgebiete wie Nationalparks oder Biosphärenreservate an großen UZF haben und wie stark der menschliche Einfluss auf diese Freiräume ist. Die Ergebnisse eines bundesweiten Monitorings auf Basis amtlicher topographischer Geodaten, die den Zeitraum seit dem Jahr 2000 abdecken, zeigen insgesamt wenig Dynamik, aber eine räumlich differenzierte Zunahme der Zerschneidung und Fragmentierung. Nach wie vor existieren zahlreiche überregionale Infrastrukturprojekte, die zu weiterer Zerschneidung der Landschaft führen bzw. führen werden. Positive Wirkung kann hingegen das Prinzip der Trassenbündelung haben. Es zeigt sich, dass große unzerschnittene Freiräume und Wälder häufig auch außerhalb von Großschutzgebieten liegen und damit ein eigenes Schutzgut darstellen. Eine Weiterentwicklung der aktuell verwendeten Indikatoren auf Bundes- und Landesebene wird empfohlen, insbesondere in Bezug auf die Durchlässigkeit des Straßennetzes sowie zu Kumulationseffekten entlang der Verkehrswege (z. B. mit Photovoltaikanlagen). Schließlich wäre es angesichts des hohen Zerschneidungsgrads in Deutschland im europäischen Vergleich sinnvoll und zukunftsweisend für überörtliche Straßen im Bestand, ein weiteres Entschneidungsprogramm des Bundes und der Länder aufzulegen.

Unzerschnittene Freiräume – Wald – Nationalpark – Biosphärenreservat – Landschaftszerschneidung – effektive Maschenweite – Hemerobie – Raumplanung

Abstract

Large, unfragmented open spaces and forests are an important object of conservation, for example for the survival of animal populations, but also for nature-based recreation of people. The aim of this article is to analyse how landscape fragmentation and forest fragmentation have changed in Germany due to supra-local roads and rail traffic routes since 2000, what share large-scale protected areas such as national parks or biosphere reserves have in large unfragmented open spaces and how strong human impacts on these open spaces are. The results of a nationwide monitoring based on official topographical geodata in the period since 2000 show little dynamics overall, but nevertheless a spatially differentiated increase in fragmentation. There are still numerous infrastructure projects that lead to a further fragmentation of the landscape. The principle of route bundling can have a positive effect. It can be seen that large, unfragmented open spaces and forests are often situated outside of large protected areas and thus represent an object of conservation value in their own right. Further development of the indicators currently used at federal and state level is recommended, especially with regard to the permeability of the road network and cumulative effects along the traffic routes (e. g. with photovoltaic systems). Finally, in view of the high degree of fragmentation in Germany compared to other European countries, it would be useful and forward-looking to set up a further defragmentation programme by the federal government and the federal states for existing supra-local roads.

Unfragmented open space – Forest – National park – Biosphere reserve – Landscape fragmentation – Effective mesh size – Hemeroby – Spatial planning

Manuskripteinreichung: 15.4.2020, Annahme: 17.11.2021

DOI: 10.19217/NuL2022-02-04

1 Einführung

Landschaftszerschneidung ist ein Phänomen, das vom Menschen lokal sinnlich wahrgenommen werden kann. In seiner räumlichen und zeitlichen Dimension wird es jedoch erst durch eine Betrachtung von Karten oder vergleichbaren Darstellungen im regionalen bzw. überregionalen Maßstab – also durch Verkleinerung – sichtbar. Überörtliche Verkehrsstrassen verbinden einerseits verschiedene Standorte miteinander, andererseits zerschneiden sie bereits durch ihre physische Existenz ökologisch wertvolle Freiräume und beein-

trächtigen Mensch und Tier vor allem durch Lärm und Barrierewirkung. In der Öffentlichkeit wird dies kontrovers diskutiert, je nachdem ob der betreffende Akteur auf Wirtschaft und Verkehr fokussiert oder vorrangig eine nachhaltige Gestaltung unserer Lebensgrundlagen im Blick hat. Diese Grundsatzfrage stellt sich beim Bau jeder neuen Verkehrsverbindung immer wieder (Abb. 1, S. 86).

In der Raumplanung und -entwicklung wird die Landschaftszerschneidung als ein wesentliches Problem in Bezug auf Fragen des Umwelt- und Naturschutzes identifiziert und wahrgenommen. Das zeigt sich bereits daran, dass das Thema in die Grundsätze der

Raumordnung im Raumordnungsgesetz (ROG) aufgenommen wurde. Dort heißt es: „Die weitere Zerschneidung der freien Landschaft und von Waldflächen ist dabei so weit wie möglich zu vermeiden“ (§ 2 Abs. 2 Nr. 2 ROG).

Die Autoren nehmen das Vorliegen eigener, nun 20-jähriger Analysen zum Anlass, Stand und Entwicklung der Landschaftszerschneidung in Deutschland darzustellen (Schumacher, Walz 2000; Walz, Schauer 2009; Walz et al. 2011, 2013). Die entsprechenden Indikatoren zur Landschaftszerschneidung bzw. Waldfragmentierung sind im „Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung“ (IÖR-Monitor) in der Kategorie Landschaftsqualität zu finden und werden alle vier Jahre aktualisiert. Durch Aufbereitung von Geobasisdaten aus dem Jahr 2000 konnte die bestehende Zeitreihe von 2008 bis 2020 retrospektiv verlängert werden. Der bundesweite Monitor wird vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) in Dresden seit 2010 betrieben (<https://www.ioer-monitor.de>).

1.1 Landschaftszerschneidung

Jaeger et al. (2005) definieren die Landschaftszerschneidung als „[...] ein Zertrennen von gewachsenen ökologischen Zusammenhängen zwischen räumlich verbundenen Landschaftsbereichen“. Bereits 1979 führt Reichelt weitergehend auch die Trennung von Siedlungs- und Erholungsräumen an (Reichelt 1979). Als zerschneidende Elemente gelten „[...] vom Menschen geschaffene, vorwiegend linienhafte [Landschafts-]Strukturen[, Stoff- und Energieströme] (vor allem Straßen, Bahnlinien und Leitungstrassen), mit denen Barriere-, Emissions- oder Kollisionswirkungen sowie ästhetische Beeinträchtigungen verbunden sind“ (Grau 1998a, 1998b; Jaeger et al. 2005). Zusätzlich stellen flächenhafte Elemente wie Siedlungen Hindernisse für die Fortbewegung von Organismen dar und können somit zur Trennung von Lebensräumen führen (Waterstraat et al. 1996). Technische Infrastruktur wie Straßen, Bahnlinien und bebaute Bereiche bilden Hindernisse für terrestrische, flugunfähige Lebewesen. Selbst flugfähige Lebewesen wie Insekten, Fledermäuse und Vögel können hohe Verluste an solchen Barrieren erleiden (siehe dazu Fahrig 1997; Glitzner et al. 1999; Holzgang et al. 2000; Reck et al. 2001; Kostrzewa 2006; Roth et al. 2006; Benítez-López et al. 2010).



Abb. 1: Bei Ludwigslust (Mecklenburg-Vorpommern) endete ein Teilstück der im Bau befindlichen Autobahn A14 am 31.7.2014 im Wald. (Foto: [picture alliance](#)/dpa | Bernd Wüstneck)

Fig. 1: Near Ludwigslust (Mecklenburg-Western Pomerania) a section of the A14 motorway under construction ended in the forest on 31 July 2014.

Für den Menschen sind solche Objekte beispielsweise bei der Erholung störend, stellen Lärmquellen dar und beeinträchtigen das Landschaftsbild. Da es sich immer um ganz spezifische Beeinträchtigungen abhängig von der betrachteten Artengruppe bzw. der speziellen Art handelt, die jedoch nicht für viele einzelne Arten bundesweit im Detail analysierbar sind, wird hier grundsätzlich von der Existenz des Objekts bzw. Hindernisses selbst ausgegangen. Damit werden verallgemeinerte Aussagen zum generellen Zustand der Landschaft in Bezug auf die Zerschneidung und zu Entwicklungstrends möglich. Konkrete, ggf. lokale Untersuchungen zur Barrierewirkung für einzelne Arten (bspw. im Rahmen von Eingriffen) sind damit selbstverständlich nicht zu ersetzen.



Daneben gibt es auch die geogen bedingte Zerschneidung, deren Zerschneidungsstrukturen durch natürliche Landschaftselemente gebildet werden. Solche Elemente sind z. B. begradigte und verbaute Gewässer sowie hohe Felskanten, die als Hindernisse bei der Ausbreitung bzw. Wanderung von Tieren in einer Landschaft wirken können (Gerlach, Musolf 2000). Abgesehen davon entsteht Landschaftszerschneidung aus einzelnen Maßnahmen des Infrastrukturausbaus und der Siedlungserweiterung, die in der Summe in Form eines „Netzes“ zusammenwirken. Es handelt sich also um einen kumulativen, aus vielen Einzelentscheidungen resultierenden Prozess. Demzufolge stellt die Landschaftszerschneidung einen flächendeckenden strukturellen Effekt dar (Jaeger 2002). Die Räume zwischen den zerschneidungswirksamen linienhaften Infrastrukturtrassen außerhalb der im Zusammenhang bebauten Siedlungsflächen werden als „unzerschnittene Freiräume“ (UZF), „unzerschnittene verkehrsarme Räume“ (UZVR) oder „unzerschnittene Funktionsräume“ (UFR) bezeichnet, wobei die Autoren den Begriff der UZF geprägt haben (für vertiefende Informationen siehe Abschnitt 1 im Online-Zusatzmaterial unter https://online.natur-und-landschaft.de/zusatz/2_2022_A_Walz).

1.2 Waldfragmentierung

Als Wald betrachten wir im Sinne des ATKIS-Objektartenkatalogs alle Flächen die „[...] mit Forstpflanzen (Waldbäume und Waldsträucher) bestockt [...]“ sind (AdV 2018). Dies deckt sich im Wesentlichen mit dem Bundeswaldgesetz (§ 2). Damit wird in diesem Beitrag nicht zwischen Wirtschaftswäldern und naturnahen Wäldern unterschieden. Zum Begriff der Waldfragmentierung siehe Walz et al. (2013). Mit dem Fokus auf ein Monitoring der Waldflächen und ihrer Größe soll hier der Begriff Fragmentierung verwendet werden, da dieser in Anlehnung an Roth et al. (2006) die „räumliche Zergliederung [...] durch alle Arten menschlicher Raumnutzungsaktivitäten mit Wirkungen auf Naturhaushalt und Landschaftsbild“ bezeichnet. Neben der Zerschneidung durch Infrastruktur können sich Waldflächen in ihrer Größe außerdem durch Siedlungsinanspruchnahme, aber auch durch Aufforstung verändern. Zur Fragmentierung von Wäldern in Deutschland gibt es mehrere Untersuchungen (Fritz 1984; Heiss 1992; Walz et al. 2013). Zu den Auswirkungen der Waldfragmentierung siehe beispielsweise Köhler et al. (2010), Köhler, Eggers (2012) sowie Aßmann et al. (2017, 2020).

Im vorliegenden Beitrag sollen folgende Fragen erörtert werden:

- Wie haben sich Landschaftszerschneidung und Waldfragmentierung in Deutschland seit 2000 insgesamt entwickelt?
- Wie stellt sich die Zerschneidung von Großschutzgebieten (Nationalparks/Biosphärenreservate) dar?
- Wie ist die Landschaftszerschneidung in Deutschland im europäischen Kontext einzuordnen?
- Sind die landes- oder bundesweit gegenwärtig verfügbaren Indikatoren ausreichend?

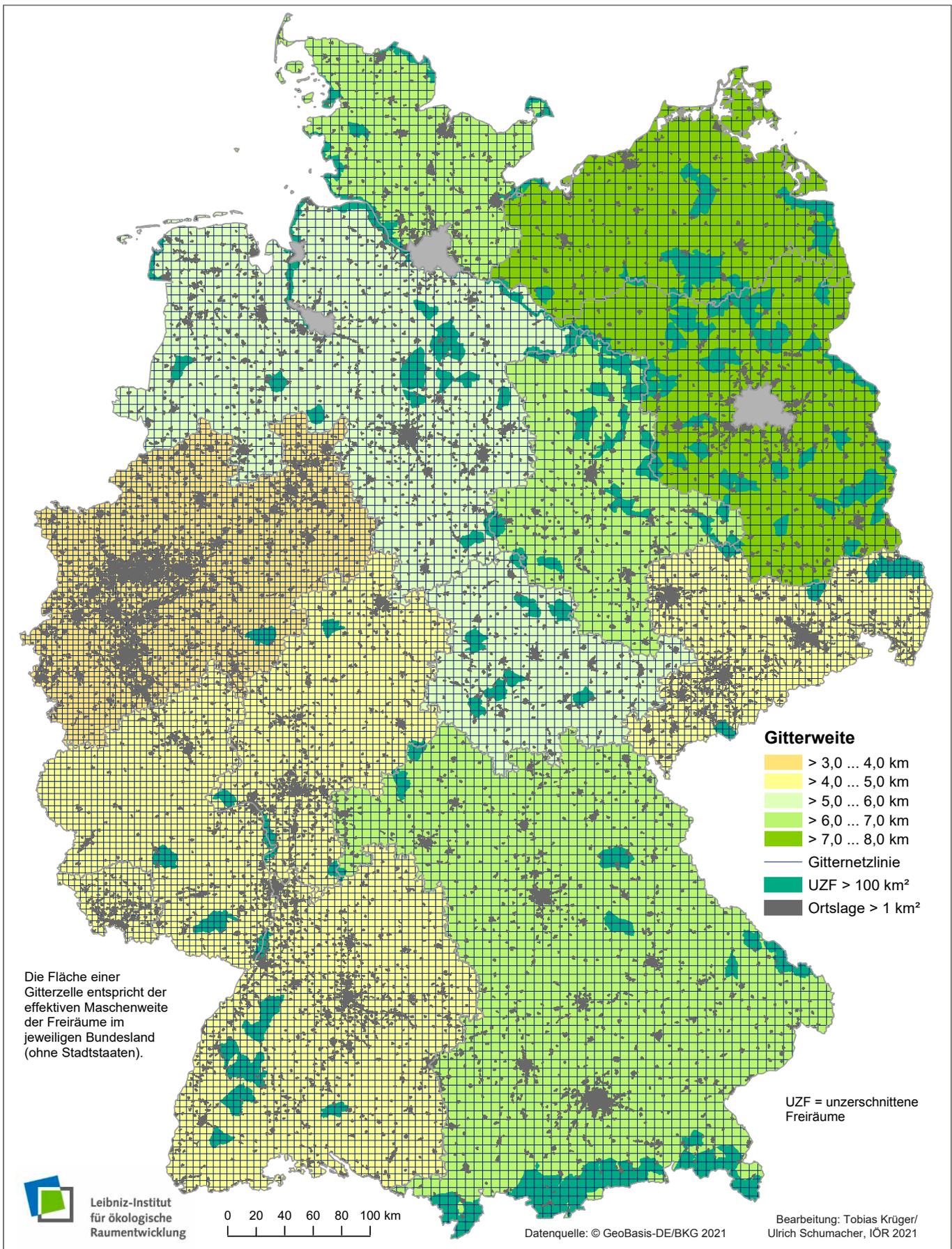


Abb. 2: Schematische Darstellung der Landschaftszerschneidung als reguläres Gitternetz nach Bundesländern (Darstellungsweise in Anlehnung an Jaeger et al. 2007: 18).

