

Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg

Zerschneidungsanalyse zur aktuellen Situation
und zur Entwicklung der letzten 70 Jahre
mit der effektiven Maschenweite

Heide Esswein, Jochen Jaeger, *
Hans-Georg Schwarz-von Raumer, Manfred Müller

Nr. 214 / Juni 2002

Arbeitsbericht

ISBN 3-934629-69-5

ISSN 0945-9553

* Korrespondenzadresse: Dr. J. Jaeger, Carleton University, Department of Biology, Landscape Ecology Laboratory, 1125 Colonel By Drive, Ottawa, ON, K1S 5B6, Canada, E-mail: jjaeger@ccs.carleton.ca. – H. Esswein arbeitet an der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg und am Institut für Landschaftsplanung und Ökologie (ILPÖ) der Universität Stuttgart; Dr. H.-G. Schwarz-von Raumer ist Mitarbeiter am Institut für Landschaftsplanung und Ökologie (ILPÖ) der Universität Stuttgart; M. Müller ist Mitarbeiter an der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) in Karlsruhe.

***Akademie für Technikfolgenabschätzung
in Baden-Württemberg***

Industriestr. 5, 70565 Stuttgart
Tel.: 0711 • 9063-0, Fax: 0711 • 9063-299
E-Mail: info@ta-akademie.de
Internet: <http://www.ta-akademie.de>

Ansprechpartner: Dipl.-Geogr. Heide Esswein, Tel. 0711 • 121-4119
E-Mail: he@ilpoe.uni-stuttgart.de
und
Prof. Dr. Ortwin Renn, Tel. 0711 • 9063-160
E-Mail: ortwin.renn@ta-akademie.de

Die *Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg* gibt in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten als *Arbeitsberichte der TA-Akademie* heraus. Diese Reihe hat das Ziel, der jeweils interessierten Fachöffentlichkeit und dem breiten Publikum Gelegenheit zu kritischer Würdigung und Begleitung der Arbeit der TA-Akademie zu geben. Anregungen und Kommentare zu den publizierten Arbeiten sind deshalb jederzeit willkommen.

Vorwort

Seit mehr als zwei Jahrzehnten häufen sich die wissenschaftlichen Belege dafür, dass Straßen und Schienen für viele Tiere als Ausbreitungsbarrieren wirken. Der fortschreitende Siedlungszuwachs – bei gleichzeitiger Intensivierung der Landwirtschaft – engt die verbleibenden Freiräume für die Tier- und Pflanzenwelt weiter ein. Damit ist ein Zurückdrängen vieler wild lebender Arten, insbesondere von Arten mit großen Raumannsprüchen, und somit ein Verlust an Biodiversität vorprogrammiert. Der Grad der Landschaftszerschneidung ist daher ein wichtiger Indikator für die Bedrohung der Artenvielfalt. Da Tierpopulationen mit großen Zeitverzögerungen auf die Verkleinerung und Zerteilung ihrer Lebensräume reagieren, kann es für stabilisierende Maßnahmen oftmals schon zu spät sein, wenn ein Rückgang der Populationen dokumentiert wird. Außerdem ist für die meisten Tierarten nicht bekannt, welche minimale Lebensraumgröße sie noch verkraften können, ohne dass ihr dauerhaftes Überleben aufs Spiel gesetzt wird. Daher ist es wichtig, alle Verkleinerungen von Lebensräumen und alle bestehenden Trennelemente zu erfassen.

Als die Akademie für Technikfolgenabschätzung (TA-Akademie) im Frühjahr 2001 eine Pressemitteilung mit Ergebnissen zur Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg herausgab und in den „TA-Informationen“ über die Folgen der Landschaftszerschneidung berichtete,¹ war die öffentliche Resonanz groß. Verschiedene Zeitungen griffen das Thema auf, und der Südwestdeutsche Rundfunk sendete einen Beitrag in „BW-Aktuell“. Viele Anfragen richteten sich an die TA-Akademie mit der Bitte um eine ausführliche Dokumentation über den Grad der Zerstückelung des Landes. Das Interesse ist vor allem seitens der Landkreise und der Verbände sehr stark: benötigt werden Daten als Grundlage für planerische und politische Zielfestlegungen und Maßnahmen.

Das Thema der zunehmenden Zersiedelung und Zerschneidung unserer Landschaften ist offenkundig nicht nur sehr aktuell, sondern ein drängendes Problem. Es mangelt jedoch nach wie vor an politischen Lösungen, um das Problem einzudämmen oder, wie in den Niederlanden, den Trend durch ein „Entschneidungsprogramm“ (KRUEGER 2000) möglichst sogar zu durchbrechen und umzukehren. Karten der Wildtierkorridore mit Bewertung ihrer Durchlässigkeit und Sanierungsplanungen wie in der Schweiz (HOLZGANG et al. 2001) fehlen in Deutschland noch für sämtliche Bundesländer.² Jüngst erschienene Zeitungsartikel lassen erwarten, dass das Thema der Landschaftszerschneidung in der nächsten Zeit verstärkt öffentliches Interesse

¹ TA-Informationen, Ausgabe 2/2001, S. 24-31.

² Die Ermittlung der Wildtierkorridore in Baden-Württemberg ist geplant bei der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt in Freiburg (nach Angabe von SUCHANT und BARITZ 2001: 126f.).

finden wird. Beispiele aus der Schweiz sind der Artikel „Gefangen im Gehege der Straßen“, der am 18. Januar 2002 im *Tages-Anzeiger* erschienen ist (ELLNER 2002), und der Bericht „Vorrang für Wildschweine oder Pontoniere? – Bundesrat soll zwischen gleichwertigen Interessen abwägen“ in der *Neuen Zürcher Zeitung* vom 5. Dezember 2001 (NZZ 2001), der die hohe Bedeutung (auch in rechtlicher Hinsicht) von Wildtierkorridoren in der Abwägung und Entscheidung über geplante Standorte für Nutzungsansprüche unterstreicht.

Im Sommer 2001 gab die TA-Akademie die Kurzinformation „Flächenzerschneidung in Baden-Württemberg“ zur Information der Öffentlichkeit über den derzeitigen Zustand heraus (KRANZ 2001).³ Die Akademie behandelt das Thema der Landschaftszerschneidung im Rahmen des *Statusberichtes zur Nachhaltigen Entwicklung in Baden-Württemberg*, der die Entwicklung im Land in den Bereichen Umwelt und Humanressourcen darstellt. Dazu werden Zeitreihen von geeigneten Indikatoren wiedergegeben. Dieser Indikatorkatalog wird jeweils mit dem Erscheinen der neuen Ausgabe des Statusberichtes aktualisiert und somit ständig fortgeschrieben. Im ersten Bericht von 1997 fehlten Indikatoren zum Thema „Biodiversität und Vielfalt von Landschaften“ noch völlig. Die zweite Ausgabe aus dem Jahr 2000 enthält sechs Indikatoren für die Artenvielfalt (RENN et al. 2000a, b). Vier dieser Indikatoren wurden über den Bestand von Vogelpopulationen ermittelt (JEDICKE 2000) und sind daher lebensraumbezogen und artenspezifisch. Der fünfte Indikator „Naturschutzgebietsfläche“, der den Anteil der Fläche der Naturschutzgebiete an der Gesamtfläche von Baden-Württemberg angibt, zeigt die hoheitliche Tätigkeit des Landes für den Naturschutz an (RENN et al. 2000a, b). Der sechste Indikator „effektive Lebensraumgröße von Tieren und Pflanzen“ macht eine flächendeckende Aussage über die Größe der verbleibenden Lebensräume als Potenzial für Artenvielfalt im Land. Gemessen wird dieser Indikator mit dem einfachen und zugleich aussagekräftigen Maß der effektiven Maschenweite m_{eff} (JAEGER 2000, 2002).⁴

Ein hoher Zerschneidungsgrad wird durch eine geringe effektive Maschenweite angezeigt. Ein hoher Wert von m_{eff} weist hingegen auf eine geringe Zerschneidung hin und damit auf ein hohes Potenzial einer Region für Biodiversität. Diesen Zusammenhang zwischen Artenreichtum und Lebensraumgröße bestätigt auch eine neuere Studie aus Mecklenburg-Vorpommern. Sie stellt fest: „(1) Es besteht die Tendenz, dass unabhängig von der inneren Raumstruktur der Artenreichtum mit der Größe der Freiräume zunimmt. (2) Diese Tendenz verstärkt sich mit zunehmender Körpergröße der Arten. (3) Mit der Freiraumgröße nimmt auch der Flächenanteil der naturnahen Lebensraumstrukturen zu“ (BAIER und HOLZ 2001: 17).

³ Diese Kurzinformation (mit einer Kartenbeilage im Maßstab 1 : 650 000) ist kostenfrei bei der TA-Akademie bestellbar (in einer erweiterten Neuauflage).

⁴ Verwendung findet das Zerschneidungsmaß „effektive Maschenweite“ außerdem im Indikatorenkatalog der Landesanstalt für Umweltschutz in Karlsruhe.

