

Jochen Jaeger*

Landschaftszerschneidung und -zersiedelung: Bedarf nach neuen Bewertungsverfahren und der Beitrag der ökologischen Modellierung**

Vor mehr als 15 Jahren hat die deutsche Bundesregierung in ihrer Bodenschutzkonzeption eine „Trendwende bei der Zerschneidung und Zersiedlung der Landschaft“ zu einem ihrer Ziele erklärt. 1992 forderte die Umweltministerkonferenz die „Erhaltung unzerschnittener Räume“. Die reale Entwicklung jedoch sieht anders aus: Aktuelle Untersuchungen des Bundesamtes für Naturschutz zeigen, dass die Zahl der großen unzerschnittenen Gebiete in Deutschland mit unvermindertem Tempo abgenommen hat und weiter abnimmt. Ein Rückbau von alten Straßen, die durch den Neubau neuer Straßen ihre einstige Funktion verloren haben, ist zwar gesetzlich gefordert, wird aber nur in den seltensten Fällen auch durchgeführt. Im Gegenteil: Allen Verkehrsprognosen nach ist eine weitere starke Zunahme des Verkehrs zu befürchten, und der Neu- und Ausbau von Straßen und anderer Verkehrswege wird noch weiter vorangetrieben werden. Neue Bewertungsmethoden für Landschaftseinriffe sind daher dringend erforderlich, wenn die wenigen noch verbleibenden unzerschnittenen Gebiete erhalten werden sollen. Ziel dieses Beitrags ist, den aktuellen Bedarf nach neuen Bewertungsverfahren herauszustellen und das Potenzial der ökologischen Modellierung hierfür zu verdeutlichen. Ergänzend werden einige kurzfristiger umsetzbare Maßnahmen vorgeschlagen.

1 Zunehmende Kluft zwischen politischen Absichtserklärungen und realer Entwicklung

Wissenschaft und Politik thematisieren Landschaftsverbrauch und Landschaftszerschneidung seit Mitte der siebziger Jahre als ein flächendeckendes Problem mit steigender Dringlichkeit. 1985 schließlich fordert die deutsche Bundesregierung in ihrer *Bodenschutzkonzeption* eine „Trendwende im Landverbrauch“ samt einer „Trendumkehr bei der Zerschneidung und Zersiedlung der Landschaft“ sowie einer möglichst weitgehenden Bewahrung freier Landschaften vor weiteren Zerschneidungen.¹ In ähnlicher Weise tritt die 39. Umweltministerkonferenz vom November 1992 im Handlungskonzept „Naturschutz und Verkehr“ für die „Erhaltung großer unzerschnittener und verkehrsarmer Räume“ und für die „Freihaltung von wertvollen Landschaftsräumen von überörtlichen Verkehrswegen“ ein.²

* Dr. Jochen A.G. Jaeger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Department of Biology, Landscape Ecology Laboratory, der Carleton University in Ottawa (Ontario), Canada. Zuvor war er Mitarbeiter an der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart, (1994-2000) und Doktorand am Departement für Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich (1994-1999).

** Für kritische Durchsicht des Manuskripts und hilfreiche Anmerkungen danke ich Frau lic. phil. Anna-Katharina Pantli und Herrn Dr. Martin Scheringer. Das diesem Aufsatz zugrundeliegende Forschungsprojekt wird von der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina gefördert (Förderkennzeichen BMBF-LPD 9901/8-27).

1 Vgl. Bundesminister des Innern (Hrsg.): Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung. Stuttgart 1985, S. 23, 96-108, 118 und 130-136. (= Bundestags-Drucksache 10/2977 vom 7. 03.1985).

2 Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Beschlüsse „Naturschutz und Verkehr“: Handlungskonzept „Naturschutz und Verkehr“ auf der Grundlage der Lübecker Grundsätze des Naturschutzes der LANA und der Beschlüsse von Krickenbeck/Nettelal. Stuttgart 1995.

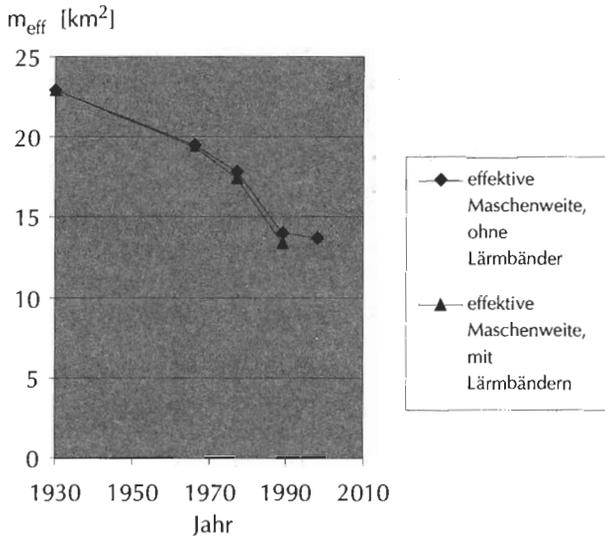
Trotz dieser und weiterer Forderungen und Beschlüsse schreitet die Landschaftszerschneidung unvermindert weiter voran. Die Forderungen nach „Erhaltung unzerschnittener Räume“ bleiben wirkungslos angesichts der fortschreitenden Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke, der dispersen Verteilung der neu in Anspruch genommenen Flächen im Raum (anstelle von punktaxialen Verdichtungen) sowie der aktuellen Prognosen zum Anstieg des Personen- und Güterverkehrs. So konstatiert beispielsweise die 45. Umweltministerkonferenz (UMK), dass die „geforderte grundsätzliche Trendänderung der Verkehrspolitik bisher nicht erkennbar ist.“³

Die Zunahme der Länge überörtlicher Straßen in den letzten 40 Jahren beträgt beispielsweise allein für Baden-Württemberg (Fläche 35 750 km²) mehr als 3 600 km und für die Schweiz (Fläche 41 290 km² einschließlich Gebirgs- und Wasserflächen) über 2 300 km.⁴ Die jährliche Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke liegt in Baden-Württemberg in der Größenordnung von 3 500 ha und in der Schweiz bei 2 400 ha.⁵ In der Folge hat in Baden-Württemberg die effektive Maschenweite - eine Messgröße für die Größe der verbleibenden „Maschen“ im Netz der Verkehrslinien und Siedlungsflächen - seit 1930 um 40 % abgenommen von 22,92 km² im Jahr 1930 auf 13,66 km² heute (vgl. Abb. 1).⁶ Die Anzahl der unzerschnittenen verkehrswarmen Räume (UVR) größer als 100 km² (abgegrenzt durch überörtliche Straßen, die eine Verkehrsmenge von über 1 000 Fahrzeugen im 24-Stunden-Mittel aufweisen, sowie durch Eisenbahntrassen) hat in den alten Bundesländern von 349 im Jahr 1977 auf 296 im Jahr 1987 abgenommen. Flächenmäßig bedeutet dieser Rückgang einen Verlust von 18,3 % und bezogen auf die Gesamtfläche einen Rückgang des Flächenanteils der UVR von 22,7 % auf 18,6 % innerhalb von 10 Jahren.⁷ Die Aktualisierung dieser Untersuchung für 1998 weist einen weiteren Rückgang der UVR in den alten Bundesländern auf 225 aus, entsprechend einem Flächenanteil von nur noch 14,2 %.⁸ Diese Daten verdeutlichen den ungebrochenen Trend der Entwicklung.⁹

-
- 3 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Beschlüsse der Umweltministerkonferenz (UMK) und Berichte der Bund/Länder-Arbeitsgruppe „Umwelt und Verkehr“ der UMK 1989-1996. Berlin 1997, S. 241 f.
 - 4 Vgl. Kirchbach, K. v.: Die Entwicklung des Straßenbaus in Baden-Württemberg von 1945 bis 1995. Bonn 1998, S. 55. (= Archiv für die Geschichte des Straßen- und Verkehrswesens, H. 13). - Bundesamt für Statistik (BfS): Statistisches Jahrbuch der Schweiz 1999. Zürich 1998, S. 272.
 - 5 Vgl. Stadler, R.: Kulturlandschaft versus Naturlandschaft? Realflächenbilanz und -entwicklung nach der Flächenerhebung 1993. In: Baden-Württemberg in Wort und Zahl. H. 2/1994, S. 52-58, S. 54. - Bundesamt für Statistik (BfS): Umweltstatistik Schweiz, Nr. 2: Pflanzen, Tiere und ihre Lebensräume. Bern 1995, S. 6.
 - 6 Vgl. Esswein H./Jaeger, J./Schwarz-von Raumer, H.-G./Müller, M.: Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg. Zerschneidungsanalyse zur aktuellen Situation und zur Entwicklung der letzten 70 Jahre mit der effektiven Maschenweite. Stuttgart 2002. (= Akademie für Technikfolgenabschätzung, Arbeitsbericht Nr. 214).
 - 7 Vgl. Lassen, D.: Unzerschnittene verkehrswarme Räume über 100 km² Flächengröße in der Bundesrepublik Deutschland. In: Natur und Landschaft. Jg. 62 (1987), S. 532-535. - Lassen, D.: Unzerschnittene verkehrswarme Räume über 100 km². Eine Ressource für die ruhige Erholung. In: Natur und Landschaft. Jg. 65 (1990), S. 326-327.
 - 8 Vgl. Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hrsg.): Daten zur Natur 1999. Bonn 1999.
 - 9 Zwar lassen sich die aktuellen Werte nicht direkt mit den früheren Untersuchungen vergleichen, denn es wurden teilweise andere Abgrenzungskriterien verwendet, doch fallen diese Unterschiede angesichts der Trendentwicklung nicht ins Gewicht.

Abbildung 1: Entwicklung des Zerschneidungsgrades in Baden-Württemberg

Entwicklung der effektiven Maschenweite in
Baden-Württemberg seit 1930



Quelle: Esswein, H./Jaeger, J./Schwarz-von Raumer, H.-G./Müller, M.: Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg. Zerschneidungsanalyse zur aktuellen Situation und zur Entwicklung der letzten 70 Jahre mit der effektiven Maschenweite, a. a. O.