Fig. 2: Landscape fragmentation as a regular grid, by federal states (mode of presentation based on Jaeger et al. 2007: 18).

Tab. 1: Indikator „Effektive Maschenweite der Freiräume (modifiziert)“ für Deutschland auf Ebene der Bundesländer, ohne Stadtstaaten (Angaben in km², Datengrundlage: IÖR-Monitor, Datenstand 2019).Table 1: “Effective mesh size of open spaces (modified)” indicator for Germany at the level of the federal states, excluding city states (data in km², data basis: IÖR-Monitor, data as of 2019).

Bundesland	Indikatorwert 2000	Indikatorwert 2008	Indikatorwert 2012	Indikatorwert 2016	Indikatorwert 2020	Differenz 2020 zu 2000
Baden-Württemberg	21,16	22,59	22,58	22,46	22,40	1,24
Bayern	35,36	36,60	36,67	36,48	36,49	1,13
Brandenburg	56,83	53,20	54,51	53,19	53,27	-3,56
Hessen	19,92	20,23	20,47	20,42	20,50	0,58
Mecklenburg-Vorpommern	61,79	55,93	56,54	54,40	55,04	-6,75
Niedersachsen	33,41	35,34	35,98	35,25	35,50	2,09
Nordrhein-Westfalen	13,84	13,94	14,02	13,95	13,95	0,11
Rheinland-Pfalz	18,22	18,45	18,50	18,51	18,54	0,32
Saarland	10,99	13,80	13,11	12,98	17,04	6,05
Sachsen	20,05	19,89	20,04	20,14	19,88	-0,17
Sachsen-Anhalt	56,54	45,28	45,66	45,23	45,23	-11,31
Schleswig-Holstein	29,75	38,15	38,30	36,82	37,85	8,10
Thüringen	30,77	30,81	32,48	34,49	34,98	4,21
Deutschland	32,99	32,82	33,24	32,76	32,97	-0,02

2 Methoden

Die Analysen basieren auf den bundesweit verfügbaren amtlichen Daten (ATKIS Basis-DLM) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG). Diese werden, insbesondere im Bereich der Verkehrsinfrastruktur regelmäßig aktualisiert. Als Zerschneidungsgeometrie wurden das überörtliche Straßennetz, Verkehrsflächen wie Flughäfen und Bahnhofsflächen, Bahnlinien, Kanäle sowie Siedlungsflächen (Ortslagen) > 5 ha einbezogen.

Als Indikatoren zur Landschaftszerschneidung bzw. der Waldfragmentierung wurden die „effektive Maschenweite“ nach Jaeger (Jaeger 2000, 2002), die „modifizierte effektive Maschenweite“ nach Moser (Moser et al. 2007) sowie der Flächenanteil unzerschnittener Freiräume $\geq 100 \text{ km}^2$ bzw. unzerschnittener Wälder $\geq 50 \text{ km}^2$ – bezogen auf die jeweilige Gebietsinheit (z. B. Bundesland oder Landkreis) – berechnet (für ausführliche Informationen zu den Methoden siehe Abschnitt 2 im [Online-Zusatzmaterial](#)).

3 Ergebnisse

3.1 Stand und Entwicklung: Ergebnisse eines Monitorings von 2000 bis 2016

Landschaftszerschneidung

Die Ergebnisse zum aktuellen Stand der Landschaftszerschneidung in Deutschland zeigen, dass es zwischen den Bundesländern erhebliche Unterschiede gibt (Abb. 2, S. 87, und Tab. 1). Die stärkste Zerschneidung – gemessen an der kleinsten effektiven Maschenweite der Freiräume – zeigt Nordrhein-Westfalen, gefolgt vom Saarland, von Rheinland-Pfalz, Sachsen, Hessen und Baden-Württemberg. Im Kontrast dazu weisen Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg die mit Abstand größten Maschenweiten auf.

Betrachtet man die Entwicklung der effektiven Maschenweite über den gesamten Zeitraum von 2000 bis 2020, so ist auf den ersten Blick keine größere Dynamik im Bundesmaßstab zu verzeichnen. Dennoch gab es regional offensichtlich erhebliche Veränderungen. Auffällig ist die deutliche Verkleinerung der effektiven Maschenweite in einigen östlichen Bundesländern wie Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern (siehe Tab. 1). Offensichtlich nimmt die Landschaftszerschneidung gerade in Bundesländern mit noch vorhandenen großen UZF und bisher vergleichsweise geringer Zerschneidung absolut stärker zu. Gleichwohl sollten auch hier weitere Zerschneidungen entsprechend den Grundsätzen der Raumordnung vermieden werden. Die Nationale Strategie zur biologischen

Vielfalt der Bundesregierung formuliert als Ziel: „Der derzeitige Anteil der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume $\geq 100 \text{ km}^2$ (UZVR) bleibt erhalten“ (BMU 2007). Zweifellos ist die potenzielle Gefährdung der Landschaft durch neue Barrieren mit Zerschneidungswirkung in bisher relativ gering zerschrittenen Bundesländern absolut größer als in Agglomerationsräumen.

In anderen Bundesländern ist auch eine Entwicklung zu größeren Maschenweiten zu erkennen, z. B. in Schleswig-Holstein, im Saarland und in Thüringen. Vergrößerte Indikatorwerte der effektiven Maschenweite sind theoretisch durch den Wegfall bzw. die Verlegung von Straßen, die Stilllegung von Bahnlinien oder durch den Rückbau von Siedlungen (einschließlich Industrieanlagen) zu erreichen. Wodurch die Änderungen tatsächlich hervorgerufen werden, kann nur durch detaillierte Betrachtung der konkreten Fälle geklärt werden. In diesem Kontext wären auch ATKIS-Dateneffekte wie die engere Abgrenzung von Ortslagen oder die Umwidmung von (ehemaligen) Militärflächen aus dem Siedlungsbereich zum Freiraum denkbar.

Vergleicht man die hier vorgestellten Ergebnisse des IÖR-Monitors für die UZF-Maschenweiten auf Bundeslandebene mit den entsprechenden UZVR-Werten der Indikatoren der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) (LIKI 2020), so fallen die Werte des IÖR-Monitors jeweils deutlich geringer aus. Dies ist grundsätzlich plausibel, weil bei LIKI Straßenabschnitte mit geringer Verkehrsstärke ggf. aus der Zerschneidungsgeometrie herausfallen, was die daraus resultierenden UZF und deren Maschenweiten vergrößert. Die LIKI-Werte zeigen ebenfalls wenig Dynamik im Zeitraum von 2005 bis 2015, wobei es in den Bundesländern sowohl Zerschneidungen als auch Entschneidungen gibt. Leider sind hier keine Werte für die Flächenländer Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg verfügbar.

Waldfragmentierung

Bei der Waldfragmentierung (Tab. 2) scheint es – rein quantitativ betrachtet – sogar eine leichte Entspannung im Zeitraum von 2000 bis 2020 zu geben. In einigen Fällen nimmt die Maschenweite der Waldfläche leicht zu oder nur geringfügig ab. Bundesländer mit Zunahmen sind insbesondere Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Sachsen, Bayern, Rheinland-Pfalz und Brandenburg. Die stärkste Waldfragmentierung gibt es in Schleswig-Holstein, die größten unzerschnittenen Wälder in Brandenburg. Die Auswertungen beziehen sich dabei auf die in den amtlichen Kartenwerken als Wald und Gehölz ausgewiesenen Flächen; Rückschlüsse auf Zustand oder Alter des Waldes lassen sich daraus nicht ableiten.

Tab. 2: Indikator „Effektive Maschenweite der Wälder (modifiziert)“ für Deutschland auf Ebene der Bundesländer, ohne Stadtstaaten (Angaben in km², Datengrundlage: IÖR-Monitor, Datenstand 2019).Table 2: “Effective mesh size of forests (modified)” indicator for Germany at the level of the federal states, without city states (data in km², data basis: IÖR-Monitor, data as of 2019).

Bundesland	Indikatorwert 2000	Indikatorwert 2008	Indikatorwert 2012	Indikatorwert 2016	Indikatorwert 2020	Differenz 2020 zu 2000
Baden-Württemberg	7,18	7,23	7,18	7,16	7,26	0,08
Bayern	7,99	8,30	8,38	8,41	8,60	0,61
Brandenburg	10,03	10,32	10,86	10,58	10,50	0,47
Hessen	6,52	6,72	6,66	6,71	6,81	0,29
Mecklenburg-Vorpommern	2,78	3,20	3,22	3,52	3,58	0,80
Niedersachsen	4,04	3,96	3,96	4,01	4,14	0,10
Nordrhein-Westfalen	3,66	3,59	3,53	3,48	3,48	-0,18
Rheinland-Pfalz	6,85	7,23	7,31	7,49	7,45	0,60
Saarland	2,46	2,59	2,55	2,55	2,57	0,11
Sachsen	3,79	4,13	4,28	4,48	4,41	0,62
Sachsen-Anhalt	6,32	5,52	5,80	6,19	6,23	-0,09
Schleswig-Holstein	0,32	0,36	0,36	0,37	0,37	0,05
Thüringen	6,59	6,72	6,93	7,26	7,34	0,75
Deutschland	5,85	5,97	6,05	6,11	6,18	0,33

3.2 Landschaftszerschneidung und Schutzgebiete (Nationalparks und Biosphärenreservate)

Die Überlagerung von großen UZF mit den Grenzen von Großschutzgebieten wie Nationalparks und Biosphärenreservaten zeigt, dass diese Schutzgebiete mit den UZF nur teilweise räumlich korrespondieren. Einerseits umfassen große UZF nicht per se überwiegend naturnahe, schützenswerte Bereiche. Andererseits können naturnahe Landschaftsbereiche trotz starker Zerschneidung wertvolle Lebensräume aufweisen, die einen hohen Schutzstatus rechtfertigen. Dies gilt insbesondere für Biosphärenreservate, die ja gerade vielfältige Kulturlandschaften schützen und durch weitere nachhaltige Nutzung erhalten sollen.

Eine Übersichtskarte zu UZF zeigt, welche Nationalparks in welchem Maße mit UZF korrespondieren (Abb. 3, S. 90). So gibt es durchaus Nationalparks, die überwiegend in großen UZF größer als 100 km² liegen, z. B. Berchtesgaden und Kellerwald-Edersee (Gebietsstand 2016) sogar zu 100 % (Tab. 3, S. 91). Nationalparks in Deutschland werden durchaus von Bundesstraßen gequert (z. B. Eifel, Hunsrück-Hochwald oder Unteres Odertal). Einige Nationalparks sind stärker zerschnitten oder einfach klein: So bleiben die Eifel, der Hunsrück-Hochwald, der Jasmund, die Sächsische Schweiz oder das Untere Odertal ohne Anteil an großen UZF. Allerdings relativieren sich diese extremen Unterschiede, wenn man UZF bereits ab 50 km² betrachtet – dann haben alle terrestrischen Nationalparks signifikante Flächenanteile zu verzeichnen.

Es ist auch zu berücksichtigen, dass sich in Nationalparks wie dem Unteren Odertal oder der Sächsischen Schweiz aufgrund ihrer Grenzlage zum Nachbarstaat bei grenzüberschreitender Betrachtung zusammen mit den dortigen Großschutzgebieten UZF größer als 100 km² ergeben können – z. B. Steckbrief Elbsandsteingebirge rechtselbisch (UZF 2, Schumacher, Walz 2006). Ein Sonderfall ist der kleinste deutsche Nationalpark Jasmund, bei dem es wegen seiner Größe und Lage gar keinen großen UZF geben kann.

Die Überlagerungen der UZF mit den Biosphärenreservaten zeigen sich ähnlich heterogen wie bei den Nationalparks (Abb. 3, S. 90). So weisen auch einige Biosphärenreservate größere Anteile von UZF auf, z. B. die Reservate Berchtesgadener Land, Flusslandschaft Elbe, Schorfheide-Chorin und Spreewald. Insgesamt sind die UZF-Anteile der Biosphärenreservate aber kleiner als die der Nationalparks (Tab. 4, S. 91). Lediglich das Berchtesgadener Land erreicht über 50 %, wobei hier der Nationalpark Berchtesgaden bereits enthalten ist. Besonders hervorzuheben ist das flächengrößte, langgestreckte Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe entlang

des mittleren Flussabschnittes, das auch die mit Abstand größte UZF-Fläche in Deutschland besitzt.