Der vorliegende Arbeitsbericht stellt – nach einem Überblick über die verwendete Methode – die Ergebnisse der Analyse der Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg dar (aktueller Zustand und Entwicklung der letzten 70 Jahre). Die hier wiedergegebenen Daten zum aktuellen Zustand sind aus JAEGER et al. (2001), die Ergebnisse zur Entwicklung während der letzten 70 Jahre aus JAEGER et al. (*in Vorb.*) entnommen.

Die Berechnung der hier vorgelegten Daten für Baden-Württemberg erfolgte in Kooperation mit dem Institut für Landschaftsplanung und Ökologie der Universität Stuttgart (Dr. Hans-Georg SCHWARZ-VON RAUMER, Prof. Dr. Giselher KAULE) und der Landesanstalt für Umweltschutz in Karlsruhe (Manfred MÜLLER).

Unsere Arbeit wurde von vielen Seiten unterstützt. Wir danken Herrn Michael REUTHER vom Landesamt für Straßenwesen für seine Unterstützung hinsichtlich der Verkehrsstärkekarten, Herrn Jörg STRITTMATTER und Herrn Falk WELKER von der Landesanstalt für Umweltschutz Karlsruhe für wertvolle Auskünfte und für die Übermittlung von Daten sowie Herrn Jens BRENNER und Herrn Dr. Marcus STEIERWALD (Akademie für Technikfolgenabschätzung) für wichtige Informationen zum Thema Verkehrsstärke. Des Weiteren danken wir Frau Anna-Katharina PANTLI für die kritische Durchsicht des Textes und hilfreiche Anmerkungen, Herrn Wilfried BAUMANN und Herrn Dr. Dirk HINTERLANG für die freundliche Übermittlung der Daten von Nordrhein-Westfalen zur Berechnung der effektiven Maschenweite (in Abschnitt 4.2.2) und Frau Stephanie GRAU für die Vorabmitteilung der Ergebnisse ihrer aktualisierten Recherche über vorliegende Untersuchungen zu unzerschnittenen Räumen. Frau Angelika KELLER, Frau Ye SHEN und Herrn Marcelo ZARATE danken wir für ihre Mitarbeit beim Digitalisieren der historischen Karten. Die Digitalisierungskosten wurden zu gleichen Teilen von der Akademie für Technikfolgenabschätzung und der Landesanstalt für Umweltschutz sowie zu einem ergänzenden Teil vom Institut für Landschaftsplanung und Ökologie getragen. Der Beitrag von J. Jaeger zu dieser Untersuchung wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens geleistet, welches von der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird (Förderkennzeichen BMBF-LPD 9901/8-27). Des Weiteren geht unser herzlicher Dank an Herrn Prof. Dr. Ortwin RENN und an Herrn Prof. Dr. Giselher KAULE für die Gewährung der Rahmenbedingungen, die das Entstehen der vorliegenden Untersuchung ermöglicht haben.

Heide Esswein
Dr. Jochen Jaeger
Dr. Hans-Georg Schwarz-von Raumer
Manfred Müller

Stuttgart, im Juni 2002

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	4
1.1 Zielerklärungen zur Landschaftszerschneidung in der Politik.....	4
1.2 Landschaftszerschneidung in der Forschung.....	7
1.3 Ziele der Untersuchung.....	11
2 Ist Landschaftszerschneidung messbar?.....	13
2.1 Zum Begriff der „Landschaftszerschneidung“	13
2.2 Bisherige Untersuchungen	14
3 Methode.....	17
3.1 Datenbeschaffung und Verarbeitung	17
3.1.1 Aktuelle Daten.....	17
3.1.2 Historische Daten	18
3.2 Einbezug der Verkehrsstärke	19
3.3 Datenauswertung: Das Zerschneidungsmaß „effektive Maschenweite“ (m_{eff})	23
4 Ergebnisse	29
4.1 Übersicht.....	29
4.2 Ergebnisse für den aktuellen Zustand	29
4.2.1 Gesamtwerte für Baden-Württemberg	29
4.2.2 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen	31
4.3 Untersuchungen zu Teilräumen in Baden-Württemberg	34
4.3.1 Vergleich der vier Regierungsbezirke	35
4.3.2 Vergleich der 44 Kreise.....	36
4.3.3 Vergleich der 66 Naturräume	42
4.4 Historische Entwicklung ohne Einbezug der Verkehrsstärke (Zeitreihen).....	50

4.4.1	Landesweiter Überblick.....	50
4.4.2	Entwicklung in den vier Regierungsbezirken.....	54
4.4.3	Entwicklung in den 44 Kreisen.....	57
4.4.4	Entwicklung in den 66 Naturräumen.....	66
4.5	Historische Entwicklung mit Einbezug der Verkehrsstärke (Zeitreihen).....	79
4.5.1	Landesweiter Überblick.....	79
4.5.2	Entwicklung in den vier Regierungsbezirken.....	81
4.5.3	Entwicklung in den 44 Kreisen.....	85
4.5.4	Entwicklung in den 66 Naturräumen.....	88
5	Ausblick.....	93
	Anhang.....	98
	Literatur	109

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Verhalten von Tieren an einer Straße	9
Abb. 2:	Die sechs Phasen der Landschaftszerschneidung und -fragmentierung, die sich nach geometrischen Kennzeichen unterscheiden lassen	13
Abb. 3:	Hypothetisches Beispiel zur Berechnung der Flächengröße, wenn die Lärmbänder wegen des steigenden Verkehrsvolumens breiter werden.....	22
Abb. 4:	Darstellung des Zerschneidungsgrades für die vier Reg.bez. in Baden-Württemberg	36
Abb. 5a :	Darstellung des Zerschneidungsgrades für die 44 Kreise in Baden-Württemberg (ohne Gemeindestraßen)	40
Abb. 5a :	Darstellung des Zerschneidungsgrades für die 44 Kreise in Baden-Württemberg (mit Gemeindestraßen).....	41
Abb. 6:	Effektive Maschenweite der 44 Kreise von BW um 1998 (m.G.).....	42
Abb. 7a:	Darstellung des Zerschneidungsgrades für die 66 Naturräume in Baden-Württemberg (ohne Gemeindestraßen).....	48
Abb. 7b:	Darstellung des Zerschneidungsgrades für die 66 Naturräume in Baden-Württemberg (mit Gemeindestraßen)	49
Abb. 8:	Effektive Maschenweite der 66 Naturräume von BW um 1998 (m.G.).....	51
Abb. 9:	Zeitreihe zur Entwicklung des Zerschneidungsgrades in Baden-Württemberg, gemessen mit der effektiven Maschenweite	51
Abb. 10:	Flächenveränderungen seit 1930	53
Abb. 11:	Entwicklung des Zerschneidungsgrades, gemessen mit der effektiven Maschenweite, innerhalb der vier Regierungsbezirke (Ebene „o.G.“) von 1930 bis 1998.	54
Abb. 12:	Entwicklung des Zerschneidungsgrades, gemessen mit der effektiven Maschenweite, innerhalb der vier Regierungsbezirke (Ebene „m.G.“) von 1930 bis 1998.	56
Abb. 13a-d:	Entwicklung des Zerschneidungsgrades innerhalb der Landkreise (o.G.)	58/59
Abb. 14a-d:	Entwicklung des Zerschneidungsgrades innerhalb der Landkreise (m.G.)	62/63
Abb. 15:	Prozentuale Abnahme der effektiven Maschenweite innerhalb der 44 Kreise von 1930 - 1998	65
Abb. 16a-f:	Entwicklung des Zerschneidungsgrades innerhalb der Naturräume (o.G.).....	68/70
Abb. 17a-f:	Entwicklung des Zerschneidungsgrades innerhalb der Naturräume (m.G.).....	73/75
Abb. 18:	Prozentuale Abnahme der effektiven Maschenweite innerhalb der 66 Naturräume von 1930 - 1998	78
Abb. 19:	Zeitreihe zur Entwicklung des Zerschneidungsgrades in Baden-Württemberg im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke	81
Abb. 20:	Zeitreihe zur Entwicklung des Zerschneidungsgrades innerhalb der vier Regierungsbezirke, Vergleich mit und ohne Verkehrsstärke	82
Abb. 21:	Unzerschnittene Räume in BW um 1998 unter Einbezug der Verkehrsstärke ab einer Belastung von 10000 KfZ/Tag	83

Abb. 22:	Zeitreihe zur Entwicklung des Zerschneidungsgrades, gemessen mit der effektiven Maschenweite, innerhalb der vier Regierungsbezirke im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke (Ebene „mit Gemeindestraßen“) von 1930 bis 1998.	84
Abb. 23:	Zeitreihe zur Entwicklung des Zerschneidungsgrades, gemessen mit der effektiven Maschenweite, innerhalb der Kreise Böblingen und Stuttgart im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke (Ebene „mit Gemeindestraßen“) von 1930 bis 1998.	85
Abb. 24:	Zeitreihe zur Entwicklung des Zerschneidungsgrades, gemessen mit der effektiven Maschenweite, innerhalb der Naturräume „Freiburger Bucht“ und der „Filder“ sowie den „Hardtebenen“ und der „Neckar-Rheinebene“ im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke (Ebene „mit Gemeindestraßen“) von 1930 bis 1998.	92