Die Diskrepanz zwischen den Erklärungen von offiziellen Gremien und tatsächlicher Entwicklung ist kennzeichnend für die heutige Situation: Immer wieder werden Ziele, Handlungskonzepte und Maßnahmenkataloge verabschiedet, und einige Jahre später wird ein sehr geringer Erfolg der Anstrengungen konstatiert. In Anbetracht der gravierenden Folgen der Landschaftszerschneidung und der Dringlichkeit einer Richtungsänderung besteht ein großer Bedarf nach besseren, vor allem wirksameren Instrumenten als den bisherigen.

Eine steigende Zahl wissenschaftlicher Studien belegt weitreichende ökologische Folgen, wenn die Landschaft durch Straßen und Bahnlinien und andere technische Infrastrukturanlagen zerschnitten und fragmentiert wird.¹⁰ Die Ergebnisse zeigen, dass die Landschaftszerschneidung - neben der Intensivierung der Landwirtschaft, den hohen flächendeckenden Stickstoffeinträgen und der Nivellierung der Wasser-Verhältnisse - inzwischen zu den wichtigsten Ursachen für den starken Rückgang der Arten- und Lebensraumvielfalt in Mitteleuropa zählt. Umschreibungen des Baus von Infrastrukturanlagen als „landschaftsgemäß und umweltverträglich“¹¹ können

10 Vgl. z.B. die Bibliographie von Holzgang, O. u.a.: Wildtiere und Verkehr. Eine kommentierte Bibliographie. Sempach 2000. Online: http://www.vogelwarte.ch/pdf/pr_bib-dt.pdf.

Weitere Literaturangaben in Jaeger, J.: Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. Stuttgart 2002.

11 So formuliert beispielsweise das Verkehrsministerium Baden-Württemberg. Vgl. Verkehrsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Straße in der Landschaft. Beispiele für landschafts- und umweltgerechten Straßenbau. 4. Aufl. Bad Waldsee 1991, S. 2.

die Konflikte zwar verharmlosen und verschleiern, aber nicht lösen. Zahlreiche Darstellungen von deutschen Verkehrsministerien auf Landes- und Bundesebene enthalten solche Formulierungen, die implizieren, es könne eine landschaftsgemäße Verlärmung, einen umweltschonenden Schadstoffeintrag und eine naturverträgliche Verkleinerung und Isolation von Lebensräumen geben.

2 Weitreichende Auswirkungen der Landschaftszerschneidung

Die Zerschneidung der Landschaft durch linienhafte Infrastrukturanlagen wie Straßen, Bahnstrecken und Hochspannungsleitungen hat eine Vielzahl ökologischer Folgen: Sie beeinflusst die Tier- und Pflanzenwelt, sie erhöht die Verlärmung, verändert das Landschaftsbild und wirkt sich auf die Erholungsqualität einer Landschaft aus. Beispielsweise führt die Barrierewirkung von Straßen für Tiere, die sich am Boden fortbewegen (und nicht fliegen können), dazu, dass benachbarte Populationen oder auch Teile einer Population voneinander isoliert werden. Damit erhöht sich die Aussterbewahrscheinlichkeit, da der Austausch zwischen den Populationen unterbunden wird und die isolierten Populationen empfindlicher werden für äußere Störungen, z. B. für extreme Witterungsverhältnisse. Wenn in einem Habitat eine Population erst einmal erloschen ist, dann unterbindet die Barrierewirkung außerdem die Möglichkeit zur Wiederbesiedelung. Die Zerschneidung unterbricht somit die *Metapopulationsdynamik* und verringert die Resilienz von Tierpopulationen, d. h. ihre Fähigkeit, sich in Reaktion auf schädigende Ereignisse wieder zu regenerieren.¹² Tiere, die nicht vor einem Überquerungsversuch zurückschrecken, laufen Gefahr, von Fahrzeugen verletzt oder getötet zu werden (vgl. Abb. 2).¹³ Außerdem haben lineare Infrastrukturanlagen auch einen direkten Flächenbedarf, der für die Tier- und Pflanzenwelt oft totalen Habitatverlust oder Verlust von Teillebensräumen bedeutet. Der Habitatverlust geht wegen der Emissionen weit über die Fläche der eigentlichen Anlage hinaus, besonders wenn eine Strecke mitten durch ein Habitat führt und die abgetrennten Habitattteile zu klein sind, um eine Population dauerhaft erhalten zu können.

Ein gravierendes Problem besteht darin, dass sich die negativen Folgen der Habitatzerschneidung und -zerstückelung für eine Population oft erst nach Jahrzehnten zeigen, wie es Findlay und Bourdages für den Artenreichtum in Feuchtgebieten nachgewiesen haben.¹⁴ Es ist daher mit erheblichen Zeitverzögerungen zwischen den Eingriffen und den Auswirkungen zu rechnen, insbesondere sind in den kommenden Jahrzehnten weitere Artenverluste als Folge der bereits durchgeführten Landschaftseingriffe wahrscheinlich.

12 Der Begriff „Metapopulation“ bezeichnet ein Ensemble von lokalen Populationen, die durch den Austausch von Individuen miteinander in Beziehung stehen. Lokale Populationen sind definiert als ein Ensemble von Individuen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit miteinander interagieren.

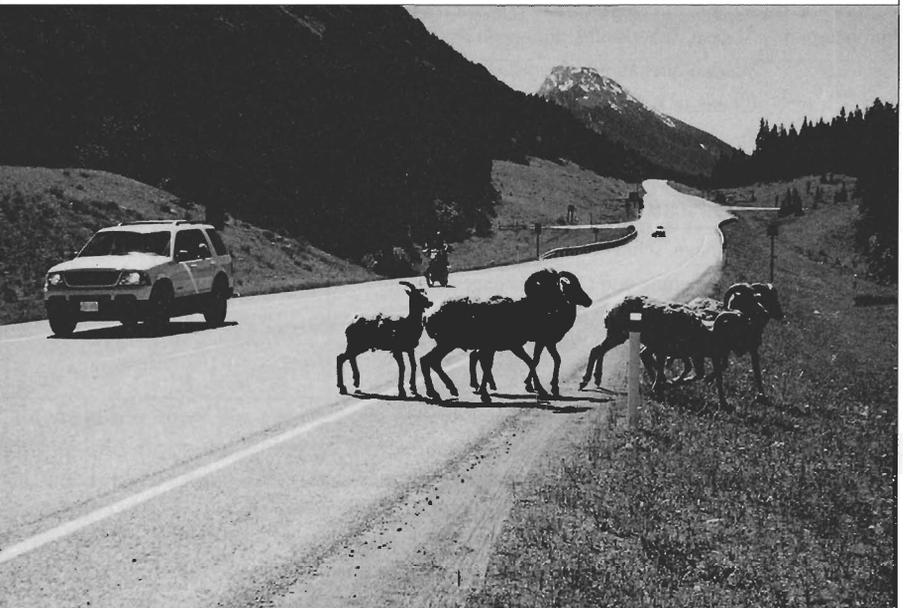
13 Hier Anmerkung zur *Abbildung 2*, oberes Bild: Gibeau, M.L./Clevenger, A.P./Herrero, S./Wierzchowski, J.: Effects of highways on grizzly bear movement in the Bow River watershed, Alberta, Canada. In: 2001 Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation (ICOET, 24-28 September 2001 in Keystone, CO). Hrsg. von: The Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC, 2002 (Evink, G., et al.), S. 458-472; online: <http://www.itre.ncsu.edu/cte/icoet/downloads/ICOET2001ProceedingsPrintVersion.pdf>.

14 Vgl. Findlay, C.S./Bourdages, J.: Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. In: *Conservation Biology*. Jg. 14 (2000), H. 1, S. 86-94.

Abbildung 2: Das Überqueren von Straßen bedeutet für Tiere ein hohes Risiko.



(a) Ein Wapitihirsch (*Cervus elaphus*) überquert den Bow Valley Parkway zwischen Banff und Lake Louise im Banff National Park in den kanadischen Rocky Mountains. Das durchschnittliche Verkehrsaufkommen auf dieser Straße beträgt im Sommer 2 230 Fahrzeuge pro Tag mit einer durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit von 80-85 km/h. (s. Fußnote 13)



(b) Dickhornschafe (*Ovis canadensis*) halten sich häufig am Straßenrand oder auf der Fahrbahn auf. Diese Aufnahme entstand am Highway 40 (im Sommer täglich 3 075 Fahrzeuge mit 105-110 km/h) in Kananaskis Country in den kanadischen Rocky Mountains (Fotos: J. Jaeger).