3.3 Landschaftszerschneidung und Hemerobie

Die Flächengröße der UZF sagt noch nichts über deren weitere Eigenschaften aus. Eine Möglichkeit zur Charakterisierung besteht darin, die Hemerobie der Landbedeckung auszuwerten (Stein, Walz 2012; Walz, Stein 2014). Die Hemerobie ist ein Maß für die Gesamtheit aller Eingriffe des Menschen in den Naturhaushalt (Sukopp 1972; Kowarik 2006) und kann vereinfachend als inverses Maß der Naturnähe verstanden werden. Dabei wird den einzelnen Landbedeckungsarten folgende Hemerobie-Klassifikation zugeordnet:

- Stufe 1: ahemerob (nicht kulturbeeinflusst),
- Stufe 2: oligohemerob (schwach kulturbeeinflusst),
- Stufe 3: mesohemerob (mäßig kulturbeeinflusst),
- Stufe 4: beta-euhemerob (mäßig bis stark kulturbeeinflusst),
- Stufe 5: alpha-euhemerob (stark kulturbeeinflusst),
- Stufe 6: polyhemerob (sehr stark kulturbeeinflusst),
- Stufe 7: metahemerob (übermäßig stark kulturbeeinflusst/Biozönose zerstört).

Eine kombinierte Betrachtung der Landschaftszerschneidung (effektive Maschenweite der Freiräume) mit dem Hemerobieindex auf Landkreisebene (siehe dazu auch entsprechendes Indikator Kennblatt beim IÖR-Monitor sowie Walz, Stein 2014) zeigt einen geringen, aber statistisch gesicherten gegenläufigen Zusammenhang (Abb. 4, S. 92). Landkreise mit kleiner effektiver Maschenweite (stark zerschnitten) können immerhin mittlere Hemerobieindexwerte aufweisen, wenn gleich die Mehrheit solcher zerschnittener Landkreise eher geringe Anteile naturbetonter Flächen besitzt. Große UZF und gleichzeitig hohe Anteile naturbetonter Flächen (kleine Hemerobieindexwerte) sind insgesamt selten, können aber u. a. im Alpenraum gefunden werden – z. B. in den Landkreisen Garmisch-Partenkirchen und Berchtesgadener Land. Andererseits gibt es auch Landkreise mit großer Maschenweite und relativ starkem Kultureinfluss (Beispiel Stade). Es zeigt sich hier also, dass Unzerschnittenheit nicht unbedingt auch mit geringer Hemerobie einhergeht, aber große unzerschnittene Räume mit einem hohen Anteil an Flächen geringer Hemerobie ein seltenes und daher besonders wertvolles Schutzgut darstellen. Andererseits können kleine Freiräume durchaus wertvoll sein, da sie vom Menschen wenig beeinflusste Elemente enthalten können, die dann oft isoliert liegen.

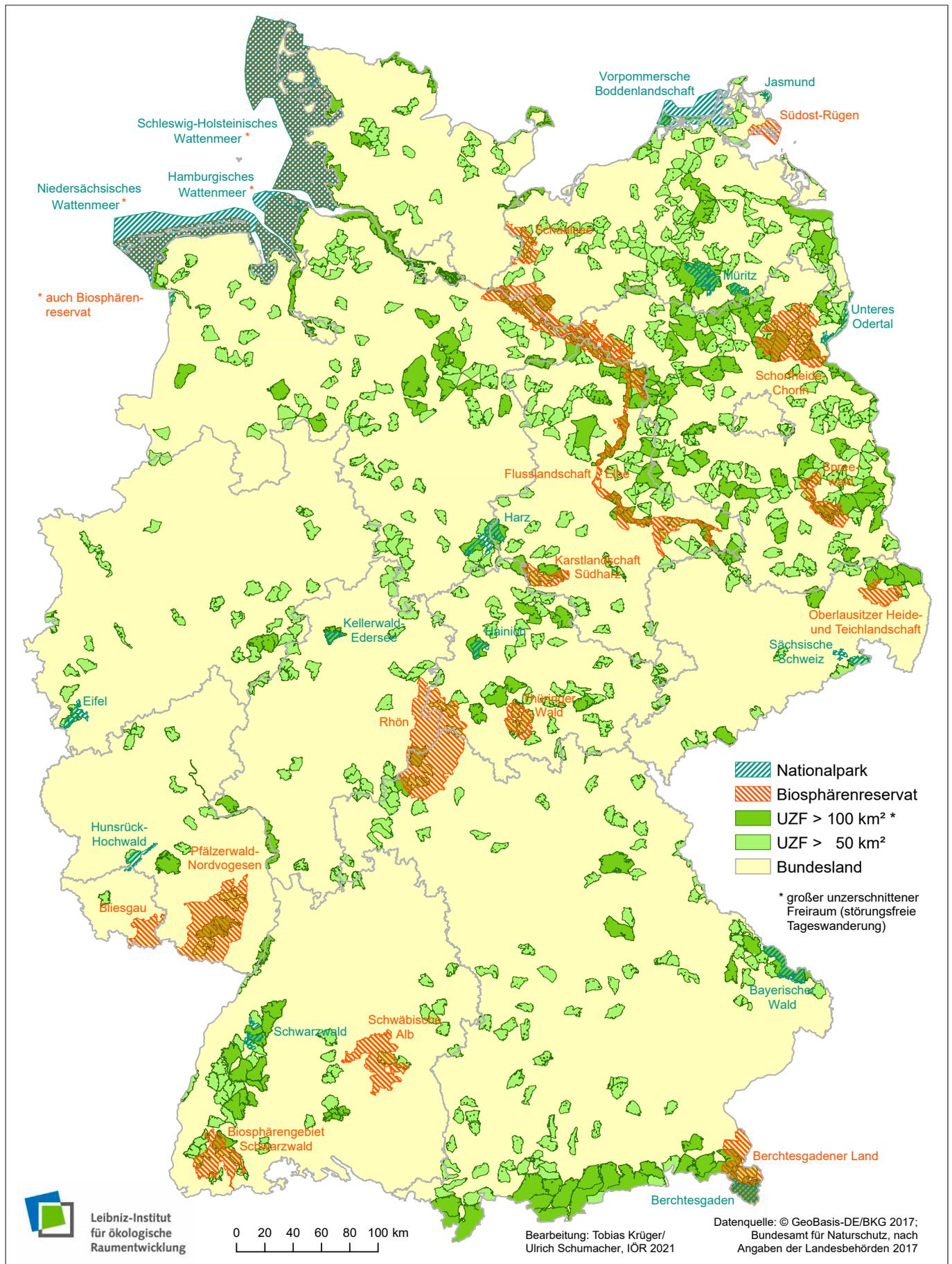


Abb. 3: Nationalparks, Biosphärenreservate und große unzerschnittene Freiräume (UZF) in Deutschland 2016.

Fig. 3: National parks, biosphere reserves and large undissected open spaces (UOS) in Germany in 2016.

3.4 Stichstraßen und Flächenform der Freiräume

Stichstraßen in ansonsten unzerschnittenen Freiräumen sowie unterschiedliche geometrische Formen der Freiräume (z. B. langgestreckt und schmal versus kompakt mit großem geschlossenen Kernbereich) werden in den üblicherweise verwendeten Indikatoren nicht berücksichtigt. Als ein Ansatz dazu wurde die Kenngröße „Mittlere Distanz zum nächsten Zerschneidungselement“ bundesweit berechnet, um die unzerschnittenen Freiräume weiter in ihrer Ausprägung zu differenzieren (für ausführlichere Informationen siehe Abschnitt 3 im [Online-Zusatzmaterial](#)).

4 Diskussion

4.1 Entwicklungstrends

Die geringe Dynamik der Landschaftszerschneidung in Deutschland seit 2000 ist sicherlich mit dem bereits erreichten hohen Zerschneidungsniveau im internationalen Vergleich zu erklären (siehe Abschnitt 4 im [Online-Zusatzmaterial](#)). So ist in Deutschland in einigen Regionen bereits ein so hohes Niveau erreicht, dass eine weitere Verdichtung des Straßen- und Schienennetzes kaum notwendig erscheint. In der Raumplanung wird beim Neubau von Trassen die Bündelung mit bestehender Infrastruktur als Zielvorgabe definiert. Damit verbunden haben vor allem Ortsumgehungsstraßen sehr häufig Auswirkungen auf die UZF. Allerdings verlaufen diese Straßen meist siedlungsnah und tangieren große UZF nur in Randbereichen. Neubauten in ohnehin schon stark zerschnittenen Landschaften besitzen kaum Einfluss auf den Zerschneidungsindex der effektiven Maschenweite, da aus kleinen Räumen nur noch kleinere Räume werden. Umweltauswirkungen solcher Maßnahmen können mit diesem Indikator definitionsgemäß nicht gemessen werden.

Allerdings gibt es auch Beispiele dafür, dass nach wie vor große unzerschnittene Räume durch Fernstraßenprojekte zerschnitten werden. So wird die Nordverlängerung der Autobahn A14 (Magdeburg – Wittenberge – Schwerin) in Sachsen-Anhalt (<https://bit.ly/Autobahn-A14>) den bisher größten autobahnfreien Raum in Deutschland im Städtedreieck Berlin – Hamburg – Hannover zerschneiden. Im südlichen Teil verläuft die im Bau befindliche Trasse nahezu parallel zur bestehenden Bundesstraße B189 – am östlichen Rand des großen Truppenübungsplatzes Altmark in der Colbitz-Letzlinger Heide. In der dünnbesiedelten Altmark weicht die Autobahntrasse der geplanten A14 von der bestehenden Bundesstraße B189 wesentlich ab, wodurch ein großer UZF mit einer Fläche von etwa 110 km² nordwestlich von Stendal zerschnitten wird ([Abb. 5, S. 93](#)). Im Ergebnis der Zerschneidung werden die resultierenden Teilflächen deutlich unter 100 km² liegen.

Sicherlich haben sich die Diskussionen um die Landschaftszerschneidung und damit die Bearbeitungsschwerpunkte in Behörden und in der Forschung weiterentwickelt. So liegt ein wesentliches Augenmerk von Arbeiten aus den letzten Jahren auf der Wiedervernetzung. Dabei geht es konkret darum, durch Barrieren unter-

Tab. 3: Anteil unzerschnittener Freiräume (UZF) > 100 km² an den terrestrischen Nationalparks in Deutschland 2016 (Datenquelle: © GeoBasis-DE/BKG 2017; Bundesamt für Naturschutz, nach Angaben der Landesbehörden 2017; Bearbeitung: Tobias Krüger/Ulrich Schumacher, 2019).

Table 3: Proportion of undissected open spaces (UOS) > 100 km² of terrestrial national parks in Germany in 2016 (data source: © GeoBasis-DE/BKG 2017; Federal Agency for Nature Conservation, according to the authorities of the German states 2017; edited by Tobias Krüger/Ulrich Schumacher, 2019).

Nationalpark	Gesamtfläche ohne Meeresgewässer [km ²]	UZF-Fläche [km ²]	UZF-Anteil [%]
Bayerischer Wald	242,15	224,83	92,8
Berchtesgaden	208,13	208,13	100,0
Eifel	108,71	0,00	0,0
Hainich	75,16	69,68	92,7
Harz	247,74	191,66	77,4
Hunsrück-Hochwald	104,56	0,00	0,0
Jasmund	24,49	0,00	0,0
Kellerwald-Edersee	57,39	57,39	100,0
Müritz	321,95	299,24	93,0
Sächsische Schweiz	93,47	0,00	0,0
Schwarzwald	100,61	43,02	42,8
Unteres Odertal	104,42	0,00	0,0

Tab. 4: Anteil unzerschnittener Freiräume (UZF) > 100 km² an den terrestrischen Biosphärenreservaten in Deutschland 2016 (Datenquelle: © GeoBasis-DE/BKG 2017; Bundesamt für Naturschutz, nach Angaben der Landesbehörden 2017; Bearbeitung: Tobias Krüger/Ulrich Schumacher, 2019).

Table 4: Proportion of undissected open spaces (UOS) > 100 km² of terrestrial biosphere reserves in Germany in 2016 (data source: © GeoBasis-DE/BKG 2017; Federal Agency for Nature Conservation, according to the authorities of the German states 2017; edited by Tobias Krüger/Ulrich Schumacher, 2019).

Biosphärenreservat	Gesamtfläche ohne Meeresgewässer [km ²]	UZF-Fläche [km ²]	UZF-Anteil [%]
Berchtesgadener Land	839,80	432,51	51,5
Biosphärengebiet Schwarzwald	632,26	73,28	11,6
Bliesgau	361,46	0,00	0,0
Flusslandschaft Elbe	2.821,73	1.108,70	39,3
Karstlandschaft Südharz	300,32	57,01	19,0
Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft	300,94	30,77	10,2
Pfälzerwald-Nordvogesen	1.786,11	256,06	14,3
Rhön	2.431,26	182,01	7,5
Schaalsee	309,87	0,00	0,0
Schorfheide-Chorin	1.292,40	382,47	29,6
Schwäbische Alb	852,66	0,00	0,0
Spreewald	473,83	127,74	27,0
Südost-Rügen	106,84	0,00	0,0
Thüringer Wald	336,67	0,00	0,0

brochene großräumige Biotopverbundkorridore wieder zu verbinden (BMU 2012; Reck et al. 2019).