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Ergebnisse zur Berechnung der effektiven Maschenweite m_{eff} für Baden-Württemberg: Vergleich unterschiedlicher Zerschneidungsebenen.	30
Tab. 2:	Vergleich verschiedener Untersuchungen zu unzerschnittenen Räumen (UZR).	33
Tab. 3:	Zusammenstellung der Ergebniswerte zur Landschaftszerschneidung für die vier Regierungsbezirke von Baden-Württemberg.	35
Tab. 4:	Zusammenstellung der Ergebniswerte zur Landschaftszerschneidung für die 44 Landkreise in Baden-Württemberg.	38
Tab. 5:	Zusammenstellung der Ergebniswerte zur Landschaftszerschneidung für die 66 Naturräume in Baden-Württemberg.	45
Tab. 6:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung Baden-Württemberg.	51
Tab. 7:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den vier Regierungsbezirken (Ebene „ohne Gemeindestraßen“).	55
Tab. 8:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den vier Regierungsbezirken (Ebene „mit Gemeindestraßen“).	56
Tab. 9:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den 44 Kreisen (Ebene „ohne Gemeindestraßen“).	60
Tab. 10:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den 44 Kreisen (Ebene „mit Gemeindestraßen“).	64
Tab. 11:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den 66 Naturräumen (Ebene „ohne Gemeindestraßen“).	72
Tab. 12:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den 66 Naturräumen (Ebene „mit Gemeindestraßen“).	77
Tab. 13:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg unter Einbezug der Verkehrsstärke durch Verlärmungskorridore.	80

Tab. 14:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den vier Regierungsbezirken im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke (Ebene „ohne Gemeindestraßen“).	82
Tab. 15:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den vier Regierungsbezirken im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke (Ebene „mit Gemeindestraßen“).	84
Tab. 16:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den 44 Landkreisen im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke (Ebene „ohne Gemeindestraßen“).	86
Tab. 17:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den 44 Landkreisen im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke (Ebene „mit Gemeindestraßen“).	87
Tab. 18:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den 66 Naturräumen im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke (Ebene „ohne Gemeindestraßen“).	89
Tab. 19:	Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den 66 Naturräumen im Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke (Ebene „mit Gemeindestraßen“).	91

Kartenbeilage

Karte 1.1	Straßen, Schienen und Siedlungen um 1930
Karte 1.2	Unzerschnittene Räume in BW um 1930
Karte 2.1	Straßen, Schienen und Siedlungen um 1966
Karte 2.2	Unzerschnittene Räume in BW um 1966
Karte 3.1	Straßen, Schienen und Siedlungen um 1977
Karte 3.2	Unzerschnittene Räume in BW um 1977
Karte 4.1	Straßen, Schienen und Siedlungen um 1989
Karte 4.2	Unzerschnittene Räume in BW um 1989
Karte 5.1	Straßen, Schienen und Siedlungen um 1998
Karte 5.2	Unzerschnittene Räume in BW um 1998
Karte 6	Gewässernetz

Zusammenfassung

Zerschneidung und Zersiedelung von Landschaften gelten als wesentliche Ursachen des Besorgnis erregenden Artenverlustes in Mitteleuropa. Zudem haben sie Auswirkungen für Bodengefüge und Bodenbedeckung, Wasserhaushalt, Immissionsbelastung, Kleinklima, Landschaftsbild und Erholungswert sowie für die Landnutzung. Obwohl die deutsche Bundesregierung in der Bodenschutzkonzeption von 1985 eine „Trendwende im Landverbrauch“ zu ihrem Ziel erklärt hat und die Erhaltung großer unzerschnittener, verkehrsarmer Räume als ein zentraler Grundsatz der Raumordnung und Landschaftsplanung gilt, hat die Landschaftszerschneidung in den letzten 17 Jahren weiter deutlich zugenommen. Umso mehr besteht die Notwendigkeit, vergleichbare Daten über den Anstieg und den aktuellen Zustand der Landschaftszerschneidung zur Verfügung zu stellen – insbesondere im Vergleich von landschaftsbezogenen Raumkategorien (z.B. Naturräume und Räume besonders hoher Zerschneidungsempfindlichkeit) – um dadurch eine Grundlage für planerische und politische Zielfestlegungen und Maßnahmen zu schaffen.

Von allen Untersuchungen zur Messung der Landschaftszerschneidung, welche je für ein deutsches Bundesland erstellt worden sind, zählt die vorliegende Studie zu den genauesten – vergleichbar mit den Analysen der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten in Nordrhein-Westfalen (BAUMANN und HINTERLANG 2001) und des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie in Mecklenburg-Vorpommern (1999) – und hat das größte zeitliche Untersuchungsfenster (1930 bis 1998). Zudem ist sie die erste Studie, die den Beitrag des steigenden Verkehrsaufkommens zur Landschaftszerschneidung einbezieht.

Die räumliche Differenzierung erfolgt in der vorliegenden Untersuchung nach den vier Regierungspräsidien, den 44 Landkreisen und den 66 Naturräumen. Verglichen werden die Ergebnisse jeweils für die beiden Varianten mit bzw. ohne Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen und für die zwei Anwendungsweisen des „Ausschneideverfahrens“ und des „Mittelpunktverfahrens“ (für den aktuellen Zustand; siehe Abschnitt 4.3).

Die **Hauptergebnisse** sind:

- (1) *Baden-Württemberg ist weit stärker zerstückelt, als es die Ergebnisse früherer Untersuchungen (BfN 1999, SCHUMACHER und WALZ 2000, GAWLAK 2001) aufgezeigt haben.* Die effektive Maschenweite für ganz Baden-Württemberg beträgt $m_{\text{eff}} = 20,24 \text{ km}^2$ (ohne Gemeindeverbindungsstraßen). Mit Einbezug der Gemeindeverbindungsstraßen sinkt die effektive Maschenweite um 32% ab, auf $m_{\text{eff}} = 13,66 \text{ km}^2$ (JAEGER et al. 2001).

Am stärksten zerschnitten sind die Landkreise Mannheim, Stuttgart, Ulm, Karlsruhe (Stadt), Pforzheim, Ludwigsburg, Heilbronn (Stadt), der Enzkreis, Konstanz, Heidelberg (Stadt) und der Bodenseekreis. Die Werte der effektiven Maschenweite für die einzelnen Landkreise liegen auf der Betrachtungsebene *ohne* Gemeindeverbindungsstraßen zwischen 46,13 km² im Ortenaukreis und 2,09 km² im Kreis Mannheim, unter Einbezug der Gemeindeverbindungsstraßen ergeben sich Werte zwischen 30,26 km² (Ortenaukreis) und 1,63 km² (Kreis Stuttgart). Bei den Naturräumen hat die effektive Maschenweite Werte zwischen 71,86 km² *ohne* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen (bzw. 66,14 km² *mit* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen) im Naturraum „Gründenschwarzwald und Enzhöhen“ und 1,2 km² *ohne* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen (bzw. 0,78 km² *mit* Gemeindeverbindungsstraßen) im Hochrheintal.

Die Zahl der noch verbliebenen unzerschnittenen Räume (UZR) >100 km² in Baden-Württemberg beträgt **acht** *ohne* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen (insgesamt 1109 km², entsprechend 3,1% der Landesfläche) und **sechs** *mit* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen (752 km² = 2,1% der Landesfläche). Für die verbliebenen UZR >50 km² resultiert eine Anzahl von **40** *ohne* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen (3209 km² = 9,0% der Landesfläche) und von **22** *mit* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen (1880 km² = 5,3% der Landesfläche).

- (2) *Die Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg hat seit 1930 stark zugenommen und nimmt weiter zu.* (Die folgenden Angaben gelten *ohne* den Einbezug des *Anstiegs des Verkehrsaufkommens*.) Die effektive Maschenweite ist **von 31,60 km²** im Jahr 1930 **um 36%** auf **heute 20,24 km²** geschrumpft (*ohne* Gemeindeverbindungsstraßen). *Mit* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen ist die effektive Maschenweite sogar **um 40% von 22,92 km²** im Jahr 1930 auf **heute 13,66 km²** verkleinert worden (JAEGER et al., *in Vorb.*). Besonders stark verringert, **um mehr als 60%**, wurde die effektive Maschenweite in den *Landkreisen* Ulm, Karlsruhe/Stadt, Heilbronn/Stadt, Stuttgart und Göppingen sowie in den *Naturräumen* „Hardtebenen“, „Stuttgarter Bucht“, „Hessische Rheinebene“, „Neckar-Rheinebene“, „Mittleres Albvorland“, in der „Baar“ und auf den „Fildern“ *ohne* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen (bzw. in den *Kreisen* Ulm, Karlsruhe/Stadt und Göppingen sowie in den *Naturräumen* „Neckar-Rheinebene“, „Marktheidenfelder Platte“ und „Mittelfränkisches Becken“ unter Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen). Freudenstadt ist der einzige Landkreis, für den die Abnahme der effektiven Maschenweite bei beiden Werten (mit/ohne Gemeindeverbindungsstraßen) weniger als 10% beträgt.