Tabelle 1: Auswirkungen der Landschaftszerschneidung (Beispiele)				
Problemfeld	Folgewirkungen von linienhaften technischen Infrastrukturanlagen	Typ des Landschaftsverbrauchs		
		Flächenbedarf		strukturelle Veränderungen
		direkter	indirekter	
Boden und Bodenbedeckung	Flächenbedarf für Fahrbahn, Straßenkörper und Straßenbegleitflächen	X		
	Bodenverdichtung, Bodenversiegelung	X		
	Veränderung der Geomorphologie (z.B. Schaffung von Einschnitten und Dämmen, Befestigung von Hängen)	X		
	Vegetationsbeseitigung bzw. -veränderungen	X		
Kleinklima	veränderte Temperaturverhältnisse (z.B. Aufheizung der Straße, größere Temperaturschwankungen)	X		
	Kaltluftstau an Straßendämmen (Kaltluftseen)		X	
	Änderungen des Feuchtegrades (z.B. geringere Luftfeuchtigkeit aufgrund erhöhter Einstrahlung, Staunässe auf Straßenbegleitflächen infolge der Verdichtung)	X	X	
	veränderte Lichtverhältnisse	X	X	
	veränderte Windverhältnisse (z.B. Schneisen im Wald)	X	X	
	Klimaschwelle	X		X
Immissionen	Abgase, Schadstoffe, düngende Stoffe		X	
	Staub (Reifenabrieb, Bremsbeläge)		X	
	Öl etc. (z.B. bei Verkehrsunfällen)	X	X	
	Streusalz		X	
	Lärm		X	
	optische Reize, Beleuchtung		X	
Wasserhaushalt	Drainage, schnellerer Wasserabfluss	X		
	Veränderung von Oberflächengewässern	X		X
	Absenkung oder Anhebung des Grundwasserspiegels		X	
	Wasserverunreinigungen		X	
Flora/Fauna	Tierverluste durch Straßentod (z.T. auch infolge Lockwirkung: „Falleneffekt“)	X		
	Unruhwirkung, Verlust von Rückzugsräumen		X	X
	Habitatverkleinerungen und -verluste; z.T. auch Neuschaffung	X		
	Veränderungen des Nahrungsangebotes (z.B. infolge von nächtlichen Kaltluftseen verringertes Nahrungsangebot für Fledermäuse)	X	X	
	Barriereeffekt	X		X

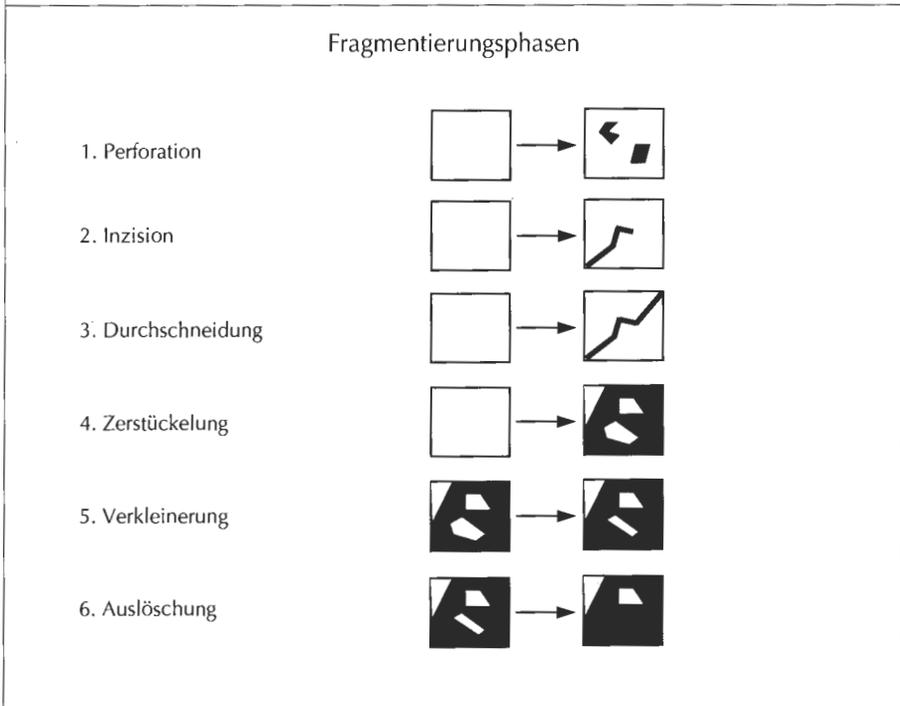
Fortsetzung**Tabelle 1: Auswirkungen der Landschaftszerschneidung**

Problemfeld	Folgewirkungen von linienhaften technischen Infrastrukturanlagen	Typ des Landschaftsverbrauchs		
		Flächenbedarf		strukturelle Veränderungen
		direkter	indirekter	
noch Flora/Fauna	Blockierung von Ausbreitungswegen, Verhinderung von Wiederbesiedelungen			X
	Trennung und Isolation von Teilhabitaten, Zerteilung von Populationen			X
	Unterbrechung der Metapopulationsdynamik, genetische Isolation, Inzuchteffekte, Abbruch evolutionärer Entwicklungsprozesse			X
	Unterschreitung von Minimalarealen, Artenverluste			X
	Ausbreitungsbänder, Eindringen neuer Arten, z.T. als Infektionswege		X	X
	verringerte Wirksamkeit natürlicher Feinde von Schädlingen in der Land- und Forstwirtschaft (d.h. Erschwerung der biologischen Schädlingsbekämpfung)			X
Landschaftsbild	Verlärmung, optische Reize		X	
	„Verstraßung“, „Vermastung“ und „Verdrahtung“ der Landschaft		X	X
	Gegensätze und Brüche; aber z.T. auch Belebung der Landschaft (z.B. durch Alleen)	X	X	X
Folgen für die Landnutzung	Folgen der Erschließung durch Straßen (z.B. Verkehrszunahme, erhöhter Siedlungs- und Mobilitätsdruck)		X	X
	Flurbereinigung (v.a. Zweckflurbereinigung)		X	X
	Qualitätsveränderungen des Erntegutes entlang von Straßen		X	
	Verlärmung, Verkleinerung und Zerteilung von Erholungsgebieten		X	X
	weitere Nutzungskonflikte		X	X

Die Auswirkungen der Landschaftszerschneidung umfassen sieben Problemfelder: Boden und Bodenbedeckung, Kleinklima, Immissionen (Lärm, Abgase, Streusalz etc.), Wasserhaushalt, Tier- und Pflanzenwelt, Landschaftsbild, Folgen für die Landnutzung. *Tabelle 1* listet einige Beispiele auf.

Es lassen sich sechs Fragmentierungsphasen unterscheiden (*Abb. 3*). Bei jeder dieser Phasen treten drei verschiedene *Typen* der Landschaftsinanspruchnahme auf:

- direkter Flächenbedarf (d.h. andere Nutzungen oder Umweltfunktionen sind auf dieser Fläche gleichzeitig kaum noch möglich),
- indirekter Flächenbedarf (in Überlagerung zu bestehenden Umweltfunktionen und Nutzungen),

Abbildung 3: Die sechs Phasen der Landschaftsfragmentierung

Schwarz dargestellt sind Flächen, die ein Hindernis für die Ausbreitung von bestimmten Arten bzw. eine Lärm- und Unruhequelle darstellen.

Quelle: Jaeger, J.: Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. In: Landscape Ecology. Jg. 15 (2000), H. 2, S. 116 (erweitert nach Forman, R.T.T.: Land mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge (GB) 1995, S. 407).

– strukturelle Veränderungen (insbesondere Fragmentierung der Landschaft und Veränderungen von räumlichen Lagebeziehungen).

Als Konsequenz des netzartigen Charakters der Landschaftszerschneidung kann die Fläche des ungestörten Kernbereiches eines Habitats infolge einer Zerschneidung überproportional stark schrumpfen, und die Erreichbarkeiten der verbleibenden Flächen untereinander können sich bei kontinuierlichem Längenwachstum der Zerschneidungslinien sprunghaft ändern.

3 Schwierigkeiten bei der Bewertung von Landschaftseingriffen

3.1 Bewertungsbedarf

Die meisten aktuellen Maßnahmenvorschläge sind inhaltlich nicht neu. Die Daten werden regelmäßig in aktualisierter Form vorgelegt (Trenddokumentation) und mit Bedauern kommentiert, aber darüber hinaus scheint seit Jahren - vor und nach dem Regierungswechsel von 1998¹⁵ - kaum etwas zu geschehen. Änderungen sind nicht

15 Die aktuellen Lösungsansätze der Bundesregierung umfassen:

in Sicht, sondern der Konflikt verdichtet sich: Die Folgen der bisherigen Entwicklung sind immer eindeutiger und an immer mehr Orten feststellbar. Dies führt zu wiederholten Warnungen vor weiteren Zerschneidungen sowie zur Verstärkung altbekannter Forderungen wie beispielsweise im Raumordnungsbericht 2000; gleichzeitig wird jedoch der Siedlungs- und Mobilitätsdruck immer stärker, so dass in der Summe ein kontinuierliches Zurückdrängen des Umweltzieles resultiert. So konstatiert der Sachverständigenrat für Umweltfragen in seinem Umweltgutachten von 1998: „Der Naturschutz bleibt damit im Gegensatz zu anderen Teilbereichen der Umweltpolitik weiterhin ein Politikfeld, dessen Anforderungen regelmäßig durch eine Abwägung mit anderen Belangen überwunden werden können.“¹⁶

Um über den Bau von linienhaften Infrastrukturanlagen zu entscheiden, müssen die vielfältigen Konsequenzen der Eingriffe abgewogen werden gegenüber dem erwarteten Nutzen, aber auch gegenüber ethischen Forderungen - wie z. B. der Verteilungsgerechtigkeit bezüglich Nutzen und Belastungen - und gegenüber den Wertvorstellungen der Menschen, die von den Folgen betroffen sind bzw. die aufgrund ihrer Werthaltung die Folgen für relevant einschätzen. Dazu ist es nötig, - zwischen der Prognose der Eingriffsfolgen (sowie der Folgen des Unterlassens des Eingriffs) und der Abwägung zwischen den verschiedenen Handlungsoptionen - die Optionen zu *bewerten*, d. h. mit einem Referenzzustand (Ziel- oder Sollzustand) zu vergleichen und die Wünschbarkeit des Referenzzustandes selber zu überprüfen.¹⁷ Zu bewerten ist beispielsweise: Wann liegt ein „Eingriff“ vor? Unter welchen Bedingungen ist ein Eingriff *verantwortbar* - so dass unvorhergesehene negative Umweltveränderungen auch tatsächlich praktische Konsequenzen für den Planungsträger haben (z. B. durch eine Nachbesserungsverpflichtung)? Wann kann ein Eingriff als ausgeglichen gelten (Bilanzierung der Eingriffsfolgen und Ausgleichsmaßnahmen)?