Handlungsbedarf besteht weiterhin in der Entwicklung eines Indikators, der Entscheidungsmaßnahmen wie Grünbrücken oder Durchlässe berücksichtigt. Bestehende Indikatoren wie die LIKI-Indikatoren oder der IÖR-Monitor berücksichtigen solche Maßnahmen bisher nicht oder nur in geringem Umfang. Dies liegt nicht zuletzt an der Datenverfügbarkeit zu Grünbrücken und anderen Querungshilfen.

Im Kontext des Indikators zur Waldfragmentierung lässt sich anführen, dass die Waldmehrung ein erklärtes Ziel der Landesentwicklung in einigen Bundesländern wie z. B. Sachsen ist (SMI 2013). Allerdings kann die Fragmentierung naturnaher Wälder durch die Forstwirtschaft selbst bedingt sein, z. B. durch die Anlage von Monokulturen oder breiten Forststraßen.

Insgesamt stellt der Wald jedoch dort ein hohes Schutzgut dar, wo es für eine Umwandlung in Wohn- oder Gewerbefläche bisher recht hohe Hürden nach Bundeswaldgesetz gibt. Zahlreiche aktuelle Beispiele von Waldrodungen für Siedlungen und Gewerbe zeigen

aber den hohen Druck, der heute auf den Waldflächen lastet. Prominentes, aber keineswegs alleiniges Beispiel, ist die Waldrodung für die Tesla-Fabrik in Grünheide bei Berlin (<https://bit.ly/Giga-Factory>). Andere Beispiele wie die geplante und nun durch Bürgerentscheid abgesagte Rodung von mehr als 65 ha Wald zum Gewerbegebiet „Weiden West IV“ (<https://bit.ly/Weiden-West>), die geplante Rodung von fast 2 ha Waldfläche im Waldkraiburger Gewerbegebiet (<https://bit.ly/Waldkraiburg>), die Rodung von 21 ha Wald für ein Gewerbegebiet in Calw im Nordschwarzwald (<https://bit.ly/Calw>) sowie 46 ha für ein Gewerbegebiet im Nürnberger Reichswald (<https://bit.ly/Lorenzer-Reichswald>) belegen, dass Waldrodungen keine Einzelfälle sind. Diese Beispiele und der damit einhergehende Widerstand in der Bevölkerung zeigen deutlich die Problematik.

Insgesamt ist zur Entwicklung des Schutzguts „Große UZF“ festzustellen, dass der Fragmentierungsprozess zwar verlangsamt erscheint, jedoch weiterhin große Aufmerksamkeit erfordert. Gerade die verbliebenen UZF in dünnbesiedelten Räumen sind offensichtlich sehr anfällig für weitere Zerschneidung, da große Straßenbauprojekte nach wie vor als geeignetes Mittel gelten, um strukturschwache Regionen zu wirtschaftlicher Entwicklung zu verhelfen.

Im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien werden vermehrt Freiflächen-Photovoltaikanlagen entlang von Verkehrsstrassen installiert (Niemann et al. 2017; Göhler et al. 2019). Das liegt vor allem an der mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2010 eingeführten Vergütungsgarantie für Freiflächenanlagen, die in einem Abstand bis zu 110 m entlang von Autobahnen und Schienenwegen errichtet werden. Diese Regelung war dazu gedacht, aus raumordnerischer Sicht solche technischen Anlagen zu bündeln. In der Regel sind derartige Anlagen jedoch eingezäunt. Damit wird möglicherweise die Barrierewirkung des Verkehrswegs weiter erhöht (Abb. 6).

Die Bündelung von Trassen kann zwar die Landschaftszerschneidung im Sinne der Erhaltung großer UZF begrenzen, gleichzeitig aber zu einer stärkeren Barrierewirkung an bestimmten Abschnitten und damit einer höheren funktionalen Zerschneidung beitragen. Wenn mehrere Hauptverkehrsstrassen wie Autobahn und Fernbahnstrecke nebeneinanderliegen, sind diese praktisch nicht mehr zu überwinden – außer es gibt geeignete Überwindungshilfen wie Grünbrücken, Talbrücken oder genügend große Durchlässe. Außerdem wäre zu klären, ob sich durch die Trassenbündelung die lokale Flächeninanspruchnahme ggf. vergrößert (z. B. komplizierte, raumgreifende Gestaltung von Zu- und Abfahrten bzw. Kreuzungen und damit verbundene Restflächen). Gleichwohl wäre es kontraproduktiv, das Bündelungsprinzip aufzugeben, da unzerschnittene Räume nicht vermehrbar sind. Die Trassenbündelung hilft, finanzielle Mittel für technische Maßnahme wie Querungshilfen gezielt einzusetzen.

Zur Einordnung des Landschaftszerschneidungsgrads in Deutschland im Vergleich zu anderen europäischen Ländern siehe Abschnitt 4 im [Online-Zusatzmaterial](#).

4.2 Bedarf

Der Bundesverkehrswegeplan (BVWP) 2030 stellt „Erhalt und Ersatz vor Aus- und Neubau“ und „Engpassbeseitigung“ in den Mittelpunkt. Gleichzeitig wird erwartet, dass die Verkehrsleistung im Personenver-

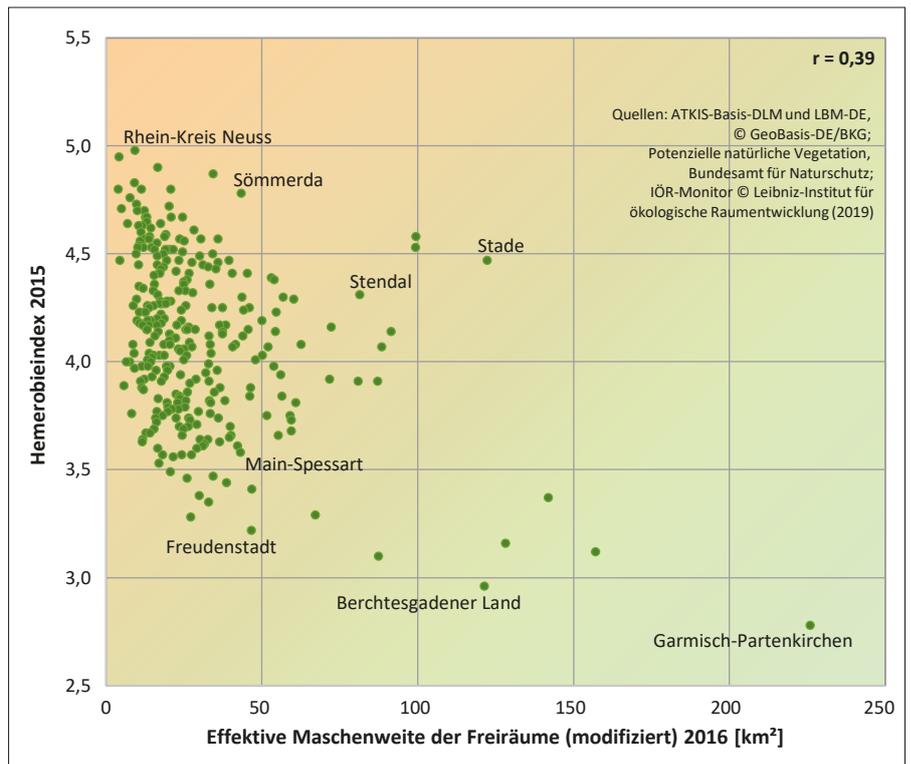


Abb. 4: Landschaftszerschneidung und Hemerobie nach Landkreisen in Deutschland. Hohe Hemerobiewerte bedeuten eine intensive Landnutzung durch den Menschen, niedrige Werte einen geringen Kultureinfluss (Bearbeitung: Ulrich Schumacher).

Fig. 4: Landscape fragmentation and hemeroby by districts in Germany. High hemerobic values mean a high intensity of land use, low values mean less human impact (editing: Ulrich Schumacher).

kehr in Deutschland bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 2010 um 12 % zunehmen wird. Bei der Transportleistung im Güterverkehr wird eine Zunahme um 38 % erwartet. Der BVWP stellt in diesem Kontext fest: „An vielen Stellen der Netze besteht daher ein Bedarf für Aus- und Neubauvorhaben“ (BMVI 2016). Dementsprechend lang ist die Liste der Vorhaben: Über 2.000 Maßnahmen wurden geprüft. Weiterhin stellt die Bundesanstalt für Straßenwesen fest, dass ca. 24.000 Lkw-Stellplätze entlang der Bundesfernstraßen fehlen (BASt 2019). Aus dieser Sicht ist eine weitere Zunahme der Landschaftszerschneidung mit entsprechendem Druck auf die Landschaft zu erwarten.

Zur Abmilderung der Auswirkungen auf Landschaft, Mensch und Tierwelt werden schon seit Längerem Anstrengungen unternommen, um das Straßenverkehrsnetz durchlässiger zu gestalten. In Forschungs- und Entwicklungsprojekten wurde untersucht, wo Konflikte zwischen Verkehrsinfrastruktur und Biotopverbundkorridoren bestehen und prioritär entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden sollten (Hänel, Reck 2011). Auch die zusätzliche Zerschneidung durch Siedlungserweiterung wurde untersucht (Hänel et al. 2016). Im Jahr 2012 gab es das Bundesprogramm Wiedervernetzung – mit einer konkreten Liste zu realisierender Querungshilfen. Davon wurden 14 Maßnahmen im Rahmen des damaligen Konjunkturpakets II finanziert (BMU 2012). In Anbetracht der zu erwartenden Zunahme der Verkehrsmengen und des Ausbaudrucks ist das Bundesprogramm unbedingt fortzuführen und finanziell aufzustocken.

Wenn bei Neubaumaßnahmen inzwischen auch Querungshilfen wie Grünbrücken und Durchlässe regelmäßig gebaut werden, so gibt es doch viele Strecken im Bestand, die eine sehr geringe Durchlässigkeit für querende Tiere aufweisen. An diesen Strecken muss die Durchlässigkeit verbessert werden. Dies wird umso dringlicher, wenn durch die zunehmende Verkehrsdichte andere Schutzmaßnahmen wie Lärmschutzwände entlang von Siedlungen und die Zäunung gegen Wildunfälle (auch an Fernverkehrsstrecken der Bahn) ergriffen

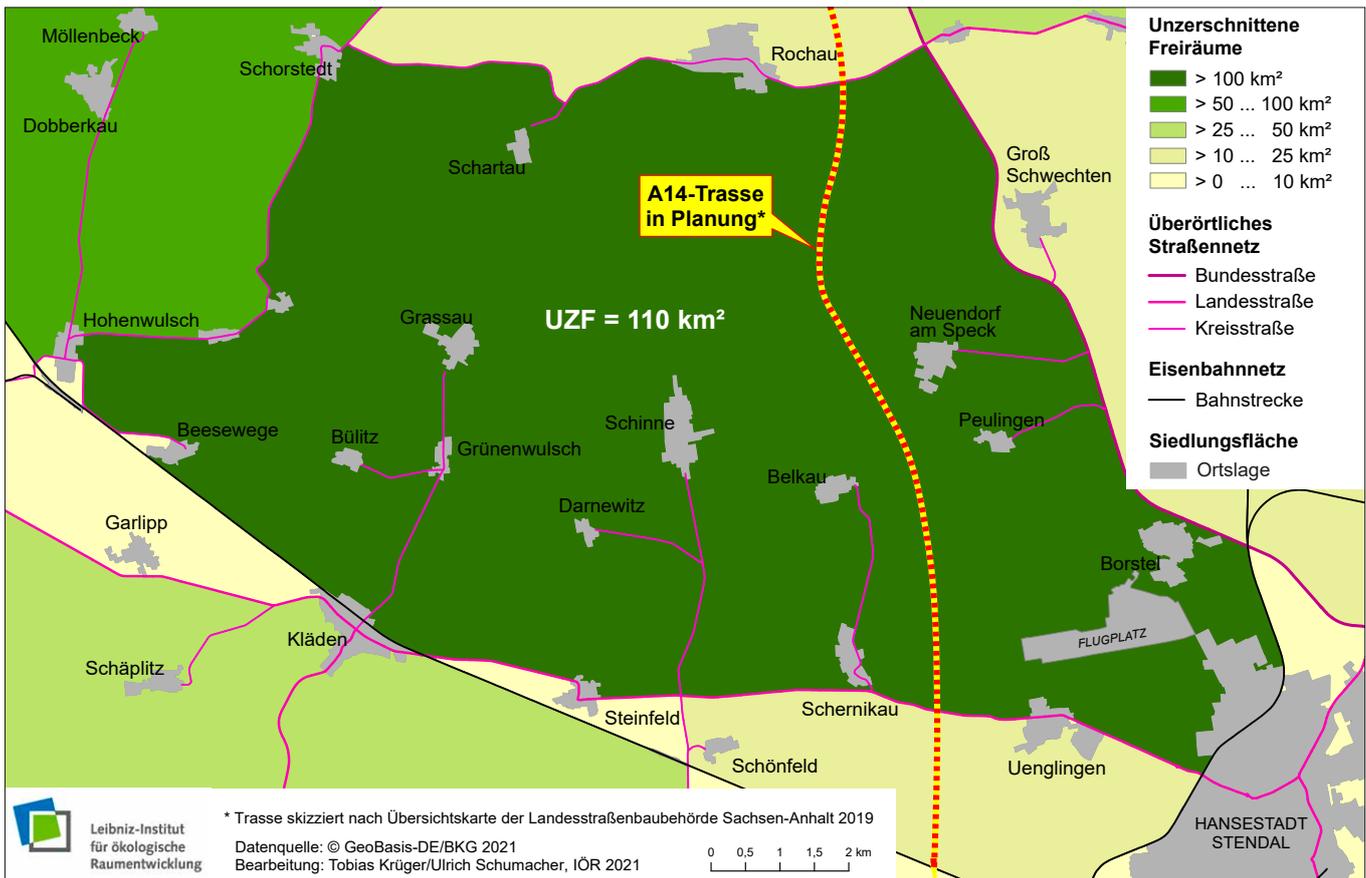


Abb. 5: Lage der geplanten Autobahntrasse A14 im Kontext mit unzerschnittenen Freiräumen (UZF) in der Altmark bei Stendal (Bearbeitung: Ulrich Schumacher).