Die Zahl der unzerschnittenen Räume (UZR) $> 100 \text{ km}^2$ ist **von 17** im Jahr 1930 ($2369 \text{ km}^2 = 6,6\%$ der Landesfläche) auf heute **acht** ($1109 \text{ km}^2 = 3,1\%$ der Landesfläche) reduziert worden (*ohne* Gemeindeverbindungsstraßen). *Mit* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen ist die UZR-Anzahl **von 11** im Jahr 1930 ($1497 \text{ km}^2 = 4,2\%$) auf heute **sechs** gesunken ($752 \text{ km}^2 = 2,1\%$). Für die Zahl der UZR $> 50 \text{ km}^2$ sieht der Trend ähnlich aus: Rückgang **von 83** im Jahr 1930 ($6703 \text{ km}^2 = 18,7\%$) auf heute **40** ($3209 \text{ km}^2 = 9\%$) *mit* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen und **von 52** ($4067 \text{ km}^2 = 11,8\%$) im Jahr 1930 auf heute **22** ($1880 \text{ km}^2 = 5,3\%$ der Landesfläche) *ohne* Berücksichtigung der Gemeindeverbindungsstraßen. Flächenmäßig bedeutet dies eine Reduktion der UZR **um 50 bis 54%** innerhalb von 70 Jahren.

- (3) Die Zunahme der Verkehrsstärke auf den Straßen hat für viele Tierarten eine schleichend steigende Lebensraumeinbuße in Form von breiteren Störungsbändern entlang der Verkehrsstrecken zur Folge. Auch die Verlärmung von Erholungsräumen ist mit höherer Verkehrsstärke weitreichender. Keine der bisherigen Studien hat diesen wichtigen Einfluss des zunehmenden Verkehrsaufkommens einbezogen. Die Berücksichtigung der Verlärmungsbänder in Anlehnung an die Methode von REIJNEN et al. (1995b) führt zu einer weiteren Reduktion der effektiven Maschenweite auf einen Wert, der schon 1989 bei $13,34 \text{ km}^2$ (mit Gemeindestraßen) bzw. $19,40 \text{ km}^2$ (ohne Gemeindestraßen) liegt. Diese Werte liegen bereits um **2,3%** bzw. **4,2 %** unterhalb der Werte für 1998 (ohne Verkehrsstärke). Innerhalb der Teilräume schwankt der Rückgang stark und beträgt bei den Regierungsbezirken bis zu **5,8%** (mit Gemeindestraßen) bzw. **6,1%** (ohne Gemeindestraßen) im Regierungsbezirk Stuttgart, bei den Landkreisen bis zu **50%** (mit Gemeindestraßen) bzw. **56%** (ohne Gemeindestraßen) im Kreis Mannheim und bei den Naturräumen bis zu **62%** (mit Gemeindestraßen) bzw. **68%** (ohne Gemeindestraßen) im Naturraum Hessische Rheinebene. (Alle diese Werte beziehen sich auf einen Vergleich der m_{eff} -Werte von 1989 mit Verkehr mit denen von 1998 ohne Verkehr).

Um die Datengrundlage zu verbessern, die angestrebte „Trendwende im Landverbrauch“ einzuleiten und europaweite Zielvereinbarungen zu entwickeln, ist eine Ausweitung der Erhebung auf andere Bundesländer (möglichst bundesweit) sowie auf andere EU-Länder nach der gleichen Methode empfehlenswert. Derzeit verbreitert sich die Kluft zwischen politischen Absichtserklärungen und der ihnen entgegen laufenden realen Entwicklung. Eine Änderung dieses negativen Trends erfordert Änderungen in der Verkehrspolitik und in der Siedlungspolitik.

1 Einleitung

Vor zwölf Jahren veröffentlichte der Luftbildfotograf Albrecht Brugger ein Buch mit dem Titel „Baden-Württemberg - Landschaft im Wandel. Eine kritische Bilanz in Luftbildern aus 35 Jahren“ (BRUGGER 1990). Der Band zeigt durch zahlreiche Bildvergleiche, wie stark die Ausbreitung von Wohn- und Gewerbegebieten und der Bau von Verkehrsstrecken die Landschaften in Baden-Württemberg innerhalb einer Generation überprägt haben und weiterhin prägen. Die Aufnahmen belegen, dass es sich hier nicht um eine punktuelle Erscheinung, sondern um eine *flächendeckende* menschliche Einflussnahme handelt.

Bis heute sind erst sehr wenige Daten erhoben worden zur Frage, wie hoch die Landschaftszerschneidung tatsächlich ist und wie schnell sie zunimmt. Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) hat das Ausmaß des Trends mit Hilfe der Zahl der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume größer als 100 Quadratkilometer (UZV-R) abgeschätzt (LASSEN 1987, 1990, BfN 1999, GAWLAK 2001). (Flächen kleiner als 100 Quadratkilometer wurden nicht einbezogen.) Das Ergebnis belegt für die alten Bundesländer einen Rückgang von 349 im Jahre 1977 über 296 im Jahr 1987 auf derzeit 225. Dies bedeutet einen Verlust des Flächenanteils der UZV-R, bezogen auf die Gesamtfläche, von 22,7% (1977) auf 18,6% (1987) innerhalb von 10 Jahren und auf 14,2% (1998) innerhalb von 20 Jahren.⁵ Die Landschaftszerschneidung nimmt also weiterhin stark zu, eine Verlangsamung ist nicht erkennbar.

Die Literaturrecherche zum Thema Biodiversität und speziell zu den Auswirkungen der Zerschneidung von Landschaften und der Fragmentierung von Lebensräumen zeigt, dass es hierzu zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten gibt (s.u.). Auch wird diese Problematik immer wieder in der Politik angesprochen. Bis heute sind jedoch erst sehr wenige konkrete Handlungsempfehlungen in die Planung umgesetzt worden. Auch hierfür kann der vorliegende Bericht einige Anstöße geben.

1.1 Zielerklärungen zur Landschaftszerschneidung in der Politik

Beispiele für die politischen Ziele, die bereits in der Vergangenheit formuliert wurden, sind:

- In der Bodenschutzkonzeption von 1985 erklärt die deutsche Bundesregierung eine „Trendwende im Landverbrauch“ zu ihrem Ziel. Die vorgesehenen Maßnah-

⁵ Zwar wurden 1999 teilweise andere Abgrenzungskriterien verwendet, die Unterschiede fallen jedoch gegenüber der Trendentwicklung kaum ins Gewicht.

men umfassen die „Reduzierung des Verkehrsflächenbedarfs im städtischen Umland durch *Trendumkehr bei der Zerschneidung und Zersiedlung der Landschaft*“ und die Bewahrung von „Landschaften mit naturnahen Bodennutzungen vor weiteren Zerschneidungen durch Verkehrswege und Leitungssysteme sowie vor Bebauung“ (Bundesminister des Innern 1985: 96 u. 108).

- Die Arbeitsgruppe „Umwelt und Verkehr“ der Umweltministerkonferenz empfiehlt 1991 „keine weitere Zerschneidung von Naturräumen“. Dieser Vorschlag ist großenteils in den Forderungen nach „Erhaltung großer unzerschnittener und verkehrsarmer Räume“ und „Freihaltung von wertvollen Landschaftsräumen von überörtlichen Verkehrswegen“ im Handlungskonzept „Naturschutz und Verkehr“ enthalten, welches die 39. Umweltministerkonferenz 1992 als Grundlage beschließt, „um hieraus gemeinsame Initiativen in Gesprächen mit den Raumordnungs- und Verkehrsministern zu entwickeln“ (LANA 1995).
- 1997 betont die Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages abermals die Notwendigkeit des *Flächensparens* bei der Siedlungsentwicklung. Sie formuliert das Umwelthandlungsziel einer „Entkoppelung des Flächenverbrauchs von Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum“. Als quantitative Zielvorgabe schlägt sie die Verringerung der Flächeninanspruchnahme bis zum Jahr 2010 auf 10 Prozent der Rate vor, die für die Jahre 1993 bis 1995 festgestellt wurde (Deutscher Bundestag 1997).

Trotz mehrerer weiterer Anläufe, den Anstieg der Landschaftszerschneidung aufzuhalten, haben Landschaftsverbrauch und Landschaftszerschneidung unvermindert weiter zugenommen (BfN 1999, JAEGER 1999). Zudem fehlt nach wie vor eine Zielvorgabe für eine Begrenzung der *Zerschneidung*. Auch in der kürzlich verabschiedeten „Nachhaltigkeitsstrategie“ der Bundesregierung finden sich keine Zielvorgaben und keine konkreten Maßnahmen zum Schutz vor weiteren Zerschneidungen. Der Text betont zutreffend: „in ländlichen Regionen ist die Erhaltung von unzerschnittenen landschaftlichen Freiräumen von besonderer Bedeutung“ (Die Bundesregierung 2002: 291), geht aber nicht darüber hinaus. Insgesamt bleibt der Text damit noch hinter den Aussagen der Bodenschutzkonzeption von 1985 zurück.