-
- Formulierung des Zieles, die tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf 30 ha bis zum Jahr 2020 zu begrenzen;
 - Absichtserklärung, mit der Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes den vorsorgenden Naturschutz zu stützen durch: (a) flächendeckende Aufstellung der Landschaftsplanung, (b) Einführung eines Biotopverbundsystems auf mindestens 10 % der gesamten Landesfläche und dessen dauerhafte Sicherung durch Schutzgebietsregelungen, planungsrechtliche Festlegungen oder Vertragsnaturschutz. (Auskunft des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durch Herrn Wiesberg vom 4. April 2001.)

16 Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Umweltgutachten 1998. Stuttgart 1998, S. 170, Textziffer 395. - In der Raumplanung beobachtet der SRU eine einseitige Bevorzugung wirtschaftlicher Belange gegenüber ökologischen Belangen. - Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Konzepte einer dauerhaft-umweltgerechten Nutzung ländlicher Räume. Stuttgart 1996, S. 37, Textziffer 50.

17 „Bewertung“ heißt allgemein:

1. die Einschätzung des Erfüllungsgrades eines Sachverhaltes anhand vorgegebener Zielstellungen,
2. der Akt der Beurteilung eines Sachverhalts an Hand von Wertmaßstäben (Normen oder Kriterien), z. B. als wünschenswert, gut oder hässlich, oder
3. die Bevorzugung (Auswahl) einer Handlung, eines Gegenstandes oder eines Sachverhaltes aufgrund eines Werturteils.

Vgl. Bastian, O./Schreiber, K.-F. (Hrsg.): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Jena 1994, S. 57. - Fuchs, W./Klima, R./Lautmann, R./Rammstedt, O./Wienold, H. (Hrsg.): Lexikon zur Soziologie. 2. Aufl. Opladen 1978.

3.2 Drei Kernprobleme

Das Bewertungsproblem bei der Beurteilung des Landschaftswandels ist durch drei Hauptschwierigkeiten gekennzeichnet:

- *Ohnmächtigkeit von Naturschutzanliegen in der „Durchschnittslandschaft“*: Der wissenschaftliche Naturschutz hat zur Ausweisung von Schutzgebieten eine Reihe von Bewertungskriterien (wie Natürlichkeit, Seltenheit und Repräsentanz) erarbeitet, um die Schutzbedürftigkeit von Arten und Biotopen zu beurteilen. Für *halbnatürliche, nutzungsabhängige Ökosysteme*, welche letztlich jene Landschaften prägen, die Naturschutz und Landschaftspflege erhalten wollen, fehlen flächige Schutzstrategien jedoch weitgehend, denn die Kriterien und Bewertungsmethoden des Naturschutzes greifen in der „Durchschnitts-“ oder „Gebrauchslandschaft“ nicht: Natürlichkeit, Gefährdung gemäß der Roten Liste, Unersetzbarkeit, Vielfalt, Seltenheit und Repräsentanz sind hier nicht zutreffend oder bereits so weit herabgesetzt worden, dass der verbliebene Zustand gemäß *diesen* Kriterien kaum noch als schützenswert erscheint. Um zu beurteilen, inwieweit die Nutzung einer „Gebrauchslandschaft“ beispielsweise dem Ziel der Nachhaltigkeit folgt, bedarf es daher anderer Kriterien, die es bisher jedoch noch immer nicht gibt.
- *Wert- und Zielkonflikte*: Konflikte zwischen verschiedenen Raumnutzungsansprüchen und Prinzipienkonflikte auf der normativen Ebene lassen sich nicht in allgemeiner Form lösen.¹⁸ Beispielsweise kann die Forderung nach ökologischer Nachhaltigkeit mit dem Ziel der Sozialverträglichkeit kollidieren. Für eine sachgerechte, faire und nachvollziehbare Abwägung und Prioritätensetzung lassen sich Verfahrensregeln angeben - allerdings setzen die bestehenden Verfahrensvorschläge oft viel mehr Wissen voraus, als in der Realität vorhanden ist bzw. mit vertretbarem Aufwand gewonnen werden kann (z.B. über die Summenwirkungen), siehe Punkt 3. Die Abwägung zwischen verschiedenartigen Teilzielen - nutzbringende und nicht nutzbringende, kurzfristige und langfristige - bereitet oft große Probleme. Die eigentlichen Konflikte werden in der Praxis meist erst auf der Maßnahmenebene sichtbar, wenn es um die Zuweisung von Finanzmitteln und anderen Ressourcen geht (als konkreter Ausdruck für die Gewichtung der Teilziele), sie sind jedoch oft durch tieferliegende Differenzen begründet. Insbesondere unterschiedliche Naturbilder und unterschiedliche Vorstellungen über die Stellung des Menschen in der Natur führen zu teils heftigem Dissens.¹⁹ Kompromisse sind auf dieser Ebene aber nur schwer möglich.
- *Unvollständigkeit des Folgenwissens*: Aufgrund der unüberschaubaren Komplexität ökologischer Wechselbeziehungen lassen sich die Folgen von Landschaftseingriffen prinzipiell nur unvollständig prognostizieren (insbesondere Spätfolgen, Summenwirkungen).²⁰ Die Prognoseunsicherheiten betreffen die Folgen der Ein-

18 Vgl. z.B. Höffe, O.: *Moral als Preis der Moderne. Ein Versuch über Wissenschaft, Technik und Umwelt.* Frankfurt/M. 1993, S. 271ff.

19 Vgl. Renn, O.: *Möglichkeiten und Grenzen diskursiver Verfahren bei umweltrelevanten Planungen.* In: Biesecker, A./Grenzdörfer, K. (Hrsg.): *Kooperation, Netzwerk, Selbstorganisation.* Pfaffenweiler 1996, S. 161-197 (S. 170 f).

20 Für eine Darstellung der hierfür ursächlichen „Tantalus-Probleme“ in den Umweltwissenschaften vgl. Jaeger, J.: *Exposition und Konfiguration als Bewertungsebenen für Umweltgefährdungen.* In: *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung (ZAU).* Jg. 11 (1998), H. 3/4, S. 444-466 (S. 447 ff).

griffe für die Umwelt, nicht die Funktion und den Betrieb der technischen Anlagen. Dies erweist sich als ein systematischer Nachteil zulasten der Umwelt. Oft sind auch der Ist-Zustand (z. B. die Umweltfunktionen) und frühere Zustände der Landschaft nur lückenhaft ermittelbar. Die meisten Verfahren zur Eingriffsbewertung setzen jedoch dieses Folgenwissen voraus (z. B. die ökologische Risikoanalyse²¹). Wegen der Lückenhaftigkeit des Folgenwissens bekommen *Differenzen auf der Wert- und Weltbildebene* ein umso höheres Gewicht, und der *Umgang mit Ungewissheit* wird zu einem Schlüsselproblem in den angewandten Umweltwissenschaften.²²

Für das Thema der Landschaftszerschneidung spitzt sich die Situation besonders dadurch zu, dass die Mobilität - im Sinne von räumlichen Transporten - als ein unentbehrliches Mittel für zahlreiche Aktivitäten in einer modernen Gesellschaft gilt und für viele Akteure ein hoch bewertetes Ziel darstellt. Inwieweit aber werden die Folgen der Landschaftszerschneidung - als Folge der hohen Mobilität - rational bewertet und verantwortet? Konkretisierung und Zuordnung von Verantwortung ist generell umso schwieriger, je weiter die Folgen von menschlichen Handlungen über den zwischenmenschlichen Nahbereich hinausgehen.²³ Zudem ist die Frage nach der Verteilung von Nutzen und Schaden einer weiteren Erhöhung räumlicher Mobilität nicht leicht zu beantworten. Insbesondere führen mehrere Folgen hoher Mobilität - Zerteilung und Verlärmung von Erholungsgebieten oder sinkende Wohnqualität aufgrund hoher Pendlerströme - zu einem noch höheren Mobilitätswunsch, so dass die Zurechnung von Verantwortlichkeiten durch Überlagerungen und Mehrdeutigkeiten erschwert wird.

3.3 Unterbewertung von schwer prognostizierbaren, unsicheren Wirkungsbereichen

Es bestehen grundsätzliche Grenzen für die auswirkungsgestützte Bewertung von Umwelteingriffen. In der Eingriffsabwägung gibt es stets mehrere Wirkungsbereiche, in denen die Eingriffsfolgen unbekannt oder unsicher sind und daher - in wesentli-

21 „Die Methode der ökologischen Risikoanalyse (...) versteht sich (...) als eine Form der Wirkungsanalyse im Mensch-Umwelt-System. (...) Die Verknüpfung der „Intensität potentieller Beeinträchtigungen“ und der „Empfindlichkeit gegenüber Beeinträchtigungen“ beschreibt das Ausmaß der zu erwartenden Beeinträchtigungen natürlicher Ressourcen.“ - Bachfischer, R.: Die ökologische Risikoanalyse. Eine Methode zur Integration natürlicher Umweltfaktoren in die Raumplanung. Diss., Technische Universität München. München 1978, S. 72 u. 91.

22 Vgl. die Diskussion in Scheringer, M./Böschchen, S./Jaeger, J.: Wozu Umweltforschung? Über das Spannungsverhältnis zwischen Forschungstraditionen und umweltpolitischen Leitbildern. Teil I: Das Beispiel „Ökologische Chemie“, Teil II: Zum Leitbild „Reflexive Umweltforschung“. In: GAIA. Jg. 10 (2001), H. 2, S. 125-135, und H. 3, S. 203-212.