Fig. 5: Location of the planned A14 motorway route in the context of undissected open spaces (UOS) in the Altmark region near Stendal (editing: Ulrich Schumacher).

werden. Dadurch nimmt die Barrierewirkung des überregionalen Verkehrsnetzes massiv zu – an manchen Stellen bis zur weitgehenden Undurchlässigkeit für nicht flugfähige, rein terrestrische Biota. Durch eine Reduktion der Verkehrsgeschwindigkeiten könnte hingegen ein erheblicher Freiraumschutz (v.a. für Menschen) erzielt werden, da sich die Lärmbänder und die notwendige Verkehrswegebreite reduzieren.

5 Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Auswertungen zeigen, dass sich die Landschaftszerschneidung in Deutschland nach wie vor auf einem hohen Niveau befindet. Auf den ersten Blick scheint es zwar eine Verlangsamung des Trends zur weiteren Zerschneidung zu geben. Der zweite Blick zeigt jedoch, dass dies nur für bestimmte Regionen gilt. Nach wie vor existieren zahlreiche überregionale Straßenbauprojekte, die zu weiterer Landschaftszerschneidung führen bzw. führen werden. Positiv im Sinne der Erhaltung großer UZF ist das bei Neubaumaßnahmen häufig umgesetzte raumplanerische Prinzip der Trassenbündelung zu bewerten. Gleichwohl kann die Bündelung neuer mit bereits vorhandenen Verkehrstrassen die bereits bestehende Zerschneidungswirkung im funktionalen Sinne verstärken. Hier sind geeignete Entscheidungsmaßnahmen notwendig, auch für die Verkehrswege im Bestand. Die mit neuen Infrastrukturprojekten verbundenen Belastungen für Natur und Mensch sind

nach wie vor als hoch einzustufen, es gibt aber auch eine erhöhte Sensibilität der Bevölkerung hierfür.

Insbesondere in großen Schutzgebieten wie Nationalparks stellt die Landschaftszerschneidung nach wie vor ein aktuelles Problem dar. Hier sollte die Zerschneidung in Zukunft verringert werden, um die natürlichen Prozesse in der Landschaft zu bewahren. Dazu gehören große UZF, da diese ungestörte Migrations- und Austauschbewegungen von Tieren (z.B. großer Säugetiere) ermöglichen und gleichzeitig für den Menschen große, durch Verkehrslärm ungestörte Bereiche für eine naturbezogene Erholung bilden. Die Übersichtskarte von Deutschland (Abb. 3, S. 90) verdeutlicht, dass wir von einem solchen Ziel in zahlreichen Regionen noch weit entfernt und Anstrengungen für eine Verringerung der Zerschneidung gerade in Großschutzgebieten nötig sind.



Abb. 6: Solarflächen entlang der Autobahn A6 bei Dettelsau. (Luftbild: Google Earth, GeoBasis-DE/BKG © 2009)

Fig. 6: Solar panels along the A6 motorway near Dettelsau. (Aerial image: Google Earth, GeoBasis-DE/BKG © 2009)

Die aktuell verwendeten Indikatoren auf Bundes- und Landesebene können nicht alle Aspekte der Landschaftszerschneidung aufzeigen. So spiegelt sich der Aspekt der Durchlässigkeit des Straßennetzes nicht wider. Es fehlen einerseits aktuelle Zahlen zur Durchlässigkeit des Straßennetzes und konkreter Streckenabschnitte. Andererseits schlagen sich Anstrengungen, die Durchlässigkeit zu erhöhen (einschl. des teilweise erheblichen finanziellen Aufwands) nicht in den Indikatorwerten nieder. Hier besteht Bedarf an der Entwicklung eines geeigneten Indikators. Außerdem berücksichtigen die bisherigen Indikatoren keine funktionelle Vernetzung und keine Kumulationseffekte entlang der Verkehrswege (z. B. mit Photovoltaikanlagen). Daher ist eine Weiterentwicklung der Indikatoren in den genannten Punkten notwendig. Dabei sollten zusätzlich die Flächenform der Freiräume sowie Stichstraßen berücksichtigt werden. Außerdem könnte die Hemerobie der Freiräume neben der Flächengröße in die Bewertung der einzelnen UZF einfließen. Um die Verkehrsstärke von Straßen zu berücksichtigen, könnte möglicherweise die Nutzung von Mobilfunkdaten hilfreich sein, wie dies z. B. in Navigationsgeräten oder Apps wie Google Maps ja bereits erfolgt.

Gleichwohl bleibt die Zerschneidung der Landschaft ein wichtiger Indikator zum Zustand der Landschaft, da mit der Erhaltung großer UZF wichtige Funktionen verbunden sind: Man denke an Lebensräume für große Säugetiere, Erholungsräume für den Menschen, unverlarmte Bereiche und die technische Überprägung der Landschaft, die sich nicht einfach durch einige punktuelle Minderungsmaßnahmen wie Grünbrücken – so sinnvoll diese im jeweiligen Einzelfall sind – insgesamt aufheben lassen.

Es wird klar, dass Großschutzgebiete nicht per se große UZF umfassen, was auch umgekehrt gilt. Umso wichtiger ist es, UZF in der Raumplanung weiterhin als eigenständiges Schutzgut zu betrachten, um solche Räume auch ohne offiziellen Schutzstatus zu bewahren. Insgesamt zeigt sich, dass das Monitoring der Landschaftszerschneidung weiterhin große Aufmerksamkeit erfordert.

Vor dem Hintergrund des insgesamt hohen Zerschneidungsgrads in Deutschland im europäischen Vergleich wäre es sinnvoll und zukunftsweisend, für überörtliche Straßen – insbesondere im Bestand – ein weiteres Entschneidungsprogramm des Bundes und der Länder aufzulegen.

6 Literatur

AdV/Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2018): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok). Hauptdokument. Version 7.1, Stand: 31.7.2018. AdV: 215 S.

Aßmann T., Boutaud E. et al. (Hrsg.) (2017): Halboffene Verbundkorridore: Ökologische Funktion, Leitbilder und Praxis-Leitfaden. Naturschutz und Biologische Vielfalt 154: 296 S.

Aßmann T., Boutaud E. et al. (2020): Fragmentierung und lineare Lebensraumstrukturen – eine entomologische Perspektive. In: Meißner A., Niebrügge A. et al. (Hrsg.): Wildnis im Dialog. Aktuelle Beiträge zur Wildnisentwicklung in Deutschland. BfN-Skripten 557: 49–66.

BASt/Bundesanstalt für Straßenwesen (2019): Lkw-Parksituation im Umfeld der BAB 2018. Bundesweite Erhebung der Lkw-Parksituation an und auf BAB in Deutschland in den Nachtstunden. BASt. Bergisch Gladbach: 21 S.

Benítez-López A., Alkemade R., Verweij P.A. (2010): The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations. A meta-analysis. Biological Conservation 143(6): 1.307–1.316.

BMU/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU. Berlin: 178 S.

BMU/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2012): Bundesprogramm Wiedervernetzung. Grundlagen – Aktionsfelder – Zusammenarbeit. BMU. Berlin: 30 S.

BMVI/Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2016): Bundesverkehrswegeplan 2030. BMVI. Berlin: 182 S.

Fähig L. (1997): Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction. Journal of Wildlife Management 61(3): 603–610.

Fritz G. (1984): Erhebung und Darstellung unzerschnittener, relativ großflächiger Wälder in der Bundesrepublik Deutschland. Natur und Landschaft 59(7/8): 284–286.

Gerlach G., Musolf K. (2000): Fragmentation of landscapes as a cause for genetic subdivision in bank voles. Conservation Biology 14(4): 1.066–1.074.

Glitzner I., Beyerlein P. et al. (1999): Literaturstudie zu anlage- und betriebsbedingten Auswirkungen von Straßen auf die Tierwelt. Endbericht. Graz: 178 S.

Göhler L., Walz U., Krüger T. (2019): Entwicklung der Photovoltaik-Freiflächenanlagen in Deutschland – auf Grundlage des ATKIS Basis-DLM. In: Meinel G., Schumacher U. et al. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XI. Flächenmanagement – Bodenversiegelung – Stadtgrün. IÖR Schriften Bd. 77. Rhombos. Berlin: 149–158.

Grau S. (1998a): Erfassung und Bewertung der Landschaftszerschneidung im Landkreis Wernigerode/Harz. Hercynia Neue Folge 31: 13–32.

Grau S. (1998b): Überblick über Arbeiten zur Landschaftszerschneidung sowie zu unzerschnittenen Räumen in der Bundes-, Landes- und Regionalplanung Deutschlands. Natur und Landschaft 73(10): 427–434.

Hänel K., Baierl C., Ulrich P. (2016): Lebensraumverbund und Siedlungsentwicklung in Deutschland. Identifikation von Engstellen und Planungsempfehlungen. Ergebnisse eines F + E-Vorhabens des Bundesamtes für Naturschutz. Naturschutz und Biologische Vielfalt 144: 240 S.

Hänel K., Reck H. (2011): Bundesweite Prioritäten zur Wiedervernetzung von Ökosystemen: Die Überwindung straßenbedingter Barrieren. Naturschutz und Biologische Vielfalt 108: 118 S.

Heiss G. (1992): Erfassung und Bewertung großflächiger Waldgebiete zum Aufbau eines Schutzgebietssystems in der Bundesrepublik Deutschland. Forstliche Forschungsberichte München 120: 261 S.

Holzgang O., Sieber U. et al. (2000): Wildtiere und Verkehr. Eine kommentierte Bibliographie. Schweizerische Vogelwarte. Sempach: 72 S.

Jaeger J.A. (2000): Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. Landscape Ecology 15(2): 115–130.

Jaeger J.A. (2002): Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. Ulmer. Stuttgart: 447 S.

Jaeger J.A., Bertiller R., Schwick C. (2007): Landschaftszerschneidung Schweiz. Zerschneidungsanalyse 1885–2002 und Folgerungen für die Verkehrs- und Raumplanung. Kurzfassung. Bundesamt für Statistik. Neuchâtel: 36 S.

Jaeger J.A., Grau S., Haber W. (2005): Einführung: Landschaftszerschneidung und die Folgen. GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society 14: 98–100.

Köhler R., Eggers B. (2012): Waldfragmentierung und Artenschutz. Analyse der Auswirkungen der Fragmentierung von Waldökosystemen auf Indikatorarten unter Berücksichtigung von Landschaftsstrukturindizes. Sonderheft 363. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig: 83 S.

Köhler R., Oehmichen K., Eggers B. (2010): Fragmentierung von Waldökosystemen und deren Auswirkung auf das Vorkommen des Schwarzstorches – erste Analyseergebnisse auf Grundlage des ATKIS Basis-DLMs. In: Meinel G., Schumacher U. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring II. Konzepte – Indikatoren – Statistik. IÖR Schriften Bd. 52. Rhombos. Berlin: 169–180.

Kostrzewa S. (2006): Genetic barrier effects of roads on amphibian populations. Naturschutz und Landschaftsplanung 38(10/11): 341–343.

Kowarik I. (2006): Natürlichkeit, Naturnähe und Hemerobie als Bewertungskriterien. In: Fränze O., Müller F., Schröder W. (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften: Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung, Kap. VI–3.12. Wiley-VCH. Weinheim: 18 S.

LIKI/Länderinitiative Kernindikatoren (2020): Indikatoren Natur und Landschaft (B). B1 – Landschaftszerschneidung. <https://www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?indikator=13&aufzu=2&mode=indi> (aufgerufen am 14.4.2020).

Moser B., Jaeger J.A. et al. (2007): Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. Landscape Ecology 22(3): 447–459.