Die Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ konstatiert in ihrem Abschlussbericht von 1998, dass in Deutschland eine „schon ansatzweise erkennbare Zersiedelung mit erheblichen Qualitätsverlusten für Freizeit, Naturschutz und ggf. auch das Wohnen“ droht. Die Flächeninanspruchnahme müsse „als ein strukturelles gesellschaftliches Problem angesehen werden“ (Deutscher Bundestag 1998: 264).

Das Bundesumweltministerium stellt fest, dass „die Flächenzerschneidung durch Verkehrswege die Lebensräume bedrohter Tier- und Pflanzenarten beeinträchtigt und

zum Rückgang der biologischen Vielfalt beiträgt“ (Bundesumweltministerium 1997: 53), und zeigt in seinem Bericht „*Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland*“ verschiedene Strategien für eine Veränderung dieser Situation auf. Mit dem Handlungsansatz zur Verwirklichung einer umweltschonenden Mobilität soll eine Verringerung der Flächeninanspruchnahme im Verkehrswegebau erreicht werden. Ziele sind eine Minimierung der zusätzlichen Flächeninanspruchnahme und eine bessere Ausnutzung der vorhandenen Infrastruktur mit der Unterstützung elektronischer Verkehrsleitsysteme (Bundesumweltministerium 1997: 54).

Jüngst weist auch der Raumordnungsbericht 2000 warnend auf die unerwünschten Folgen der steigenden Zersiedlung und Suburbanisierung in Deutschland hin (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2000).

All diese Erkenntnisse und Beteuerungen haben jedoch nicht zu der angestrebten Trendwende geführt. Die Resultate der Untersuchungen des BfN sowie dieses Arbeitsberichtes zeigen, dass die bisherigen Absichtserklärungen und Maßnahmen kaum eine Wirkung hatten und neue, besser greifende Maßnahmen dringend nötig sind. Dennoch ist dieses Problem bisher auf der politischen Tagesordnung nur selten mit hoher Priorität behandelt worden. In den sehr dicht besiedelten Niederlanden mit 445 Einwohnern pro km² (gegenüber 230 E/km² in Deutschland) hingegen diskutieren und bearbeiten Wissenschaft und Politik die Folgeprobleme des dichten Verkehrsnetzes und mögliche Gegenmaßnahmen seit den 80er Jahren mit deutlich mehr Nachdruck als in Deutschland, vgl. z.B. die zahlreichen Beiträge niederländischer Autoren in SCHREIBER (1988) sowie UDO DE HAES und CANTERS (1988), VAN BOHEMEN et al. (1994), CUPERUS et al. (1996), CANTERS (1997), VAN DER GRIFT (1999) und KRÜGER (2000).

Um dieses Problem stärker zu thematisieren, setzte sich im August 2001 ein Workshop der NABU-Akademie Gut Sunder (Niedersachsen) mit dem Thema „*Anforderungen an ein nationales Entscheidungskonzept*“ auseinander. Das Ergebnis dieses Treffens ist, dass Experten aus unterschiedlichen Fachbereichen eine Strategie zur Umsetzung eines Entscheidungskonzeptes erarbeiten werden. Ein erster Schritt ist das Positionspapier „*Biotopverbund durch Wildtierkorridore*“, das von NABU, Jagdverband (DJV) und WWF erstellt wurde, um die Lösung dieser Problematik auf politischer Ebene voran zu bringen.

Die Delegiertenversammlung des Deutschen Jagdschutz-Verbandes (DJV) hat im Oktober 2001 ein Positionspapier mit dem Titel „*Zerschneidung der Landschaft und von Lebensräumen wildlebender Tiere*“ („Konstanzer Erklärung“; <http://www.entscheidung.de>) veröffentlicht. Darin fordern die Delegierten die Berücksichtigung von Wildtierkorridoren in der Planung und die Sanierung von Verkehrswegen für eine höhere Durchlässigkeit für Wildtiere im Rahmen eines „*Entscheidungsprogramms*“. Im März 2001 trafen sich über hundert Vertreterinnen und Vertreter aus

den Bereichen Straßenbau, Bahn, Jagdwesen, Forst, Wildbiologie und Naturschutz aus Deutschland, der Schweiz und Österreich in Überlingen am Bodensee zur 2. Akademie-Kongresstagung über Grünbrücken. Auf dieser Tagung (dem 6. baden-württembergischen Biotopschutzkongress), die gemeinsam von der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg (Umweltakademie), dem Landesjagdverband Baden-Württemberg und der Wildforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg veranstaltet wurde, verabschiedeten die Versammelten eine gemeinsame Resolution mit dem Titel „Querungshilfen über Verkehrswege: Auswege für wandernde Tierarten“ („Überlinger Erklärung“; <http://www.lnv-bw.de/info01-08.htm>). Darin fordern sie eine bundesweite Analyse von Wildtierwanderwegen sowie die Prüfung bestehender Bauwerke auf ihre Durchlässigkeit, ihre wildökologische Bedeutung und ihre Nachrüstbarkeit für Querungshilfen.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) empfiehlt in einem ganzseitigen Zeitungsartikel in der FAZ (von 21.04.2001) politische Instrumente (wie handelbare Flächenverbrauchsrechte), um dem Problem der Zersiedelung Einhalt zu gebieten: „Die Inanspruchnahme von Flächen durch Siedlung, Industrie, Gewerbe und Verkehr hat in unserem dicht be- und stark zersiedelten Land ein Ausmaß erreicht, bei dem ökologisch sensible und wichtige Gebiete erheblich und in großem Umfang beeinträchtigt werden. Zudem wird die Fortsetzung dieser Entwicklung bald zu schweren, größtenteils irreversiblen Umweltschädigungen führen. Damit drohen viele Bemühungen um nachhaltigen Natur-, Arten- oder Gewässerschutz oder um die Erhaltung wichtiger Natur- und Lebensräume Makulatur zu werden“ (FAZ 2001).

Nicht zuletzt ist auch ein Umdenken in der Bevölkerung erforderlich. Solange der Bau von Gewerbegebieten „auf der grünen Wiese“ und der Bau von Eigenheimen im Grünen vorangetrieben werden, die zu einem dispersen Siedlungswachstum führen und lange Anfahrtswege zum Einkaufen und zur Arbeit erforderlich machen, wird eine Trendwende im Landverbrauch und in der zerschneidenden Wirkung der Verkehrsströme kaum möglich sein.

1.2 Landschaftszerschneidung in der Forschung

Die Folgen der Landschaftszerschneidung betreffen nicht nur die Tier- und Pflanzenwelt (z.B. Fragmentierung und Isolation von Habitaten), sondern umfassen sechs weitere Problemfelder: Bodenverdichtung und -versiegelung, Veränderungen des Kleinklimas, Immissionen (Lärm, Abgase, Streusalz etc.), Wasserhaushalt, Landschaftsbild und Erholungsqualität sowie Folgen für die Landnutzung. Die Erhöhung der verkehrsgebundenen Mobilität und die damit einhergehende Verkleinerung und Verlärmung von Erholungsräumen führt zu einem Verlust an Lebensqualität.

Jeden Tag werden in Deutschland 129 ha (in Baden-Württemberg 9,6 ha) Fläche neu beansprucht und zum Teil versiegelt. Das entspricht einer Fläche von mehr als 150 Fußballfeldern (für Baden-Württemberg 12 Fußballfelder) (FAZ 2001). Die Zunahme der Länge überörtlicher Straßen in den letzten 40 Jahren beträgt allein für Baden-Württemberg mehr als 3600 km (KIRCHBACH 1998: 55). Was diese Zahlen für die Abnahme der effektiven Lebensraumgröße in den Landschaften Baden-Württembergs bedeuten, erörtert der vorliegende Bericht.

Eine umfangreiche Literaturstudie zu Auswirkungen über Straßen auf Tiere haben GLITZNER et al. (1999) erstellt. Diese Studie zeigt auf, wie viel und welche Forschung auf diesem Gebiet bisher geleistet wurde. Es werden direkte Wirkungen (Kollision mit Fahrzeugen) und indirekte Wirkungen (Verlust und Zerschneidung von Lebensraum) auf fünf Tiergruppen (Kleinsäuger/mittelgroße und große Säuger, jagdbares Wild, Vögel, Amphibien/Reptilien, Wirbellose) beschrieben. Soweit es möglich ist, wird nach unterschiedlichen Straßenkategorien und Verkehrsstärken unterschieden. Hier besteht ein Bedarf nach weiteren Untersuchungen. Die Autorinnen und Autoren verdeutlichen, dass Straßen für zahlreiche Tiergruppen eine unüberwindbare Barriere darstellen und dass fast alle Tiergruppen durch die Straßen beeinträchtigt werden. Die Stärke der Beeinträchtigung schwankt hinsichtlich der Tierart, der Straßenbreite, der Bauart der Straße und der Verkehrsstärke. Die gravierendsten Auswirkungen ergeben sich, wenn alle Individuen einer Population betroffen sind, Mindestbedarfsflächen (Minimalareale) unterschritten werden oder der betroffene Biotop essentieller Teillebensraum ist (RECK und KAULE 1993, zitiert nach GLITZNER et al. 1999; HOLZGANG et al. 2000).