23 Vgl. die Diskussion über die zunehmende Diskrepanz zwischen technischer Machbarkeit, vorhersagendem Wissen und Verantwortungsreichweite bei Anders, G./Picht, G./Gleich, A.: Die Antiquiertheit des Menschen. München 1956, S. 16 u. 267. - Picht, G.: Prognose, Utopie, Planung. Die Situation des Menschen in der Zukunft der technischen Welt. Stuttgart 1967, S. 7f. (= Schriften der Vereinigung Deutscher Wissenschaftler e.V., H. 6). Wiederabdruck in Picht, G.: Wahrheit, Vernunft, Verantwortung. Stuttgart 1969, S. 373-407 sowie in Picht, G.: Zukunft und Utopie. Stuttgart 1992, S. 1-42. - Picht, G.: Philosophie oder vom Wesen und rechten Gebrauch der Vernunft. In: Meyers Enzyklopädisches Lexikon, Bd. 18. Mannheim 1976, S. 587-591 (S. 588). - Gleich, A. v.: Der wissenschaftliche Umgang mit der Natur. Über die Vielfalt harter und sanfter Naturwissenschaften. Frankfurt/M. 1989. - Gleich, A. v.: Ökologische Kriterien der Technik- und Stoffbewertung. In: Westphalen, R. Graf v.: Technikfolgenabschätzung als politische Aufgabe. 3. Aufl. München 1997, S. 499-570.

chem Maße aufgrund ihrer Unsicherheit - als „spekulativ“ und „nicht entscheidungsrelevant“ gelten. Das Wissen über die Folgewirkungen ist in Bereichen wie „Metapopulationsdynamik“, „Nahrungsnetze“ und „kumulative Wirkungen“ in der Regel sehr unpräzise und lückenhaft. Gleichzeitig fehlt im begrifflichen Instrumentarium der Abwägung eine Differenzierung zwischen verschiedenen Arten von Unsicherheiten; potenzielle - aber schwer nachweisbare - Folgen im Bereich von Ungewissheit werden nicht ernstlich berücksichtigt.²⁴ Angesichts der prinzipiellen Schwächen der auswirkungsorientierten Bewertung erscheint ein solches Entscheidungsverfahren aus der Perspektive des Vorsorgeprinzips²⁵ methodisch unzureichend, so dass die Spätfolgen, die Summenwirkungen und das Misslingen von Ausgleichsmaßnahmen bei der Eingriffsbilanzierung und der Festsetzung des Ausgleichs systematisch unterbewertet bzw. vernachlässigt werden - insbesondere in der „Durchschnittslandschaft“.

Die nach der UVP verbleibenden Unsicherheiten liegen vor allem im Bereich der *ökologischen* Folgewirkungen, während die *technischen* Aspekte des Eingriffes (Untergrundfestigkeit, Entwässerung, etc.) sehr gut bekannt und abgesichert sind. Berücksichtigung finden dementsprechend am ehesten solche ökologischen Wirkungszusammenhänge, die sich mit technischen Mitteln steuern oder (wieder-)herstellen lassen; unsichere, komplexe und nicht prognostizierbare Wirkungen hingegen haben als Argumente in der Eingriffsabwägung einen weitaus geringeren Stellenwert.

Zur kontinuierlichen Zunahme der Landschaftszerschneidung tragen somit sowohl der Wille der Entscheidungsträger bei, neue Verkehrswege auch im Wissen um die bekannten Folgewirkungen anzulegen, als auch die geringe Gewichtung der unsicheren Wirkungsbereiche.

4 Voraussetzungen für die Entwicklung verbesserter Bewertungsmethoden: ökologische Modellierung und das Bewertungskonzept der Umweltgefährdung

Um neue und besser greifende Maßnahmen zu entwickeln, ist eine Auseinandersetzung mit den drei Kernproblemen notwendig. Neue Bewertungskriterien und -strategien sind nötig, die verstärkt das Problem der Unsicherheit einbeziehen. Die Entwicklung von Bewertungskriterien könnte sich z.B. auch an der Reversibilität oder Revidierbarkeit von Eingriffen und Entscheidungen sowie an der Leitidee der „Fehlerfreundlichkeit“ orientieren.²⁶ Erforderlich ist daher nicht so sehr die weitere Verbesserung der Wissensbasis über die ökologischen Auswirkungen von Landschaftseingriffen, denn dies kann die drei Kernprobleme nicht lösen (auch das dritte nicht), sondern wesentlich ist die gezielte Suche nach Kriterien und Indikatoren für potenzielle Umweltgefahren. Zu diesem Zweck haben M. Scheringer, M. Berg und

24 Vgl. Jaeger, J.: Bedarf nach Unsicherheits-Unterscheidungen. Eine empirische Untersuchung zum Umgang mit Unsicherheit bei der Eingriffsbewertung. In: Naturschutz und Landschaftsplanung, Jg. 32 (2000), H. 7, S. 204-212.

25 Vgl. z.B. European Environment Agency (Hrsg.): Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000. Luxemburg 2001. (= Environmental issue report, No. 22).

26 Vgl. Weizsäcker, C. v./Weizsäcker E.U. v.: Fehlerfreundlichkeit. In: Kornwachs, K. (Hrsg.): Offenheit - Zeitlichkeit - Komplexität: zur Theorie der offenen Systeme. Frankfurt/M. u.a. 1984, S. 167-201. - Weizsäcker, C. v./Weizsäcker E.U. v.: Fehlerfreundlichkeit als Evolutionsprinzip und Kriterien der Technikbewertung. In: Universitas, Jg. 14 (1986), S. 791-799.

U. Müller-Herold im Rahmen des Polyprojektes „Risiko und Sicherheit technischer Systeme“ an der ETH Zürich ein neues Konzept der *Umweltgefährdung* entwickelt.²⁷ Das Konzept schlägt vor, bei der Entscheidung über einen Eingriff nicht allein mit den prognostizierbaren Auswirkungen zu argumentieren. Vielmehr folgt es dem Ansatz, die Eingriffsabwägung stärker als bisher auf Anzeichen bzw. Indikatoren für potenzielle Gefahren zu beziehen. Das Gefährdungskonzept zielt auf eine systematische *Vorverlagerung* der Bewertung innerhalb der Kausalkette, so dass sich die Bewertung anstatt auf die Auswirkungen auf das Ausmaß des Eingriffs und der damit verbundenen Unsicherheiten bezieht. Der Begriff der Umweltgefährdung drückt aus, wie stark Umwelteingriffe die Bedingungen für das Auftreten möglicher Umweltschäden in Richtung zunehmender Unsicherheit verändern.²⁸ Dazu fragt die Gefährdungsanalyse nach solchen Merkmalen des Umwelteingriffs, die als Bewertungskriterien geeignet sind, um „eine gewisse Proportionalität zum angenommenen Risiko“²⁹ zu wahren. Das Konzept der Umweltgefährdung führt dazu eine neue Bewertungsebene zwischen der Ebene der Eingriffe und der Ebene der Auswirkungen ein. Für das Beispiel von Umweltchemikalien ist diese Ebene die *Exposition*, d. h. die Verteilung der Stoffe in der Umwelt als Bedingung für ihre Wirkungen auf Lebewesen und Ökosysteme. Hier sind „Persistenz“ und „Reichweite“ die passenden Beurteilungskriterien.³⁰ Für die Bewertung struktureller Landschaftsveränderungen eignet sich die Ebene der *Konfiguration*, z. B. mit den Kriterien der zivilisatorisch-technischen Durchdringung³¹, der Erhöhung des Zerschneidungsgrades oder der Herabsetzung der *landscape connectivity*.³²

Entscheidend ist die Einführung einer „Zwischenebene“, auf der die Geschehnisse durch Eigenschaften charakterisiert werden, die den ursächlichen Einwirkungen zurechenbar sind und nicht die Kenntnis der Auswirkungen voraussetzen. Das Konzept der Umweltgefährdung ersetzt somit die Strategie der Wirkungsanalyse durch eine stärker vorsorgeorientierte Strategie, bei der man nicht nach den Aus-

- 27 Vgl. Scheringer, M./Berg, M./Müller-Herold, U.: Jenseits der Schadensfrage: Umweltschutz durch Gefährdungsbegrenzung. In: Berg, M. u. a. (Hrsg.): Was ist ein Schaden? Zur normativen Dimension des Schadensbegriffs in der Risikowissenschaft. Zürich 1994, S. 115-146. - Scheringer, M./Mathes, K./Winter, G./Weidemann, G.: Für einen Paradigmenwechsel bei der Bewertung ökologischer Risiken durch Chemikalien im Rahmen der staatlichen Chemikalienregulierung. In: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung (ZAU). Jg. 11 (1998), S. 227-233.
- 28 Ein Beispiel sind strukturelle Landschaftsveränderungen, wenn sie die Unsicherheit des dauerhaften Fortbestandes von Tier- und Pflanzenpopulationen erhöhen, die zur Arten- und Lebensraumvielfalt beitragen (insbesondere aufgrund der kumulativen Wirkungen von Landschaftseingriffen).
- 29 Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Umweltgutachten 1996. Stuttgart 1996, S. 254, Textziffer 724.
- 30 Vgl. Scheringer, M.: Persistenz und Reichweite von Umweltchemikalien. Weinheim 1999.
- 31 Vgl. Ewald, K. C.: Der Landschaftswandel. Zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert. In: Tätigkeitsberichte der naturforschenden Gesellschaft Baselland, Bd. 30 (1978), S. 178. (= Berichte der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Nr. 191).
- 32 Der Begriff der „landscape connectivity“ bezeichnet das Ausmaß, wie stark eine Landschaft es einer bestimmten Tierart ermöglicht (oder sie darin behindert), sich in dieser Landschaft von einem Ort zum andern fortzubewegen (vor allem zwischen Teilhabitaten, die dem Tier die benötigten Ressourcen bieten). Die „landscape connectivity“ (oder der Landschaftswiderstand) hängt somit von der Struktur der Landschaft ab und ist außerdem tierartenspezifisch. - Taylor u. a. definieren „landscape connectivity“ als „the degree to which the landscape facilitates or impedes movement among resource patches“. - Taylor, P. D./Fahrig, L./Henein, K./Merriam, G.: Connectivity is a vital element of landscape structure. In: *Oikos*. Vol. 68 (1993), S. 571-572.

wirkungen selbst, sondern nach den *Bedingungen* für Umweltauswirkungen fragt und sich insbesondere am Ausmaß der bestehenden Ungewissheit orientiert. Wenn das Wissen über die potenziellen Auswirkungen zunimmt, können diese ebenfalls bewertet werden und in den Entscheidungsprozess mit einfließen; gegebenenfalls wird man dann zwischen verschiedenen Kriterien aus beiden Bewertungsstrategien abwägen. Gefährdungsorientierung und Wirkungsorientierung müssen einander also nicht widersprechen, sondern sind komplementäre, einander ergänzende Perspektiven.³³

Mit dem Konzept der Umweltgefährdung lassen sich die Kernprobleme 1 und 3 bearbeiten: Erstellung von neuen Indikatoren, die einen vorsorgenden Umgang mit der Unvollständigkeit des Folgenwissens ermöglichen und auch in der „Durchschnittslandschaft“ greifen. Damit verbunden ist die Erwartung, Wert- und Zielkonflikte (Kernproblem 2) besser als bisher zu verdeutlichen und Vorsorgekriterien in der Abwägung stärker zu konkretisieren und zu gewichten.