- Niemann K., Rüter S. et al. (2017): Photovoltaik-Freiflächenanlagen an Verkehrswegen in Deutschland. Ausbauzustand und mögliche Folgen für den Biotopverbund. *Natur und Landschaft* 92(3): 119 – 128.
- Reck H., Hänel K. et al. (2019): Grünbrücken, Faunatunnel und Tierdurchlässe. Anforderungen an Querungshilfen. *BfN-Skripten* 522: 97 S.
- Reck H., Herden C. et al. (2001): Die Beurteilung von Lärmwirkungen auf freilebende Tierarten und die Qualität ihrer Lebensräume. Grundlagen und Konventionsvorschläge für die Regelung von Eingriffen nach § 8 BNatSchG. *Angewandte Landschaftsökologie* 44: 125 – 151.
- Reichelt G. (1979): Landschaftsverlust durch Straßenbau. *Natur und Landschaft* 54(10): 335 – 338.
- Roth M., Waterstraat A., Klenke R. (2006): Ökologische und evolutionsbiologische Wirkungen der Segmentierung in Landschaften und der Zerschneidung in Habitaten. In: Baier H., Erdmann F. et al. (Hrsg.): *Freiraum und Naturschutz. Die Wirkungen von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft*. Springer. Berlin: 143 – 150.
- Schauer P. (2006): GIS-gestützte Prognose zur Landschaftszerschneidung im Freistaat Sachsen für das Jahr 2020. Diplomarbeit. TU Dresden: 126 S.
- Schumacher U., Walz U. (2000): Landschaftszerschneidung durch Infrastrukturturstrassen. In: *Leibniz-Institut für Länderkunde (Hrsg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Band 10: Freizeit und Tourismus*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 132 – 135.
- Schumacher U., Walz U. (2006): Landschaftszerschneidung in Sachsen. Bewertung von Freiraumstrukturen auf der Basis grenzüberschreitender Geodaten. In: *Aurada K.D., Rödel R. (Hrsg.): Beiträge zum 16. Kolloquium Theorie und quantitative Methoden in der Geographie. Gemeinsame Tagung der Arbeitskreise AK Theorie und Quantitative Methoden in der Geographie und AK Geographische Informationssysteme in der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG). Greifswalder Geographische Arbeiten* 39: 39 – 48.
- SMI/Sächsisches Staatsministerium des Inneren (2013): Landesentwicklungsplan 2013. <https://www.landesentwicklung.sachsen.de/landesentwicklung/landesentwicklungplan-2013-4794.html> (aufgerufen am 4.2.2020).
- Stein C., Walz U. (2012): Hemerobie als Indikator für das Flächenmonitoring. Methodenentwicklung am Beispiel von Sachsen. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 44(9): 261 – 266.
- Sukopp H. (1972): Wandel von Flora und Vegetation in Mitteleuropa unter dem Einfluß des Menschen. *Berichte über Landwirtschaft* 50(1): 112 – 139.
- TLUG/Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) (2007): Neue Kennzahlen zur Bewertung der Störungsarmut von geographischen Räumen in Thüringen. TLUG. Jena: 18 S.
- TLUG/Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) (2017): Kennzahlen zur Bewertung der Störungsarmut von geographischen Räumen in Thüringen. TLUG. Jena: 23 S.
- Walz U., Krüger T., Schumacher U. (2011): Landschaftszerschneidung und Waldfragmentierung. Neue Indikatoren des IÖR-Monitors. In: Meinel G., Schumacher U. (Hrsg.): *Flächennutzungsmonitoring III. Erhebung – Analyse – Bewertung*. IÖR Schriften, Bd. 58. Rhombos. Berlin: 163 – 170.
- Walz U., Krüger T., Schumacher U. (2013): Fragmentierung von Wäldern in Deutschland – neue Indikatoren zur Flächennutzung. *Natur und Landschaft* 88(3): 118 – 127.
- Walz U., Schauer P. (2009): Unzerschnittene Freiräume als Schutzgut? Landschaftszerschneidung in Deutschland mit besonderem Fokus auf Sachsen. In: Siedentop S., Egermann M. (Hrsg.): *Freiraumschutz und Freiraumentwicklung durch Raumordnungsplanung. Bilanz, aktuelle Herausforderungen und methodisch-instrumentelle Perspektiven*. Verlag der ARL. Hannover: 46 – 70.
- Walz U., Stein C. (2014): Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation* 22(3): 279 – 289.
- Waterstraat A., Baier H. et al. (1996): Unzerschnittene, störungsarme Landschaftsräume. Versuch der Beschreibung eines Schutzgutes. *Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern* 1: 5 – 24.
- Watts R.D., Compton R.W. et al. (2007): Roadless space of the conterminous United States. *Science* 316(5.825): 736 – 738.

Prof. Dr. habil. Ulrich Walz
Korrespondierender Autor
Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden
Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie
Pillnitzer Platz 2
01326 Dresden
E-Mail: ulrich.walz@htw-dresden.de



Der Autor ist Professor für Landschaftsökologie und Geographische Informationssysteme an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden. Zuvor Projektleiter am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) Dresden und Lehrbeauftragter an der TU Dresden sowie der Uni Rostock; Studium der Geographie und Landschaftsökologie in Stuttgart und Hohenheim; Promotion 2000 an der TU Dresden und 2013 Habilitation an der Universität Rostock in den Fachgebieten Geoinformatik und Landschaftsökologie; Forschungsschwerpunkte: Biodiversität und Landschaftsstruktur, Ökosystemleistungen, Landschaftswandel und Umweltauswirkungen, Indikatoren zur landschaftsstrukturellen Vielfalt.

Ulrich Schumacher, Dipl.-Ing. oec.
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)
Weberplatz 1
01217 Dresden
E-Mail: u.schumacher@ioer.de

Dr.-Ing. Tobias Krüger
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)
Weberplatz 1
01217 Dresden
E-Mail: t.krueger@ioer.de

Anzeige

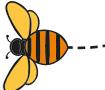

Global Nature Fund

Systemrelevant – aber ohne Rettungsschirm.



Ihre Spende schützt Biene und Co.

Spendenkonto
DE53 4306 0967 8040 4160 00
www.globalnature.org



Zusatzmaterial zu:

Landschaftszerschneidung und Waldfragmentierung in Deutschland – Ergebnisse aus einem Monitoring im Kontext von Schutzgebieten und Hemerobie

Supplement to:

Landscape and forest fragmentation in Germany – Results from monitoring
in the context of protected areas and closeness to hemeroby

Ulrich Walz, Ulrich Schumacher und Tobias Krüger

Natur und Landschaft – 97. Jahrgang (2022) – Ausgabe 2: 85–95

Zusammenfassung

Große unzerschnittene Freiräume (UZF) und Wälder sind ein wichtiges Schutzgut, insbesondere in Hinblick auf die Überlebensfähigkeit von Tierpopulationen, aber auch für die naturbezogene Erholung des Menschen. Ziel des vorliegenden Beitrags ist es zu analysieren, wie sich Landschaftszerschneidung und Waldfragmentierung durch überörtliche Verkehrsstrassen von Straße und Schiene in Deutschland seit 2000 verändert haben, welche Anteile Großschutzgebiete wie Nationalparks oder Biosphärenreservate an großen UZF haben und wie stark der menschliche Einfluss auf diese Freiräume ist. Die Ergebnisse eines bundesweiten Monitorings auf Basis amtlicher topographischer Geodaten, die den Zeitraum seit dem Jahr 2000 abdecken, zeigen insgesamt wenig Dynamik, aber eine räumlich differenzierte Zunahme der Zerschneidung und Fragmentierung. Nach wie vor existieren zahlreiche überregionale Infrastrukturprojekte, die zu weiterer Zerschneidung der Landschaft führen bzw. führen werden. Positive Wirkung kann hingegen das Prinzip der Trassenbündelung haben. Es zeigt sich, dass große unzerschnittene Freiräume und Wälder häufig auch außerhalb von Großschutzgebieten liegen und damit ein eigenes Schutzgut darstellen. Eine Weiterentwicklung der aktuell verwendeten Indikatoren auf Bundes- und Landesebene wird empfohlen, insbesondere in Bezug auf die Durchlässigkeit des Straßennetzes sowie zu Kumulationseffekten entlang der Verkehrswege (z. B. mit Photovoltaikanlagen). Schließlich wäre es angesichts des hohen Zerschneidungsgrads in Deutschland im europäischen Vergleich sinnvoll und zukunftsweisend für überörtliche Straßen im Bestand, ein weiteres Entschneidungsprogramm des Bundes und der Länder aufzulegen.

Unzerschnittene Freiräume – Wald – Nationalpark – Biosphärenreservat – Landschaftszerschneidung – effektive Maschenweite – Hemerobie – Raumplanung

Abstract

Large, unfragmented open spaces and forests are an important object of conservation, for example for the survival of animal populations, but also for nature-based recreation of people. The aim of this article is to analyse how landscape fragmentation and forest fragmentation have changed in Germany due to supra-local roads and rail traffic routes since 2000, what share large-scale protected areas such as national parks or biosphere reserves have in large unfragmented open spaces and how strong human impacts on these open spaces are. The results of a nationwide monitoring based on official topographical geodata in the period since 2000 show little dynamics overall, but nevertheless a spatially differentiated increase in fragmentation. There are still numerous infrastructure projects that lead to a further fragmentation of the landscape. The principle of route bundling can have a positive effect. It can be seen that large, unfragmented open spaces and forests are often situated outside of large protected areas and thus represent an object of conservation value in their own right. Further development of the indicators currently used at federal and state level is recommended, especially with regard to the permeability of the road network and cumulative effects along the traffic routes (e. g. with photovoltaic systems). Finally, in view of the high degree of fragmentation in Germany compared to other European countries, it would be useful and forward-looking to set up a further defragmentation programme by the federal government and the federal states for existing supra-local roads.

Unfragmented open space – Forest – National park – Biosphere reserve – Landscape fragmentation – Effective mesh size – Hemeroby – Spatial planning

1 Begriffsdefinitionen für unzerschnittene Räume

Für Räume zwischen den zerschneidungswirksamen linienhaften Infrastrukturtrassen außerhalb der im Zusammenhang bebauten Siedlungsflächen werden verschiedene Begriffe verwendet: „unzerschnittene Freiräume“ (UZF), „unzerschnittene verkehrsarme Räume“ (UZVR) oder „unzerschnittene Funktionsräume“ (UFR).

Während [Eichhorst und German \(1974\)](#) zunächst alle Bundesfernstraßen, Landes- und Kreisstraßen als zerschneidend berücksichtigten, definierte [Lassen \(1979\)](#) den Begriff der „unzerschnittenen verkehrsarmen Räume“ (UZVR) über die Zerschneidung durch Straßen, die eine Verkehrsmenge von über 1.000 Kraftfahrzeugen im 24-Stunden-Mittel (durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke – DTV) aufweisen, sowie durch Eisenbahnlinien ([Lassen 1990](#)). Die Einbeziehung der Verkehrsstärke in die Abgrenzungskriterien ist berechtigt, allerdings problembehaftet, da nicht für alle überörtlichen Straßenabschnitte (insbesondere Kreis-, aber auch Landesstraßen) bundesweit Angaben zu Verkehrsmengen vorliegen und daher modelliert werden müssen. Außerdem werden bei den Bahnstrecken keine Zugfrequenzen berücksichtigt. Die letzten bundesweiten Modellrechnungen einschließlich Kreisstraßen stammen aus den Jahren 2010 und 2015. Keine Daten liegen für das Jahr 2000 vor ([Gawlak 2019](#)). Jedoch wurde bereits 1973 in der damaligen Bundesrepublik auf allen Kreisstraßen im Durchschnitt eine DTV von 1.079 Kfz/Tag erreicht ([BMVI 2020](#)). Heute kann man davon ausgehen, dass nahezu alle überörtlichen Straßen eine durchschnittliche Verkehrsbelastung von mindestens 1.000 Kfz/Tag aufweisen. Im Jahr 1993 lag diese bereits im Durchschnitt bei 1.655 Kfz/Tag. Neuere offizielle Zahlen gibt es aufgrund der zu geringen Anzahl an Zählstellen nicht ([BMVI 2020](#)).

Die Verfasser haben deshalb aus Konsistenzgründen bei fehlenden bzw. modellierten Verkehrsstärken und wegen der Vergleichbarkeit über längere Zeiträume den Begriff „unzerschnittene Freiräume“ (UZF) geprägt ([Schumacher, Walz 2000](#)). Im Unterschied zu dem Begriff „unzerschnittene verkehrsarme Räume“ wird hier grundsätzlich und pragmatisch aufgrund der o.g. Überlegungen von der Zerschneidungswirkung einer überörtlichen Straße ausgegangen. Die UZF werden durch die Einbeziehung aller überörtlichen Verkehrswege (Autobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen sowie Hauptstrecken der Eisenbahn) außerhalb von Ortslagen abgegrenzt. Im IÖR-Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung wird entsprechend der von den Autoren entwickelten Methode beim Straßenverkehr nur die Kategorie (Widmung) berücksichtigt. Damit wird bereits die physische Existenz einer überörtlichen Straße mit entsprechendem Ausbauzustand als zerschneidungswirksam betrachtet.

[Reck et al. \(2007\)](#) und [Hänel \(2007\)](#) bezeichnen „Teilräume von Lebensraumnetzwerken („ökologischen Netzwerken“), die durch Verkehrsinfrastruktur mit erheblicher Barrierewirkung begrenzt, aber selbst nicht durchschnitten sind“, als „unzerschnittene Funktionsräume“ (UFR). Während die übrigen Ansätze zur Landschaftszerschneidung die Gesamtfläche zwischen den Zerschneidungselementen betrachten, gehen die UFR von der Zerschneidung von Lebensräumen (Wald, Feuchtbereiche und Trockenstandorte) aus. Dabei werden unzerschnittene Lebensraumkomplexe aus den genannten Elementen und verbindenden Korridoren modelliert. An den Schnittpunkten der Korridore mit zerschneidender Infrastruktur wurden Maßnahmen zur Wiedervernetzung abgeleitet ([Hänel, Reck 2011](#)).

2 Methoden

2.1 Ansatz

Die Analysen zur Landschaftszerschneidung und zur Waldfragmentierung beziehen sich auf die Ableitung unzerschnittener Freiräume (UZF) und basieren auf bundesweit verfügbaren Geodaten.

Dies sind im Wesentlichen das Basis-Landschaftsmodell (ATKIS Basis-DLM) der öffentlichen Vermessungsverwaltungen der Länder, das Landbedeckungsmodell LBM-DE des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG) sowie Straßengeometrien eines privaten Anbieters ergänzend für das Jahr 2000 (s. u.). Die vorliegenden Ausführungen beziehen sich auf die Indikatoren zur Landschaftszerschneidung und zur Waldfragmentierung aus dem IÖR-Monitor bzw. dem Umweltatlas des Umweltbundesamts (<https://bit.ly/zerschneidung>), die dort interaktiv abgefragt werden können.

Zur Berechnung der Zerschneidungsgeometrie mithilfe eines Geoinformationssystems (GIS) werden folgende topographischen Objekte aus dem ATKIS Basis-DLM verwendet:

- überörtliches Straßennetz (linienförmig): Autobahn, Bundesstraße, Landes- bzw. Staatsstraße, Kreisstraße,
- Eisenbahnnetz (linienförmig): mehrgleisige Strecke, eingleisige elektrifizierte Strecke (jeweils in Betrieb),
- Schifffahrt (linienförmig): Kanäle für die Schifffahrt,
- Verkehr (flächenförmig): Platz, Raststätte, Flughafen/Flugplatz, Bahnhofsanlage, Bahnkörper, Hafenbecken,
- Siedlung (flächenförmig): zusammenhängende Ortslagen (> 5 ha).