Die internationale Forschungsaktivität darüber, wie sich die Zerteilung und Verkleinerung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen auswirken, hat in den letzten vier Jahren stark zugenommen. Auffällig ist dabei, dass die wissenschaftlichen Ergebnisse überwiegend von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den Niederlanden und aus den USA publiziert werden, während die deutschsprachigen Länder erst relativ schwach vertreten sind. STAUCH und KAULE (1999: 95) kommen zu dem Schluss: „Die Flächenzerschneidung, d.h. Beeinträchtigung von Lebensräumen durch Störung und Barrierewirkungen, kann als die wichtigste negative Umwelteinwirkung betrachtet werden. Diese wird aber in der heutigen Forschungslandschaft immer noch viel zu wenig betrachtet, obwohl der Schutz un bebauter Bereiche sogar im Bundesnaturschutzgesetz erwähnt wird“.⁶

⁶ Im Wortlaut der neuen Fassung: „Unbebaute Bereiche sind wegen ihrer Bedeutung für den Naturhaushalt und für die Erholung insgesamt und auch im Einzelnen in der dafür erforderlichen Größe und Beschaffenheit zu erhalten. Nicht mehr benötigte versiegelte Flächen sind zu renaturieren oder, soweit eine Entsiegelung nicht möglich oder nicht zumutbar ist, der natürlichen Entwicklung zu überlassen“ (BNATSCHG § 2(1) Ziff. 11). In Ziffer 12 heißt es explizit: „Verkehrswege, Energieleitungen und ähnliche Vorhaben sollen so zusammengefasst werden, dass die Zerschneidung und der Verbrauch von Landschaft so gering wie möglich gehalten werden.“

Für viele Tiere endet die Überquerung einer Straße (v.a. von größeren, viel befahrenen Straßen) tödlich. Zahlreiche Tierarten meiden die Straße generell, d.h. auch unabhängig von der Verkehrsstärke („Zauneffekt“), da sie auf der Straße keine Deckung finden und daher von ihren natürlichen Feinden leichter gesehen werden. Beide Effekte tragen zur Barrierewirkung von Straßen bei (Abb. 1). Auch für Pflanzen, die sich nicht durch den Wind verbreiten, sondern auf den Samentransport

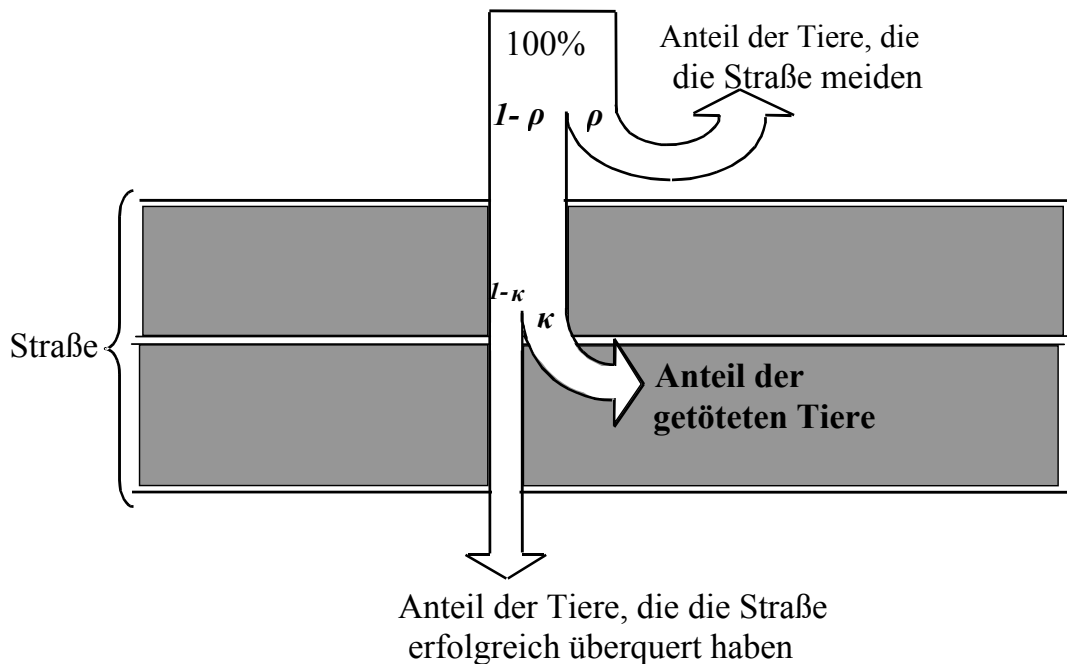


Abb. 1: Verhalten von Tieren an einer Straße: Ein bestimmter Prozentsatz meidet die Straße ($0 < \rho < 1$) („Zauneffekt“), ein gewisser Anteil der Tiere, die einen Überquerungsversuch machen, wird durch Fahrzeuge getötet ($0 < \kappa < 1$). Eine erfolgreiche Überquerung der Straße gelingt lediglich dem Anteil $(1-\rho)(1-\kappa)$. Die Werte von ρ und κ sind von der Tierart, der Art der Straße und dem Verkehrsaufkommen abhängig (aus JAEGER und FAHRIG 2002: 299).

durch Tiere angewiesen sind, können Straßen zu Grenzen der Ausbreitung werden (BAUR und ERHARDT 1995). Einen ähnlichen Effekt haben die Trassen der Hochgeschwindigkeitszüge sowie ausgebaute Flüsse, wobei Flüsse bzw. Kanäle lediglich eine Ausbreitungsbarriere für viele Tierarten darstellen,⁷ selber jedoch keine Immissionen in die verbleibenden Flächen abgeben. Bei den anderen Zerschneidungselementen (Straßen und Schienen) wirken zusätzlich noch Lärm- und Schadstoffemissionen auf die Tier- und Pflanzenwelt ein, wodurch der Zerschneidungseffekt verstärkt wird. Werden die zwischen den Barrieren verbleibenden Lebensräume zu

⁷ Der Überquerungsversuch kann selbst für Wildschweine tödlich enden, wenn die Ufer steilwandig befestigt sind, so dass die Tiere nicht auf das Ufer gelangen können.

klein, können Tiere und manche Pflanzen nicht mehr auf Dauer überleben, da ihre Populationen zu klein werden (Inzuchteffekte, höheres Extinktionsrisiko). Auch erholungsuchende Menschen haben kein Erholungsempfinden in einem Gebiet, in dem eine ständige Lärmbelastung wahrzunehmen ist. Um eine von Hauptverkehrsströmen unberührte Tageswanderung durchzuführen, setzt LASSEN (1987) eine Flächengröße von mindestens 100 km² an.

Stark betroffen durch den Straßentod sind Amphibien und Reptilien, aber zum Teil auch Wirbellose (Insekten, Schnecken und Spinnentiere). Diese Tiergruppen sind nicht nur dadurch gefährdet, dass die Straße ihren Lebensraum verkleinert, sondern zusätzlich dadurch, dass das spezielle Kleinklima der Straße anziehend auf die Tiere wirkt. Die wechselwarmen Reptilien nutzen den warmen Straßenkörper als Aufwärmplatz, können aber bei nasser Fahrbahn auch schnell erfrieren. Insekten werden durch Straßenlaternen angezogen und verenden dann oftmals an den Windschutzscheiben. Für Säugetiere wird die Straße vor allem bei jahreszeitlich bedingten Wechseln des Lebensraumes ein lebensgefährdendes Hindernis. Kleinsäuger wie Mäuse geraten auf die Straße und benutzen diese als Leitlinie. Ein steiler Bordstein kann für sie unüberwindbar sein. Auch Vögel werden von Straßen beeinträchtigt. Verläuft eine Straße auf einem Damm, so ist die Überflughöhe verringert und eine Kollision mit einem Fahrzeug häufig. Verkehrslärm verursacht Veränderungen im Brutverhalten der Tiere. REIJNEN et al. (1995a) ermittelten z.B. bei der Lerche einen Populationsrückgang von 50% in einem Streifen von 100 m beidseits der Fahrbahn bei einem Verkehrsaufkommen von 5000 Kfz/Tag (bei 50000 Kfz/Tag sogar einen Rückgang von ca. 70%).

Wichtige Übersichtsartikel zu den Wirkungen von Straßen sind die Arbeiten von SPELLERBERG (1998), GLITZNER et al. (1999), TROMBULAK und FRISSELL (2000), HOLZGANG et al. (2000), UNDERHILL und ANGOLD (2000), LODÉ (2000) und CARR et al. (2002).

Die Schweizerische Vogelwarte Sempach hat im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr in Bonn einen umfangreichen Bericht über die Wirksamkeit von Grünbrücken erstellt (PFISTER et al. 1997). Bei richtiger Platzierung und Bauweise von Grünbrücken und Amphibien- bzw. Kleintiertunnels ist eine Akzeptanz durch Tiere gewährleistet. Damit jedoch diese Maßnahmen nicht nur bei zukünftigen Planungen berücksichtigt werden, sondern auch bestehende Barrieren wieder aufgehoben werden, bedarf es einer Integration dieser Thematik in die öffentlichen Planungen (HUTTER et al. 2001). Wie ein solches Programm funktionieren kann, zeigen die Niederlande mit Ihrem Projekt „Ontsnippering“ („Entschneidung“) (BEKKER 1997).