5 Beiträge der ökologischen Modellierung

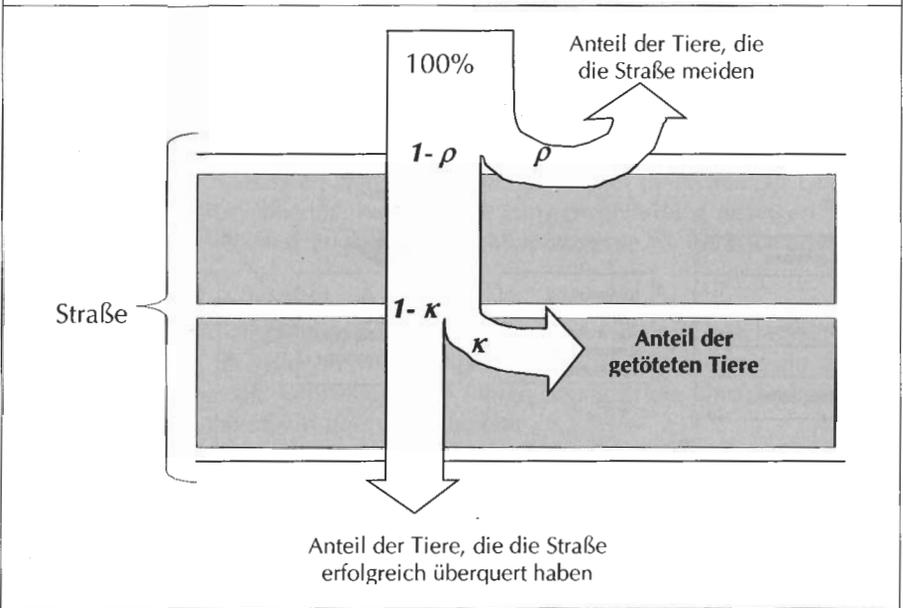
Ein wichtiges technisches Hilfsmittel zur Entwicklung und Anwendung dieser neuen Bewertungskriterien im Rahmen des Gefährdungskonzeptes ist die *ökologische Modellierung*. Die Leistungsfähigkeit dieses Werkzeugs hat aufgrund der Fortschritte in der Computertechnik während der letzten 10 Jahre nochmals erheblich zugenommen. In Deutschland hat die Modellierung jedoch bisher erst eine vergleichsweise geringe Anwendung in der Ökologie gefunden - abgesehen von Geographischen Informationssystemen (GIS), welche allerdings der digitalen Datenerfassung und -darstellung dienen, aber kaum der Modellierung von Prozessen, z. B. der Ausbreitung von Organismen und des Verhaltens von Tieren an Straßen (*Abb. 4*). Um das Potenzial der ökologischen Modellierung für die Entwicklung von Bewertungskriterien zu nutzen, sind eine klare Begrifflichkeit und ein Bewertungskonzept (wie das hier skizzierte Konzept der Umweltgefährdung) Voraussetzung. Beispiele sind die Modellierung des Beitrags von Landschaftseingriffen zur Erhöhung des Landschaftswiderstandes für Tiere³⁴ sowie die Entwicklung und Berechnung von „*ecologically scaled landscape indices*“ (ESLI), d. h. ökologisch skalierten Landschaftsindizes³⁵ (*vgl. Abb. 5*). Aufgaben der ökologischen Modellierung sind:

- Systematische Abklärung der Implikationen vorhandenen Wissens (über ökologische Größen und Zusammenhänge) sowie von hypothetischen Funktionsmechanismen;

33 Zu den Vorteilen gefährdungsorientierter Strategien gegenüber der Wirkungsorientierung *vgl.* Jaeger, J.: Vom „ökologischen Risiko“ zur „Umweltgefährdung“: Einige kritische Gedanken zum wirkungsorientierten Risikobegriff. In: Breckling, B./Müller, F. (Hrsg.): *Der ökologische Risikobegriff*. Frankfurt/M. 2000, S. 203-216 (S. 213 f.). (= *Theorie in der Ökologie*, Bd. 1).

34 D. h. der Beitrag zur Verringerung der „landscape connectivity“ als ein Indikator für die vom Eingriff ausgehende Umweltgefährdung. *Vgl.* z. B. Tischendorf, L./Fahrig, L.: On the usage and measurement of landscape connectivity. In: *Oikos*. Vol. 90 (2000), S. 7-19. - Siehe ausführlicher in Jaeger, J.: Ansätze zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung und die Einbeziehung räumlich-funktionaler Zusammenhänge. In: Jopp, F./Weigmann, G. (Hrsg.): *Rolle und Bedeutung von Modellen für den ökologischen Erkenntnisprozess*. Frankfurt/M. 2001, S. 115-126. (= *Theorie in der Ökologie*, Bd. 4).

35 *Vgl.* Vos, C. C./Verboom, J./Opdam, P. F. M./Ter Braak, C. J. F.: Toward ecologically scaled landscape indices. In: *The American Naturalist*. Vol. 157 (2001), H. 1, S. 24-41.

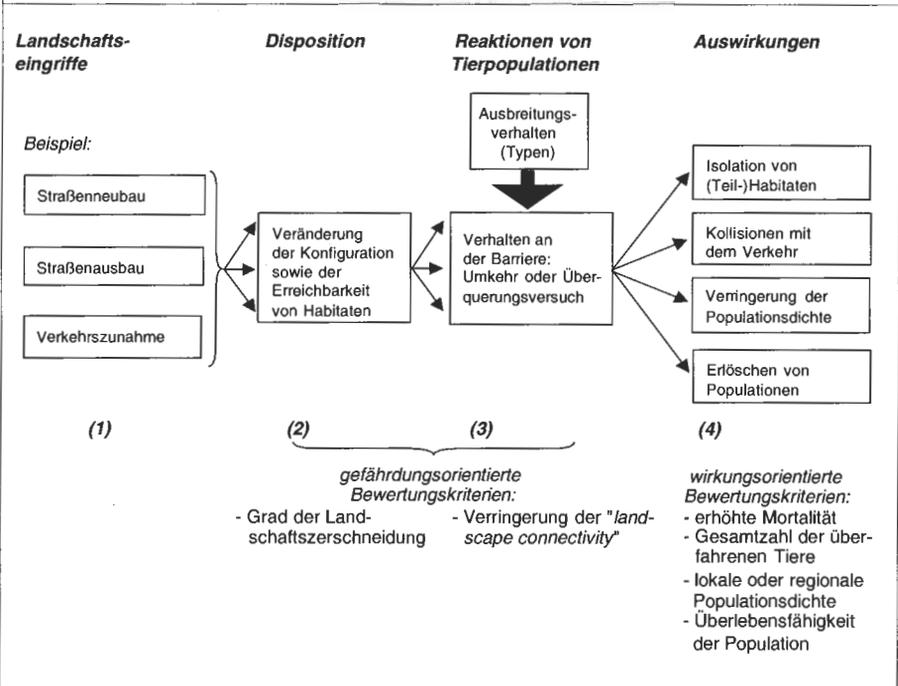
Abbildung 4: Modellierung des Verhaltens von Tieren an einer Straße

Die Werte von ρ und κ sind von Tierart, Art der Straße und Verkehrsaufkommen abhängig.

Quelle: Jaeger, J./Fahrig, L.: Modeling the effects of road network patterns on population persistence: relative importance of traffic mortality and 'fence effect'. In: 2001 Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation (ICOET, 24-28 September 2001 in Keystone, CO). Hrsg. von: The Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC, 2002 (Evink, G., et al.), S. 298-312 (S. 299); online: <http://www.itre.ncsu.edu/cte/icoet/downloads/ICOET2001Proceedings PrintVersion.pdf>.

- Aufzeigen möglicher Verhaltensmuster von Organismen, Populationen (einschließlich der Interaktionen von Arten) und Ökosystemen; Darstellung und Vergleich möglicher, alternativer Erklärungsmodelle;
- Sensitivitätsanalysen (für vorhandenes Wissen sowie für hypothetische Funktionsmechanismen):
 - Vergleich der relativen Bedeutung mehrerer Einflussgrößen oder Wirkungsmechanismen (und ihrer wechselseitigen Beeinflussung),
 - Ermittlung der Bedingungen, wann ein bestimmter Einfluss besonders wichtig oder folgenreich werden kann,
 - Beantwortung der Frage, welche räumlichen Strukturen erforderlich sind, bzw. erhalten werden müssen, um gewünschte Ökosystemfunktionen gewährleisten zu können;
- Erkennen und genauere Lokalisierung von Wissenslücken, Formulierung gezielterer (und empirisch besser zu testender) Fragen, systematische Generierung von Hypothesen (z.B. welche Verhaltensmuster gemäß des bisherigen Wissens erwartet werden können);

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Kausalkette für landschaftszerschneidende Eingriffe und ihre Auswirkungen auf Tierpopulationen (in 4 Stufen).