Die Auswahl der zerschneidenden Objekte erfolgte in Anlehnung an die Kriterien des Indikators der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) bzw. der Auswertungen des Bundesamts für Naturschutz (BfN) (siehe [Gawlak 2019](#); [LIKI 2020](#)), insbesondere in Bezug auf das Eisenbahnnetz und die Kanäle. Gewässerflächen, die keine Kanäle sind – also auch Seen oder breite Flüsse – wurden nicht als zerschneidungswirksam betrachtet. Alle in den Ausgangsdaten linienförmig angelegten Objekte wie Straßen und Bahnstrecken wurden entsprechend ihrer vorhandenen Attribute zur Objektbreite, ihrer Anzahl der Fahrstreifen oder Streckengleise im GIS durch Pufferung als Flächen modelliert. Zusammen mit den Polygonen der Ortslagen bilden sie die flächenförmige Zerschneidungsgeometrie. Die (unzerschnittenen) Freiräume ergeben sich als Restflächen nach dem Ausschneiden dieser Zerschneidungsgeometrie aus der jeweiligen Gebietsfläche. Als UZF im engeren Sinne werden Flächen mit einer Größe von mindestens 100 km² oder 50 km² betrachtet ([Lassen 1990](#)).

Retrospektiv für das Jahr 2000 waren weitere Datenquellen sowie deren spezielle Aufbereitung erforderlich, weil sich die verfügbaren ATKIS-Daten damals noch im Aufbau befanden (Objektattribute unvollständig). So wurden Vektordaten eines privaten Anbieters (Infas Geodaten) für das überörtliche Straßennetz 1999 im Maßstabbereich 1 : 10.000 bis 1 : 50.000 herangezogen. Nach exemplarischen Recherchen konnten diese Daten den Zeitbezug 2000 besser als die damaligen ATKIS-Daten widerspiegeln. Das relevante Schienennetz 2000 wurde ausgehend von ATKIS-Daten 2006 rückwärtig editiert, wobei der Eisenbahnatlas Deutschland ([Autorenkollektiv 2002](#)) als zeitlich passende Referenz diente. Fehlende Ortslagen wurden durch einen speziellen Algorithmus aus den Siedlungsobjekten des Basis-DLM nachgebildet.

UZF können Staatsgrenzen überschreiten, auf Grundlage der verwendeten Eingangsdaten aber nur für das Bundesgebiet abgebildet und damit hinsichtlich ihrer Flächengröße in Grenzräumen teilweise unterschätzt werden. Dieser Effekt wurde am Beispiel einer grenzüberschreitenden Studie für Sachsen exemplarisch gezeigt ([Schumacher, Walz 2006](#)). Weitere Effekte, ebenfalls v. a. an den Außengrenzen, sind möglich. So können sich im Küstenbereich große langgestreckte Freiraumpolygone ergeben, weil die Straßen in der Regel kurz vor der Küstenlinie enden bzw. administrative Gemeindegrenzen auch küstennahe Meeres- oder Boddengewässer einschließen. Hier bilden sich durch die Eliminierung der Siedlungs- und Verkehrsflächen aus der terrestrischen Gebietsfläche bei der GIS-Bearbeitung oft unrealistische, schmale Freiraumkorridore. Um solche Fälle zu vermeiden, werden die Freiraumpolygone vor der Indikatorberechnung durch einen Algorithmus zur Datenbereinigung leicht generalisiert bzw. modifiziert.

2.2 Indikatoren

Etablierte Indikatoren zur Bewertung der Landschaftszerschneidung sind die „effektive Maschenweite“ von UZF bzw. Wäldern nach Jaeger (Jaeger 2000, 2002), die „modifizierte effektive Maschenweite“ nach Moser (Moser et al. 2007) sowie der Flächenanteil von UZF bzw. Wäldern bezogen auf die jeweilige Gebietseinheit (z. B. Bundesland oder Landkreis).

Die effektive Maschenweite entspricht dem Verhältnis der Summe aller Teilflächenquadrate einer Gebietseinheit zu deren Gesamtfläche. Sie ist proportional der Wahrscheinlichkeit, dass zwei beliebig ausgewählte Punkte in einer Fläche nach der Zerschneidung des Freiraums noch gemeinsam in derselben Teilfläche liegen. Durch die Quadrierung der Flächengrößen werden kleine Freiraumflächen weniger und große Freiraumflächen stärker gewichtet, was dem Anliegen des Indikators entspricht. Außerdem stärkt dies die Robustheit der effektiven Maschenweite gegenüber kleinen Splitterflächen, die somit vor der Berechnung nicht unbedingt aus den Geodaten eliminiert werden müssen.

Für die effektive Maschenweite (M_{eff}) wird die Flächengröße der Maschen eines gedachten regelmäßigen Netzes berechnet, das den gleichen Zerschneidungsgrad wie das untersuchte Gebiet aufweist. Für die Berechnung wird folgende Formel verwendet (Jaeger 2002):

$$M_{eff} = \frac{1}{F_{ges}} \sum_{i=1}^n F_i^2$$

Dabei sind:

- M_{eff} = effektive Maschenweite,
- F_{ges} = Fläche der jeweiligen gesamten Gebietseinheit,
- F_i = Flächengröße der Freiraumfläche i ,
- n = Anzahl aller Freiraumflächen.

Je stärker ein Gebiet zerschnitten ist bzw. je geringer die Flächengrößen der einzelnen unzerschnittenen Räume sind, desto niedriger ist die effektive Maschenweite.

Bei der hier verwendeten Methodik der „modifizierten effektiven Maschenweite“ (Moser et al. 2007) werden immer die ganzen UZF betrachtet, auch wenn diese über die Grenze der jeweiligen Gebietseinheit (z. B. in ein benachbartes Bundesland) hinausreichen. Lediglich über die Staatsgrenze hinausgehende Freiräume können wegen fehlender ATKIS-Daten im Ausland nur für das Bundesgebiet berücksichtigt werden.

Für die Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen werden keine Indikatorwerte angegeben, weil ihre Gebietsflächen in starkem Maße urban geprägt und Freiräume außerhalb der Ortslagen meist nur in peripherer Lage und in relativ geringer Größe vorhanden sind. Bei der Länderinitiative Kernindikatoren wird ebenso verfahren (LIKI 2020).

2.3 Geometrische Aspekte

Sowohl bei dem im Abschnitt 1 beschriebenen Ansatz als auch bei den vom BfN bzw. von der LIKI verwendeten Methoden werden Stichstraßen in ansonsten unzerschnittenen Freiräumen nicht ausreichend berücksichtigt. Auch unterschiedliche geometrische Formen der Freiräume (z. B. langgestreckt und schmal versus kompakt mit großem geschlossenen Kernbereich) werden nicht unterschieden. Zur Berücksichtigung dieser Thematik gibt es schon seit einiger Zeit Ansätze, um zusätzliche Parameter zu den Freiräumen zu ermitteln, wie z. B. Form-Indizes oder maximale Inkreisradien (z. B. Schauer 2006). Voerkel (TLUG 2007) hat ein Verfahren nach Watts et al. (2007) zur geographischen Differenzierung der unzerschnittenen verkehrsrarmen Räume (UZVR) in Thüringen angewandt, das auf der Entfernung aller Punkte innerhalb eines UZVR zum jeweils nächsten Zerschneidungselement beruht (TLUG 2007,

siehe auch TLUG 2017). Das Ergebnis lässt sich anschaulich als Pseudorelief darstellen. Anhand von Kenngrößen wie der mittleren Distanz zum nächsten Zerschneidungselement innerhalb der einzelnen Freiräume können diese zusätzlich zur Flächengröße weiter differenziert werden.

3 Stichstraßen und Flächenform der Freiräume

Die Methode von Watts et al. (2007) bzw. Voerkel (TLUG 2007) sowie Voerkel und Hieke (TLUG 2017) wurde in Deutschland bisher nur in Thüringen angewandt. Dabei wird die Entfernung eines Orts innerhalb eines UZF zum nächstgelegenen Randpunkt als Geländehöhe interpretiert und aufgetragen. Durch das dadurch gebildete Pseudorelief wird ein Volumen definiert, das in Abhängigkeit von der Form eines UZF bei gleichbleibender Flächengröße unterschiedlich ausfallen kann. Wir haben daher diese Kenngrößen für UZF $\geq 50 \text{ km}^2$ berechnet. Der in Abb. A, S. 4, dargestellte ca. 45 km^2 große UZF ist durch zwei von den Rändern her einführende Straßen, die nicht der Erreichung einer Ortslage dienen, gekennzeichnet. Deren exemplarische Eliminierung veranschaulicht den Effekt solcher Stichstraßen auf das Pseudorelief.

Voerkel und Hieke (TLUG 2017) schlagen als aussagekräftige Kenngrößen das Verhältnis vom Pseudovolumen zur Grundfläche der Freiräume sowie die mittlere Distanz eines Rasterelements im Freiraum zum jeweils nächsten Zerschneidungselement vor. Mathematisch handelt es sich allerdings um identische Kenngrößen. Die Heranziehung der Kenngröße „Mittlere Distanz zum nächsten Zerschneidungselement“ erlaubt es, die UZF nicht nur nach Flächengröße, sondern auch nach ihrer Form zu bewerten (siehe Abb. B, S. 5, mittlere Barrieraldistanz).

4 Grad der Landschaftszerschneidung in Deutschland im europäischen Vergleich

Zur Landschaftszerschneidung veröffentlicht die Europäische Umweltagentur (EEA) regelmäßig Übersichten nach Ländern und Regionen (z. B. EEA 2019). Als Ausgangspunkt dieser Online-Publikationsreihe kann der Report „Landscape fragmentation in Europe“ 2011 (EEA 2011) betrachtet werden. Hier wurde erstmals die damals in der Schweiz bereits verwendete Methodik auf die Mitgliedsstaaten der EEA angewandt.

Die von der EEA gezeigten Karten und Diagramme für die Jahre 2009, 2012 und 2015 (EEA 2019) basieren auf der effektiven Maschendichte, die mit der effektiven Maschenweite in einer reziproken Beziehung steht. Dabei wird die Zerschneidung mithilfe von Versiegelungsdaten des europäischen Copernicus-Programms (Layer Imperviousness Density) sowie eines Straßennetzwerks der Firma TomTom/TeleAtlas® auf Rasterbasis berechnet. Die verfügbaren Web-Karten zeigen die Ergebnisse der Zerschneidungsanalyse, differenziert nach fünf ordinal skalierten Klassen (sehr niedrig, niedrig, mittel, hoch, sehr hoch) für die 39 Mitglieds- und Kooperationsstaaten der EEA im $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ -Raster, wobei Gewässer ausgeblendet sind. Nach dieser Methodik auf Basis eines Versiegelungsrasters mit relativ hoher Auflösung werden allerdings nicht nur die Landschaftszerschneidung, sondern implizit auch Aspekte der Zersiedelung quantifiziert.

Demnach steht Deutschland im europäischen Ländervergleich nach Malta und den Benelux-Staaten an vorderer Stelle (5. Rang) beim Zerschneidungsgrad der Landschaft, gemessen an der effektiven Maschendichte (Anzahl Maschen pro km^2). Alle weiteren Länder folgen mit großem Abstand. Generell ist im Untersuchungszeitraum (2009, 2012, 2015) fast überall eine räumliche Verdichtung von Siedlung und Verkehr, also eine Zunahme der Landschaftszerschneidung zu verzeichnen. Einen solchen eindeutigen Trend konnten wir für Deutschland in einem längeren Untersuchungszeitraum (2000, 2008, 2012, 2016, 2020) auf Basis von ATKIS-Vektor-