Aktivitäten innerhalb Deutschlands zu diesem Thema gibt es beispielsweise in Mecklenburg-Vorpommern. Hier hat das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie eine Karte der „Landschaftlichen Freiräume in Mecklenburg-

Vorpommern“ erstellt (Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie M.-V. 1999). In Nordrhein-Westfalen wurde eine Karte der „Unzerschnittenen Landschaftsräume in NRW“ von der dortigen Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten erarbeitet (BAUMANN und HINTERLANG 2001).

Auf Verwaltungsebene arbeitet derzeit die Projektgruppe „Unzerschnittene Landschaftsräume/landschaftliche Freiräume“ an einem Grundsatzpapier für die Fachdiskussion in der LANA (Länderarbeitsgemeinschaft für Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung).

Die „Ökologische Flächenstichprobe“ des Statistischen Bundesamtes soll ebenfalls den Zerschneidungsgrad von Landschaften mit einbeziehen (<http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm1998/zerschn3.htm>).

Bisher völlig unterrepräsentiert sind die Erforschung und der Schutz der über Jahrhunderte langsam gewachsenen Kulturlandschaften mit ihren historischen Landschaftselementen, die für diese Landschaften typisch sind.⁸ Sie sind prägend für das landschaftliche Erscheinungsbild Mitteleuropas und haben trotz des Verlustes der großen Säugetierarten im Durchschnitt eine höhere Biodiversität als die ursprüngliche waldbedeckte Landschaft. Solche Kulturlandschaften sind in den erst seit kurzem agrarisch genutzten Regionen der Welt wie den USA oder Kanada kaum zu finden. Dieser hohe kulturelle und biologische Wert ist in Mitteleuropa in den vergangenen Jahrzehnten flächendeckend tiefgreifend umgestaltet, nivelliert und degradiert worden (EWALD 2001). Lediglich Restbestände der historischen Landschaftselemente wie Hufenfluren und Hohlwege sind heute noch vorhanden. Die Landschaftszerschneidung ist ein wesentlicher Faktor, der beschleunigend zu dieser Entwicklung beiträgt.

1.3 Ziele der Untersuchung

Als Grundlage für planerische Zielfestlegungen, deren Erreichen oder Verfehlen eindeutig nachprüfbar ist, benötigt man geeignete Daten über den aktuellen Zustand der Landschaftszerschneidung sowie möglichst auch im historischen Vergleich und im Vergleich von landschaftsbezogenen Raumkategorien. Konkret benötigt werden solche Daten zugleich als Nachhaltigkeitsindikatoren wie im periodisch erscheinenden Indikatorkatalog des *Statusberichts „Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg“* der Akademie für Technikfolgenabschätzung (RENN et al. 2000a, 2000b), im Umweltbericht der baden-württembergischen Landesanstalt für

⁸ Im neuen Bundesnaturschutzgesetz wird die historische Kulturlandschaft ausdrücklich angesprochen: „Historische Kulturlandschaften und -landschaftsteile von besonderer Eigenart, einschließlich solcher von besonderer Bedeutung für die Eigenart oder Schönheit geschützter oder schützenswerter Kultur-, Bau- und Bodendenkmäler, sind zu erhalten.“ (BNATSCHG § 2(1) Ziff. 14).

Umweltschutz und im geplanten Projekt zur Aufstellung räumlich differenzierter Nachhaltigkeitsindikatoren am Institut für Landschaftsplanung und Ökologie (ILPÖ) der Universität Stuttgart. Die Daten können als *proxy measures* dienen im Sinn von relativ hoch aggregierten Messgrößen für die Abschätzung von Umweltbelastungen, indem sie eine Reihe verschiedener Belastungsfaktoren zusammenfassen und die grobe Entwicklungsrichtung der Umweltbelastung erkennbar machen (BERG und SCHERINGER 1994). Der Zerschneidungsgrad hat eine Indikatorfunktion für die Gefährdung der Biodiversität durch die Lebensraumzerstückelung. Der Bedarf nach solchen Größen wird vor allem in der internationalen Literatur zur Landschaftsökologie und zur Abschätzung und Bewertung von Umweltrisiken betont (z.B. TURNER und GARDNER 1991, GEOGHEGAN et al. 1997). Der Zerschneidungsgrad hat wegen der Vielzahl der umweltbelastenden Folgen und ihres kumulativen Charakters eine starke normative Bedeutung als ein Bewertungskriterium (vgl. ausführlich JAEGER 2002). Zur Quantifizierung des Zerschneidungsgrades wurde an der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Kooperation mit der ETH Zürich die neue Messgröße „effektive Maschenweite“ entwickelt (JAEGER 1999, 2000a, D. MÜLLER et al. 1998; Abschnitt 3.3).

Der vorliegende Arbeitsbericht zielt auf eine Übersicht und auf den Vergleich des Zerschneidungsgrades in den verschiedenen Naturräumen einerseits und den politisch abgegrenzten Gebieten (Regierungsbezirke und Landkreise) andererseits:

1. Welche Räume sind am stärksten, welche am geringsten zerschnitten?
2. Wie groß ist die Spannweite des erfassten Zerschneidungsgrades?
3. Welche „Rangfolge“ der Räume ergibt sich? An welcher Stelle positionieren sich ausgewählte Naturräume wie z.B. Kaiserstuhl, Baar oder Kraichgau im Vergleich zu den übrigen Naturräumen?
4. Wie stark ändern sich die Ergebnisse, wenn die Gemeindeverbindungsstraßen ausgeklammert bzw. einbezogen werden?
5. Welchen Einfluss hat die Wahl der Grenzen des betrachteten Gebietes auf den ermittelten Zerschneidungsgrad?
6. Wie stark ändern sich die Ergebnisse, wenn der Anstieg des Verkehrsaufkommens in die Betrachtung mit einbezogen wird?

2 Ist Landschaftszerschneidung messbar?

Nachdem Kapitel 1 die Auswirkungen der Landschaftszerschneidung und die Wahrnehmung in Politik und Öffentlichkeit dargelegt hat, beleuchtet Kapitel 2 den Begriff „Landschaftszerschneidung“ aus wissenschaftlicher Sicht und spricht verschiedene Methoden an, um den Grad der Zerschneidung einer Landschaft auf einfache Weise zu messen.

2.1 Zum Begriff der „Landschaftszerschneidung“

Darüber, was der Begriff „Landschaftszerschneidung“ beschreiben soll, besteht derzeit kein einheitliches Verständnis in der Fachwelt, wie die Ergebnisse einer Expertenbefragung gezeigt haben (JAEGER 1999: 281f, 2000b). Zwei in der Literatur häufig verwendete Definitionen betonen den *funktionalen* bzw. den *strukturellen* Aspekt. In der funktional orientierten Betrachtung bedeutet Landschaftszerschneidung ein „Zerreißen von gewachsenen ökologischen Zusammenhängen zwischen räumlich getrennten Bereichen der Landschaft“ (vgl. HABER 1993: 62). In struktureller Hinsicht bezeichnet Landschaftszerschneidung „vom Menschen geschaffene vorwiegend linienhafte Strukturen oder Materieströme, von denen Barriere-, Emissions- oder

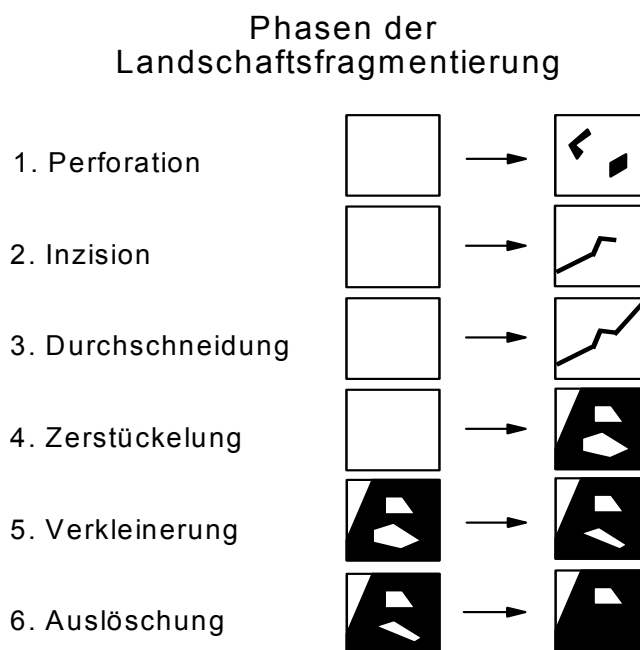


Abb. 2: Die sechs Phasen der Landschaftszerschneidung und -fragmentierung, die sich nach geometrischen Kennzeichen unterscheiden lassen (erweitert nach FORMAN 1995: 407, Abb. 12.1, aus JAEGER 2000a:116). Schwarz dargestellt sind Flächen, die für bestimmte Arten als Lebensraum ungeeignet sind und ein Hindernis für ihre Ausbreitung oder eine Lärm- und Unruhequelle darstellen.