Quelle: ergänzt nach Jaeger, J.: Ansätze zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung und die Einbeziehung räumlich-funktionaler Zusammenhänge. In: Jopp, F./Weigmann, G. (Hrsg.): Rolle und Bedeutung von Modellen für den ökologischen Erkenntnisprozess. Frankfurt a. M. 2001, S. 115-126. (= Theorie in der Ökologie, Bd. 3).

- Überprüfung von neuen, zu verbessernden Größen (insbesondere Bewertungskriterien) hinsichtlich bestimmter Anforderungen (z. B. zur Quantifizierung von „landscape connectivity“);
- Generierung und Darstellung von Entwicklungsszenarien.

Es geht also meistens nicht um eine möglichst detailgetreue, vollständige Simulation der Realität, sondern um das Verständnis bestimmter (Teil-)Prozesse sowie die Identifikation und den Vergleich ausgewählter, besonders relevanter Größen. In Deutschland liegen zahlreiche wichtige Beiträge zur ökologischen Modellierung vor,³⁶ deren Potenzial jedoch bisher in der Praxis noch kaum genutzt wird. Model-

36 Beispielhaft genannt seien hier lediglich: Frank, K./Wissel, C.: Spatial aspects of metapopulation survival - from model results to rules of thumb for landscape management. In: Landscape Ecology. Jg. 13 (1998), S. 363-379. - Poethke, H.J./Gottschalk, E./Seitz, A.: Gefährdungsgradanalyse einer räumlich strukturierten Population der Westlichen Beißschrecke: Ein Beispiel für den Einsatz des Metapopulationskonzeptes im Artenschutz. In: Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz. Jg. 5 (1996), S. 229-242. - Breckling, B.: Singularität und Reproduzierbarkeit in der Modellierung ökologischer Systeme. Diss., Universität Bremen. Bremen 1990. - Grimm, V.: Stabilitätskonzepte in der Ökologie: Terminologie, Anwendbarkeit und Bedeutung für die ökologische Modellierung. Diss., Universität Marburg. Marburg 1994. - Tischendorf, L.: Mo-

le ermöglichen beispielsweise den Vergleich von Rangeinstufungen für Planungsvarianten mit und ohne Berücksichtigung von denjenigen Mechanismen, deren Wirksamkeit in einer konkreten Landschaft nicht ausgeschlossen werden kann. Wenn in beiden Fällen dieselbe Rangfolge für die Eingriffsoptionen resultiert, kann das vereinfachte Modell als Indikatormodell auch für den komplexeren Fall dienen. Auf diesem Weg können, wie es das Gefährdungskonzept vorschlägt, Bedingungen für das Auftreten von Umweltschäden identifiziert und genauer charakterisiert werden. Damit lassen sich Indikatoren ableiten, die wie Sonden in Bereichen der Unsicherheit die mit geplanten Eingriffen verbundene Umweltgefährdung anzeigen. Solche „Sondierungsmodelle“ sind zugleich als Frühwarnsysteme für Landschaftseingriffe geeignet.

Insgesamt ergeben sich folgende Erfordernisse:

- Man sollte systematisch zwischen verschiedenen Arten von Unsicherheit unterscheiden, denn für jede Art von Unsicherheit ist im allgemeinen ein anderer Umgang angemessen. Umwelteingriffe führen häufig in die Unsicherheitsbereiche von „Unbestimmtheit“ und „Unsicherheit i. e. S.“.³⁷
- Es gibt eine Vielzahl von Unsicherheiten, für deren Bewertung man sich von der Wirkungsorientierung und vom Risikobegriff lösen sollte. Es besteht sonst die Gefahr, dass sie in der Praxis weiterhin als „Spekulationen“ außer Acht gelassen werden. Für den Umgang mit Unsicherheiten müssen geeignete gefährdungsorientierte Argumente im Entscheidungsprozess anerkannt werden.
- Für Umweltgefährdungen sollte man die Bewertung vorverlagern auf eine den Auswirkungen vorgeordnete Ebene (z. B. Exposition und Konfiguration) und dafür geeignete Kriterien entwickeln (gemäß dem Vorsorgeprinzip).
- Die ökologische Modellierung hat ein großes Potenzial als ein Werkzeug in der Entwicklung (und Quantifizierung) solcher neuen Bewertungskriterien. Dieses Potenzial, entscheidungsunterstützende Informationen zu liefern, sollte künftig stärker genutzt werden als bisher.

6 Weitere Lösungsvorschläge

Neben der mittel- und langfristigen Entwicklung und Anwendung der neuen Bewertungskriterien sind allerdings auch einige Arbeitsschritte zur Lösung des Problems der fortschreitenden Landschaftszerschneidung kurz- bis mittelfristig umsetzbar, die bisher nicht oder zu wenig in Betracht gezogen wurden. Im Einzelnen möchte ich daher die folgenden Vorschläge nennen:

dellierung von Populationsdynamiken in strukturierten Landschaften. Diss., Universität Marburg. Aachen 1995. - Schröder, B.: Zwischen Naturschutz und Theoretischer Ökologie: Modelle zur Habitategnung und räumlichen Populationsdynamik für Heuschrecken im Niedermoor. Braunschweig 2000. (= Landschaftsökologie und Umweltforschung, H. 35/2000). - Settele, J.: Metapopulationsanalyse auf Rasterdatenbasis: Möglichkeiten des Modelleinsatzes und der Ergebnisumsetzung im Landschaftsmaßstab am Beispiel von Tagfaltern. Stuttgart 1998.

- 37 Die Situation von Ungewissheit unterscheidet sich von der Risikosituation dadurch, dass keine oder nur unzureichende Angaben über die potenziellen Schäden oder ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten verfügbar sind. Innerhalb von Ungewissheit kann weiter differenziert werden zwischen Unsicherheit im engeren Sinne (d.h. wenn nur die möglichen Schadenshöhen bekannt sind) und Unbestimmtheit (d.h. wenn nicht einmal über den Umfang der potenziellen Schäden ausreichende Informationen vorliegen). Siehe Jaeger, J.: Exposition und Konfiguration als Bewertungsebenen für Umweltgefährdungen, a. a. O., S. 461 f.

- *Erfolgskontrollen für die Eingriffsfolgen und die Ausgleichsmaßnahmen*: Wünschenswert ist eine bessere Erfassung der tatsächlichen Folgen des Eingriffs sowie der Ausgleichsmaßnahmen, wobei die dafür erforderlichen Monitoring-Maßnahmen quasi als *Ausgleich für die bestehenden Ungewissheiten* zu ergreifen wären, d. h. als Ausgleich für die Unsicherheit solange, bis genügend Sicherheit gewonnen wurde, ob ein weiterer Ausgleich noch nötig ist oder nicht.
- *Nachbesserungsverpflichtung*: Es sollte eine Nachbesserungspflicht für nachträglich festgestellte Schäden verankert werden (z. B. in der Planfeststellung), um auf diesem Weg die Verantwortung für die nachträglich erkannten Folgen auch wirklich zu tragen. Diese Verpflichtung kann mit einer Versicherungspflicht für unerwartete Folgen verbunden werden.
- *Netzbetrachtungen*: Neben der UVP für die Einzeleingriffe ist eine UVP für die Summenwirkungen erforderlich, z. B. als „Strategische UVP“ oder „Plan-UVP“.
- *Verschlechterungsverbot für den Stand des Landschaftswiderstandes („landscape connectivity“)*: Die funktionalen Untersuchungen sollten vertieft werden. Insbesondere werden zuverlässige Maße für die „landscape connectivity“ benötigt. Als ein nachhaltig zu sichernder Aspekt des Naturhaushaltes dürfte die „landscape connectivity“ nicht mehr weiter herabgesetzt werden, sondern sie sollte kontinuierlich *gestärkt* werden, z. B. durch Querungshilfen wie Grünbrücken (Abb. 6) und Durchlässe.
- *Leitbildorientierte Planung statt bedarfsorientierter Planung*: Nachhaltigkeit bedeutet u. a., dass Landschaftsverbrauch und Landschaftszerschneidung nicht beliebig weiter fortgesetzt werden können. Daher sollten Zielvorstellungen entwickelt werden, wie künftige nachhaltige, zerschneidungsarme Verkehrssysteme

Abbildung 6: Grünbrücken für Wildtiere



Grünbrücken ermöglichen Wildtieren das gefahrlose Überqueren auch von stark befahrenen Straßen wie hier der Trans Canada Highway im Banff National Park in den kanadischen Rocky Mountains. Diese Straße hat ein sommerliches Verkehrsaufkommen von 21000 Fahrzeugen pro Tag mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 110-115 km/h.

Gibeau, M. L./Clevenger, A. P./Herrero, S./Wierchowksi, J.: Effects of highways on grizzly bear movement in the Bow River watershed, Alberta, Canada, a. a. O. (Foto: J. Jaeger)

aussehen könnten und welche Umbauszenarien sich im Sinne eines „backtracking“ daraus ableiten lassen. Entsprechend sollte die Verkehrsplanung von der Nachfrageorientierung auf eine Zielorientierung umgestellt werden. Diese Überlegungen betreffen auch die Siedlungsentwicklung.³⁸

- *Finanzierung der Nachbesserungsmaßnahmen für Summenwirkungen aus der Mineralölsteuer*: Folgen, die sich nicht einem oder mehreren Einzeleingriffen als Ursache zurechnen lassen, sollten zukünftig durch Maßnahmen behoben oder gemindert werden, deren Kosten über die Mineralölsteuer allen Verkehrsteilnehmern/-innen anzulasten sind (d. h. entsprechend ihrer Fahrleistung).
- *Einstufung von UVR als Schutzgut*: Beschreibung und Anerkennung von UVR als Schutzgut, da sie ein gefährdetes Landschaftspotenzial beschreiben (Potenzial vor allem als Lebensräume für Tiere und als ruhige Erholungsräume für Menschen).³⁹
- *Verbesserung der Datengrundlage*: Erhebung der Landschaftszerschneidung in allen Bundesländern sowie in anderen EU-Staaten, so dass die Resultate der eingesetzten Methoden vergleichbar sind.⁴⁰
- *Einführung von Grenzwerten oder Zielwerten für die Landschaftszerschneidung*: Das Instrumentarium für die Festlegung von Grenz- oder Zielwerten sollte entsprechend den verschiedenen Planungsebenen entwickelt werden. In Pilotprojekten sollte überprüft werden, ob sich eher Zielwerte oder eher Grenzwerte für das Erreichen einer Trendwende in der Landschaftszerschneidung eignen.⁴¹

38 Erste Vorschläge für solche Umbauszenarien für eine urbane Region im Schweizer Mittelland finden sich in Baccini, P./Oswald, F. (Hrsg.): Netzstadt: Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme. Zürich 1998.