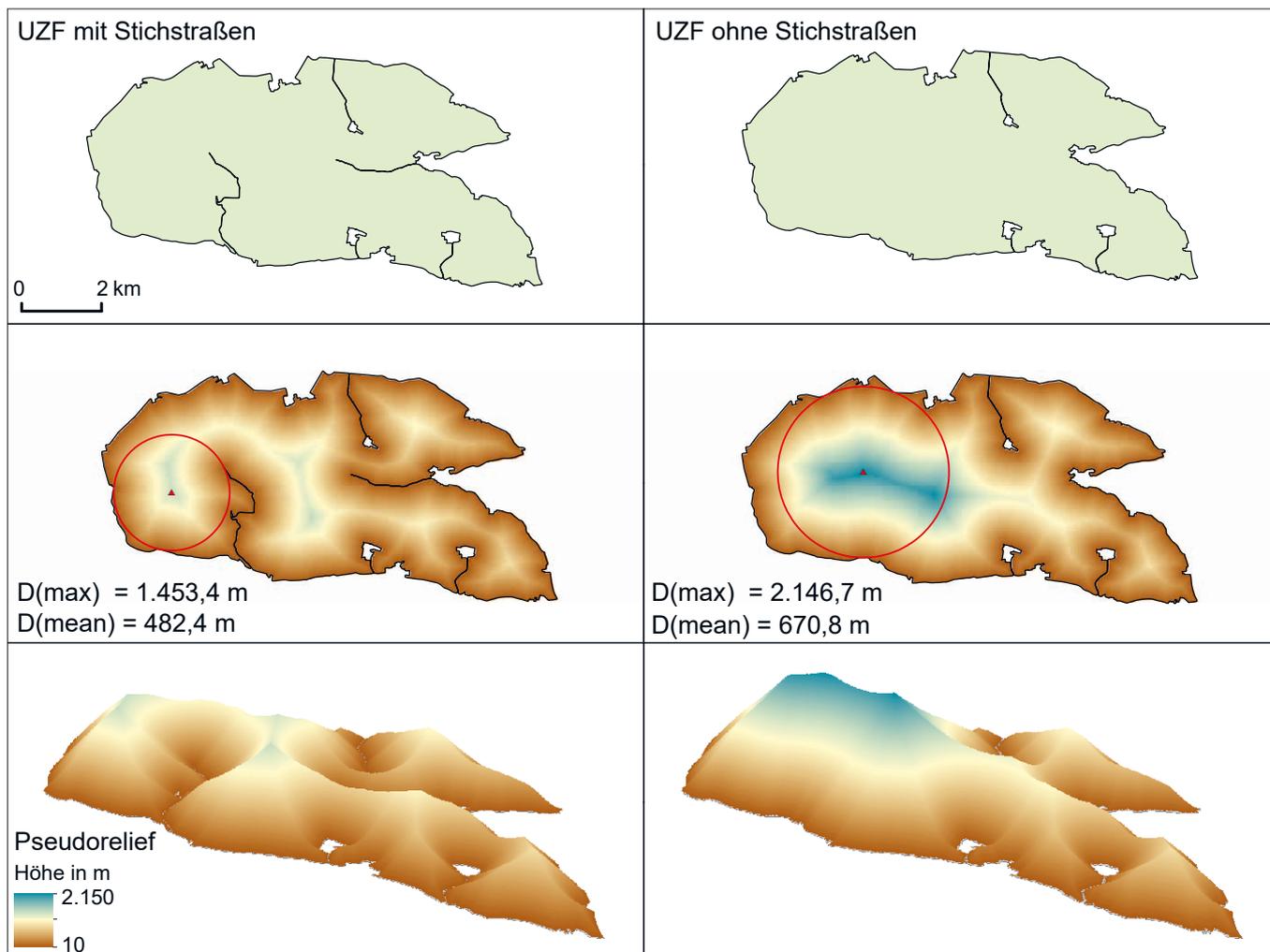


Abb. A: Stichstraßen und Pseudorelief. Stichstraßen wirken sich auf die mittlere und maximale Entfernung zum Rand eines Freiraums aus. Das Volumen des Pseudoreliefs unzerschnittener Freiräume (UZF) gleicher Flächengröße steigt bei der Eliminierung von Stichstraßen (Bearbeitung: Tobias Krüger).

Fig. A: Stub roads and pseudo-relief. Stub roads decrease the mean and maximum distance to the edge of an undissected space. The elimination of stub roads increases the volume of the pseudo-relief of undissected open spaces (UOS) of the same area size (editing: Tobias Krüger).

daten (mit zusammenhängenden Ortslagen ≥ 5 ha) nicht feststellen. Offensichtlich hat hier der Schwellwert für die Erfassung zerschneidungsrelevanter Objekte wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse.

Bei der Interpretation der Stellung Deutschlands im europäischen Vergleich spielt zweifellos die hohe Siedlungsdichte sowie die zentrale geographische Lage als Transitland in Mitteleuropa eine wichtige Rolle. Andererseits ging die Entwicklung des Autobahnnetzes bereits in den 1920er-Jahren von Deutschland aus. Neben den damals bestehenden Straßen- und Eisenbahnnetzen wurde mit der Autobahn ein qualitativ neues Verkehrssystem konzipiert, das aus georäumlicher Sicht nicht auf die Stadtzentren gerichtet war, sondern auf deren Umgehung und damit in der Konsequenz auf die großen Freiräume sowie deren Zerschneidung. Bei Betrachtung des heutigen europäischen Autobahnnetzes bleibt die Vorreiterrolle Deutschlands weiterhin sichtbar. In diesem Kontext bieten historische Betrachtungen der Landschaftszerschneidung seit Beginn des Autobahnbaus um 1930 interessante Aufschlüsse (z. B. Esswein et al. 2003; Schumacher, Walz 2012).

5 Literatur

Autorenkollektiv (2002): Eisenbahnatlas Deutschland. Schweers + Wall. Köln: 272 S.

BMVI/Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2020): Verkehr in Zahlen 2020/2021. BMVI, Berlin: 371 S.

EEA/European Environment Agency (2011): Landscape fragmentation in Europe. Joint EEA-FOEN report. EEA, Kopenhagen: 87 S.

EEA/European Environment Agency (2019): Landscape fragmentation pressure and trends in Europe. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/mobility-and-urbanisation-pressure-on-ecosystems-2/assessment> (aufgerufen am 4.2.2020).

Eichhorst U., German R. (1974): Zerschneidung der Landschaft durch das Straßennetz im Regierungsbezirk Tübingen. Veröffentlichungen der Landesstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg 42: 66–84.

Esswein H., Jaeger J.A., Schwarz-von Raumer H.-G. (2003): Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg: Tendenz steigend. Eine landesweite quantitative Untersuchung für den Zeitraum 1930 bis 1998. Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg 31: 41–85.

Gawlak C. (2019): Unzerschnittene verkehrsarme Räume (UZVR) > 100 km² in Deutschland. Bundesamt für Naturschutz, Leipzig: 13 S.

Hänel K. (2007): Methodische Grundlagen zur Bewahrung und Wiederherstellung großräumig funktionsfähiger ökologischer Beziehungen in der räumlichen Umweltplanung. Lebensraumnetzwerke für Deutschland. Dissertation. Universität Kassel. Kassel: 380 S.

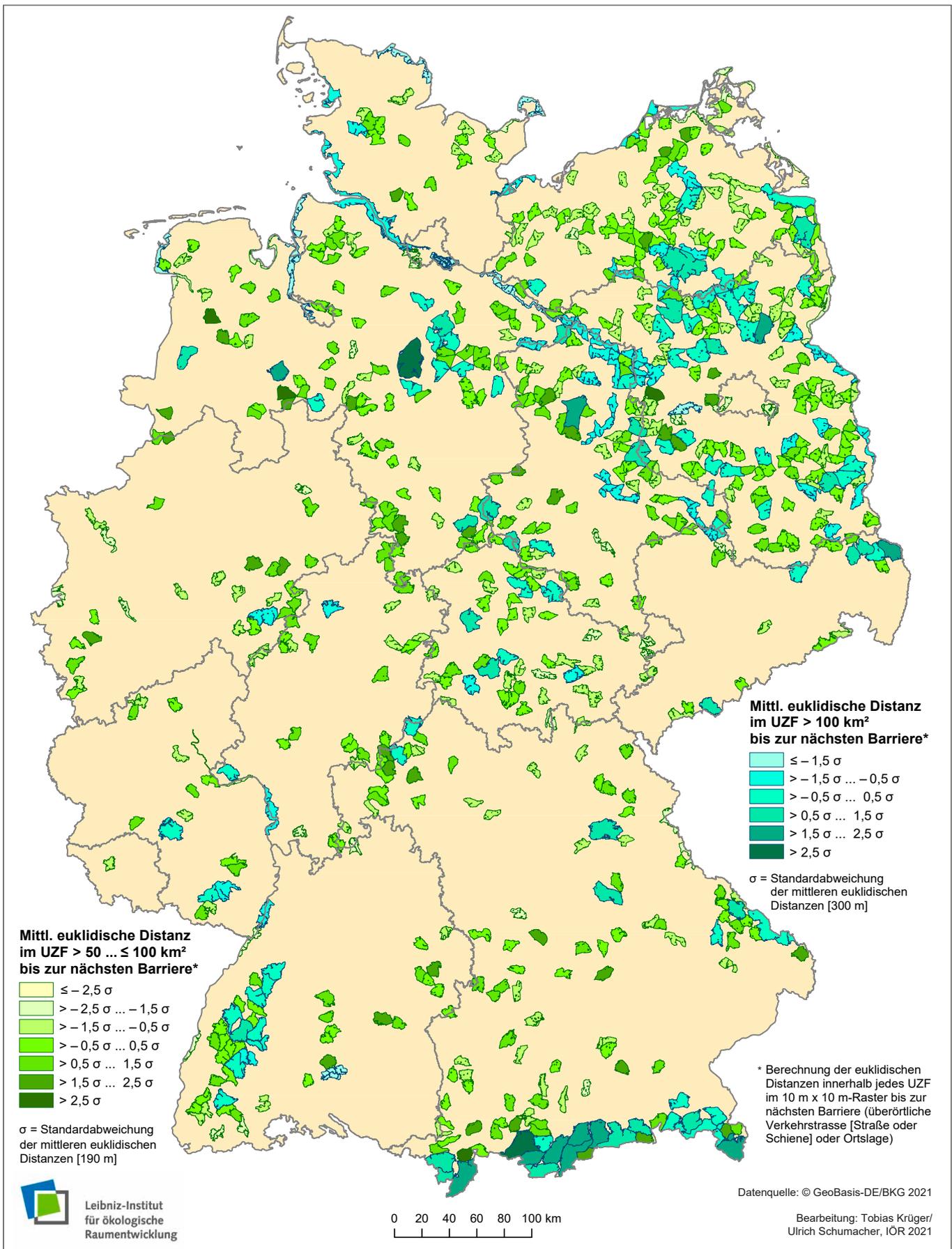


Abb. B: Unzerschnittene Freiräume (UZF) nach Größe und mittlerer Distanz zum nächsten Zerschneidungselement (mittlere Barriere-distanz) in Deutschland 2016.

Fig. B: Undissected open spaces (UOS) by size and mean barrier distance in Germany in 2016.

- Hänel K., Reck H. (2011): Bundesweite Prioritäten zur Wiedervernetzung von Ökosystemen: Die Überwindung straßenbedingter Barrieren. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 108: 118 S.
- Jaeger J.A. (2000): Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* 15(2): 115 – 130.
- Jaeger J.A. (2002): Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. Ulmer. Stuttgart: 447 S.
- Lassen D. (1979): Unzerschnittene verkehrsarme Räume in der Bundesrepublik Deutschland. *Natur und Landschaft* 54(12): 333 – 334.
- Lassen D. (1990): Unzerschnittene verkehrsarme Räume über 100 km² – eine Ressource für die ruhige Erholung. *Natur und Landschaft* 65(6): 326 – 327.
- LIKI/Länderinitiative Kernindikatoren (2020): Indikatoren Natur und Landschaft (B). B1 – Landschaftszerschneidung. <https://www.lanuv.nrw.de/lik/index.php?indikator=13&aufzu=2&mode=indi> (aufgerufen am 14.4.2020).
- Moser B., Jaeger J.A. et al. (2007): Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. *Landscape Ecology* 22(3): 447 – 459.
- Reck H., Lorenzen D. et al. (2007): Möglichkeiten und Grenzen der UZVR zur qualitativen Bewertung, Steuerung und Kompensation von Flächeninanspruchnahmen. Endbericht F + E-Vorhaben des Bundesamtes für Naturschutz. FKZ 805 82 025. Leipzig: 181 S.
- Schauer P. (2006): GIS-gestützte Prognose zur Landschaftszerschneidung im Freistaat Sachsen für das Jahr 2020. Diplomarbeit. TU Dresden. Dresden: 126 S.
- Schumacher U., Walz U. (2000): Landschaftszerschneidung durch Infrastrukturtrassen. In: Leibniz-Institut für Länderkunde (Hrsg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Band 10: Freizeit und Tourismus. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg: 132 – 135.
- Schumacher U., Walz U. (2006): Landschaftszerschneidung in Sachsen. Bewertung von Freiraumstrukturen auf der Basis grenzüberschreitender Geodaten. In: Aurada K.D., Rödel R. (Hrsg.): Beiträge zum 16. Kolloquium Theorie und quantitative Methoden in der Geographie. Gemeinsame Tagung der Arbeitskreise AK Theorie und Quantitative Methoden in der Geographie und AK Geographische Informationssysteme in der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG). Greifswalder Geographische Arbeiten 39: 39 – 48.
- Schumacher U., Walz U. (2012): Die Karte des Deutschen Reiches 1 : 100.000 als Geodatenquelle zur Untersuchung der Landschaftszerschneidung um 1930. In: Heinz M., Koch W.G. (Hrsg.): 13. Kartographiehistorisches Colloquium und 9. Dresdner Sommerschule für Kartographie. Vorträge, Berichte, Posterbeiträge. Dresden 20. – 23. September 2006. Kirschbaum. Bonn: 185 – 188.
- TLUG/Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) (2007): Neue Kennzahlen zur Bewertung der Störungsarmut von geographischen Räumen in Thüringen. TLUG. Jena: 18 S.
- TLUG/Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) (2017): Kennzahlen zur Bewertung der Störungsarmut von geographischen Räumen in Thüringen. TLUG. Jena: 23 S.
- Watts R.D., Compton R.W. et al. (2007): Roadless space of the conterminous United States. *Science* 316(5.825): 736 – 738.

Prof. Dr. habil. Ulrich Walz
Korrespondierender Autor
Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden
Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie
Pillnitzer Platz 2
01326 Dresden
E-Mail: ulrich.walz@htw-dresden.de



Der Autor ist Professor für Landschaftsökologie und Geographische Informationssysteme an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden. Zuvor Projektleiter am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) Dresden und Lehrbeauftragter an der TU Dresden sowie der Uni Rostock; Studium der Geographie und Landschaftsökologie in Stuttgart und Hohenheim; Promotion 2000 an der TU Dresden und 2013 Habilitation an der Universität Rostock in den Fachgebieten Geoinformatik und Landschaftsökologie; Forschungsschwerpunkte: Biodiversität und Landschaftsstruktur, Ökosystemleistungen, Landschaftswandel und Umweltauswirkungen, Indikatoren zur landschaftsstrukturellen Vielfalt.

Ulrich Schumacher, Dipl.-Ing. oec.
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)
Weberplatz 1
01217 Dresden
E-Mail: u.schumacher@ioer.de

Dr.-Ing. Tobias Krüger
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)
Weberplatz 1
01217 Dresden
E-Mail: t.krueger@ioer.de