39 Dieser Vorschlag entstammt der Arbeit von Waterstraat, A./Baier, H./Holz, R./Spieß, H. J./Ulbricht, J.: Unzerschnittene, störungsarme Landschaftsräume. Versuch der Beschreibung eines Schutzgutes. In: Die Bedeutung unzerschnittener, störungsarmer Landschaftsräume für Wirbeltierarten mit großen Raumansprüchen. Ein Forschungsprojekt. Güstrow 1996, S. 5-24. (= Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, H. 1).

40 Zwar erhebt das Statistische Bundesamt regelmäßig Daten über den Landschaftsverbrauch. Demnach werden derzeit täglich in Deutschland 129 Hektar freie Landschaft in Siedlungs- und Verkehrsfläche umgewandelt, ein neuer Höchststand. Solche Daten sagen jedoch nichts darüber aus, wie sich der Verbrauch von Landschaft insgesamt auf die Größen der verbleibenden Gebiete auswirkt. Diese Information liefert die neue Messgröße der „effektiven Maschenweite“. Damit wurde an der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Zusammenarbeit mit dem Institut für Landschaftsplanung und Ökologie der Universität Stuttgart und mit der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) in Karlsruhe der Grad der Landschaftszerschneidung von Baden-Württemberg berechnet, einschließlich der zeitlichen Entwicklung der Landschaftszerschneidung im Laufe der letzten 70 Jahre auf der Grundlage historischer Karten. Baden-Württemberg ist demnach weit stärker zerstückelt, als es die Ergebnisse früherer Untersuchungen erwarten ließen. Das Projekt liefert Referenzdaten für eine bundesweite Erfassung und Darstellung der Landschaftszerschneidung nach der selben Methode. - Jaeger, J./Esswein, H./Schwarz-von Raumer, H.-G./Müller, M.: Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg: Ergebnisse einer landesweiten räumlich differenzierten quantitativen Zerschneidungsanalyse. In: Naturschutz und Landschaftsplanung. Jg. 33 (2001), H. 10, S. 305-317. - Vgl. Esswein, H./Jaeger, J./Schwarz-von Raumer, H.-G./Müller, M.: Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg, a.a.O., S. 1-24. - Vgl. Jaeger, J.: Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. In: Landscape Ecology. Jg. 15 (2000), H. 2, S. 115-130.

41 Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hat bereits 1994 angeregt, „einen Bewertungsrahmen für die Erfassung struktureller Veränderungen in der Landschaft zu schaffen“ (S. 126, Textziffer 248), und befürwortet die Entwicklung von Indikatoren „für die Isolierung von Biotopen mit Hilfe des *Zerschneidungsgrades* oder des Anteils unzerschnittener Räume“. Solche Indikatoren sollten bereitgestellt werden, um „Umweltqualitätsziele und Umweltqualitätsstan-

- Quantitative Bilanzierung von Neuerschneidungen und Aufhebungen von Zerschneidungen (gemäß dem Ziel einer Begrenzung der Umweltgefährdung).
- *Erstellung von Karten der Wildtierkorridore* wie in der Schweiz⁴² und Unterschutzstellung der Wildtierkorridore von regionaler/landesweiter Bedeutung.
- *Erstellung von Zerschneidungskarten*: Eine räumlich aufgeschlüsselte Darstellung des Zerschneidungsgrades in Karten kann die Gefährdungssituation durch Farbabstufungen verdeutlichen und ermöglicht die Identifikation von sensiblen Bereichen, die durch weitere Zerschneidungen besonders gefährdet sind. Der Vergleich von Gebieten mit vergleichbarer naturräumlicher Ausstattung und ähnlicher Besiedlungsdichte führt zur Ermittlung typischer Wertebereiche der Zerschneidungsmaße in verschiedenen Arten von Räumen, die als Orientierung bei der Aufstellung von Zielwerten dienen können.
- *Arten-Zerschneidungsgrad-Korrelationen*: Auf Grundlage eines Vergleichs mit Minimalarealen (Mindestflächenbedarf) von Tierarten sowie von empirischen Korrelationen zwischen der Artenzahl und den Werten der Zerschneidungsmaße kann sich die Festlegung von Richt- und Zielwerten für die Landschaftszerschneidung an landschaftsspezifischen Zielarten orientieren.
- *Moratorium in der Landschaftszerschneidung*: Um die Langfristfolgen und Summenwirkungen der bisherigen Zerschneidungen zu untersuchen und weitere unbeabsichtigte irreversible Artenverluste und Lebensraumentwertungen zu vermeiden, ist ein Moratorium für weitere Zerschneidungen erforderlich.

Ein erster wichtiger Schritt ist die Bilanzierung von Neuerschneidungen und Aufhebungen von Zerschneidungen hinsichtlich des Zerschneidungsgrades. Ein zweiter Schritt ist die Aufstellung von *Landschaftsleitbildern* einschließlich der Benennung von regional/landesweit bedeutsamen unzerschnittenen Räumen und von Schwerpunktgebieten für den Rückbau von zerschneidenden Bauwerken.⁴³

Zusammenfassung

Seit mehr als 15 Jahren besteht eine zunehmende Kluft zwischen politischen Absichtserklärungen für eine „Trendwende bei der Zerschneidung und Zersiedlung der Landschaft“ und der realen Entwicklung. Eine steigende Zahl wissenschaftlicher Untersuchungen belegt weitreichende negativ bewertete ökologische Auswirkungen, insbesondere einen wesentlichen

dards zu entwickeln“ und „verstärkt Grenzen für Stoffeinträge festzulegen (...) sowie *Grenzen für strukturelle Veränderungen der Landschaft im Zeitablauf*.“ (S. 126, Textziffer 250, und S. 128, Textziffer 253; Hervorhebungen JJ). Die Einführung von quantitativen Grenz- oder Richtwerten für die Landschaftszerschneidung ist ein Beitrag dazu, um diesen Vorschlag umzusetzen. - Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Umweltgutachten 1994. Stuttgart 1994. - Vgl. Jaeger, J.: Beschränkung der Landschaftszerschneidung durch die Einführung von Grenz- oder Richtwerten. In: *Natur und Landschaft*. Jg. 76 (2001), H. 1, S. 26-34.

42 Vgl. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (Hrsg.): *Korridore für Wildtiere in der Schweiz*. Grundlagen zur überregionalen Vernetzung von Lebensräumen. Bern 2001. (= Schriftenreihe Umwelt, Nr. 326 - Wildtiere). - Die Ermittlung der Wildtierkorridore in Baden-Württemberg ist nach Angabe von Suchant und Baritz in Planung, vgl. Suchant, R./Baritz, R.: *Das Lebensraumsystem für Wildtiere in Baden-Württemberg*. In: Hutter, C.-P./Jauch, E./Link, F.-G. (Hrsg.): *Ein Brückenschlag für Wildtiere*. Stuttgart 2001, S. 109-132 (S. 126 f.). (= Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz beim Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Bd. 30).

43 Für den Vorschlag dieser beiden Maßnahmen danke ich Herrn Ronald Jordan, Potsdam. - Zur Konkretisierung der Leitbilder eignet sich die Aufnahme von Orientierungswerten oder Zielwerten für die Landschaftszerschneidung. Hierzu eignet sich z.B. die neue Methode der „effektiven Maschenweite“, siehe Fußnote 40.

Beitrag zum besorgniserregenden Artenverlust in Mitteleuropa. Die Entwicklung verdeutlicht drei grundlegende Probleme bei der Bewertung heutiger Landschaftseingriffe: (1) *die Ohnmächtigkeit von Naturschutzanliegen in der „Durchschnittslandschaft“*, (2) *das Bestehen von Wert- und Zielkonflikten*, die nicht in allgemeiner Form lösbar sind, und (3) *die Unvollständigkeit des Folgenwissens*. Angesichts dieser Schwierigkeiten erscheint es notwendig, neue, besser greifende Bewertungskonzepte anzuwenden, die sich stärker als bisher am Vorsorgeprinzip orientieren, insbesondere das Bewertungskonzept der *Umweltgefährdung*. Hierzu kann die ökologische Modellierung ein großes Potenzial an neuen Methoden erschließen. Abschließend nennt der Aufsatz 14 praktische Lösungsvorschläge, um eine Trendwende in der Landschaftszerschneidung einzuleiten.

Summary

Over the last 15 years, there has been a growing discrepancy between real development and the political objectives claimed by the federal government about a „trend reversal in the landscape dissection and the widely dispersed urban sprawl“. A growing number of scientific studies have revealed far-reaching ecological effects, including a significant contribution to the serious loss of species in Europe. This development underlines three fundamental problems in the assessment of landscape intrusions: (1) the *ineffectiveness of current concepts of nature conservation in the „ordinary landscape“*, (2) the existence of *conflicting values and goals* that cannot be harmonized on a general level, and (3) the *incompleteness of knowledge* about the effects of landscape intrusions. To cope with these difficulties, it is crucial to apply improved and more efficient concepts (e.g., the concept of *environmental threat*) for the assessment of landscape intrusions that are more closely related to the precautionary principle than the current concepts. *Ecological modelling* seems to have huge potential to provide new methods for this task. This paper recommends 14 practical measures to launch a trend reversal in landscape fragmentation.