Kollisionswirkungen oder ästhetische Beeinträchtigungen ausgehen“ (vgl. GRAU 1997 sowie SCHUMACHER und WALZ 2000: 135). Neben dieser anthropogen bedingten Zerschneidung gibt es die geogene Zerschneidung der Landschaft durch Flüsse oder auch durch steile Hangkanten. Etwas allgemeiner kann auch von „Landschaftsfragmentierung“ gesprochen werden. Abbildung 2 zeigt die sechs zur Landschaftszerschneidung bzw. -fragmentierung beitragenden Phasen. Die Darstellung illustriert, dass die zerschneidenden Elemente nicht zwangsläufig linienförmig sind. Ein wachsendes Industriegebiet oder Wohngebiet verringert flächenhaft den Lebensraum von Pflanzen und Tieren, wirkt als Barriere bei deren Ausbreitung und trennt (Teil-) Populationen. Daher trägt sie ebenfalls zur Landschaftszerschneidung bei.

Rund 13% der Fläche Deutschlands entfallen auf Siedlungs- und Verkehrsflächen (FAZ 2001).⁹ Das bedeutet einen Anstieg um 50% (von 6% auf 13%) gegenüber 1950. Dies scheint auf den ersten Blick und bei Betrachtung der in Kapitel 1.2 erwähnten Zahlen des Siedlungs- und Verkehrsflächenzuwachses eine relativ geringe Prozentzahl zu sein. Betrachtet man jedoch die räumlichen Auswirkungen dieses Anstiegs auf einer Landkarte, so bekommt man einen Eindruck davon, wie stark zerstückelt die Landschaften in Deutschland sind. Landschaftszerschneidung und -zersiedlung sind heute ein flächendeckendes Umweltproblem in Mitteleuropa.

Es kommt daher nicht nur darauf an, wie viel Freifläche in einem Land insgesamt zur Verfügung steht, sondern wie deren räumliche Verteilung aussieht. Wichtig ist insbesondere, wie groß die einzelnen Freiflächen sind und ob Verbindungen (z.B. über Grünbrücken) vorhanden sind, d.h. ob noch ausreichend große Flächen (Minimumareale) für bestimmte Tierarten zur Verfügung stehen und ob Wanderungsbewegungen zwischen den Flächen möglich sind (z.B. zur Suche nach einem eigenen Revier für die heranwachsenden Tiere und zur Rekolonisation von Habitaten, in denen die Population aufgrund von natürlichen Schwankungen oder äußeren Einwirkungen erloschen ist).

2.2 Bisherige Untersuchungen

Im dicht besiedelten Baden-Württemberg (293 E/km^2)¹⁰ liegt der Anteil der „unzerschnittenen verkehrsarmen Räume“ (UZV-R)¹¹ bei lediglich 10,7% der Landesfläche (vgl. BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 1999: 39f, GAWLAK 2001), d.h. dass nahezu 90% des Landes bereits in kleinere Räume (kleiner als 100 km^2) zerstückelt worden sind. Die noch verbleibenden 10,7% entsprechen einer Zahl von 28 UZV-R, die sich

⁹ Das Bundesumweltministerium (1998: 9) geht noch von 12% aus

¹⁰ www.statistik.baden-wuerttemberg.de/BevoelkGebiet/Landeskennzahlen.asp (für 1999)

¹¹ Unzerschnittene verkehrsarme Räume größer als 100 km^2 unter Berücksichtigung der Kreisstraßen mit mehr als 1000 Kfz/d (LASSEN 1987, GAWLAK 2001).

hauptsächlich auf die Hochflächen des Schwarzwaldes, Riedflächen entlang der Donau und Flächen der Schwäbischen Alb sowie Bereiche an der Nordostgrenze Baden-Württembergs (Odenwald und Taubertal) beschränken. Im Verdichtungsraum Karlsruhe, Mannheim, Heilbronn und Stuttgart sind keine UZV-R >100 km² mehr vorhanden. Damit ist Baden-Württemberg hinter Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein eines der am stärksten zerschnittenen Bundesländer. Beispiele für relativ gering zerschnittene Regionen sind Mecklenburg-Vorpommern mit einem Anteil von 53,8% UZV-R und Brandenburg mit 53% UZV-R an der Landesfläche. Die vom Bundesamt für Naturschutz ermittelten Werte beinhalten allerdings nicht die Siedlungen und Gemeindeverbindungsstraßen. Bezieht man diese mit ein, wie es die vorliegende Studie tut, fallen die Werte für Baden-Württemberg noch wesentlich geringer aus (siehe Abschnitt 4.4.2).

Neben der Methode, die unzerschnittenen Räume, bzw. unzerschnittenen verkehrsarmen Räume >100 km² und >50 km² zu zählen, werden weitere Methoden in der Literatur diskutiert (z.B. Verkehrsliniendichte, Bowens Landschaftsdurchschneidungsindex *LDI*, relativer Zerschneidungsindex *PI_{rel}* des Statistischen Bundesamtes). Ein systematischer Methodenvergleich ist in JAEGER (2000a, 2002) zu finden. Wir messen die Landschaftszerschneidung mit der „effektiven Maschenweite“ (Abschnitt 3.3).

Quantitative Untersuchungen über den Zustand und die Entwicklung der Landschaftszerschneidung gibt es in Deutschland bisher nur in geringer Zahl. Darüber, welche Studien auf Landes- und Bundesebene vorliegen, hat erstmals Stephanie GRAU (1998, *im Druck*) eine Erhebung durchgeführt. Die Studie des Bundesamtes für Naturschutz (1999) belegt einen Rückgang der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume in den alten Bundesländern von 349 (= 22,7% der Landesfläche) im Jahr 1977 auf 296 (= 18,6%) im Jahr 1987 und auf nur noch 225 (= 14,2%) heute. (Zwar wurden 1999 teilweise andere Abgrenzungskriterien verwendet, die Unterschiede fallen jedoch gegenüber der Trendentwicklung kaum ins Gewicht.) Weitere bundesweite Untersuchungen zu unzerschnittenen Räumen sind die Studien von DOSCH et al. (1995: 15), des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (2000: 156) und von SCHUMACHER und WALZ (2000) (s. Tab. 2 auf S. 33). Außerdem ist eine Erhebung im Rahmen der „ökologischen Flächenstichprobe“ und der Umweltökonomischen Gesamtrechnung beim Statistischen Bundesamt in Planung (zur Methode nach DEGGAU et al. (1992) vgl. die kritischen Anmerkungen in JAEGER 2000a). Ältere (auf Westdeutschland bezogene) Studien wurden von FRITZ (1984) und HEISS (1992) erstellt; sie beschränken sich allerdings auf Waldflächen. Keine der bisherigen bundesweiten Untersuchungen berücksichtigt Gemeindeverbindungsstraßen.

In Baden-Württemberg thematisiert O. BECK bereits 1956 den Konflikt zwischen der Erholungsnutzung und der Verkehrszunahme, allerdings nur als lokales Problem

(Schwäbische Alb) und rein qualitativ. Er geht auf die Konfliktpunkte der Lärm-belästigung, der Unfallgefahr für die Wandernden und der Schädigung von Boden und Vegetation durch das Befahren ein. Qualitativ bleibt die Diskussion auch bei SCHÖNNAMSGRUBER (1974). Die ersten quantitativen Untersuchungen legten EICHHORST und GERMAN (1974) für den Regierungsbezirk Tübingen, REICHELT (1979) für den Schwarzwald-Baar-Kreis und SCHREIBER et al. (o.J.) für die Region Mittlerer Neckar vor. *Landesweite* Darstellungen gibt es für Baden-Württemberg bisher lediglich als interne Bestandesaufnahmen bei der Landesanstalt für Umweltschutz in Karlsruhe sowie in Form einer Übersichtskarte im Kartenatlas (unveröffentlicht) als Teil des Anhangs zum Landschaftsrahmenprogramm (IER/ILPÖ 1999; Dokumentationen dazu in STAUCH 2000, STAUCH und KAULE 1999). Sie beinhalten jedoch keine quantitativen Analysen der Zerschneidung, sondern fassen die vorliegenden Daten-grundlagen zusammen. Zur aktuellen Situation in den übrigen Bundesländern siehe die Recherche von GRAU (*in Vorb.*). Eine Möglichkeit, Daten auf Landesebene zu gewinnen, besteht darin, die vorliegenden bundesweiten Untersuchungen mit Bezug auf das Land auszuwerten (z.B. SCHUPP 2001). Dies beschränkt sich jedoch auf die Ermittlung der großen unzerschnittenen Räume ($>100 \text{ km}^2$ bzw. 50 km^2), während der Grad der Zerschneidung in den übrigen Landesteilen nicht genauer betrachtet wird.

3 Methode

3.1 Datenbeschaffung und Verarbeitung

3.1.1 Aktuelle Daten

Als Hindernisse für die Wanderung von Tieren bzw. für Erholungsuchende oder als Emissionsquellen haben wir Straßen, Bahnlinien, Siedlungs- und Industrieflächen (Ortslagen) sowie die *geogene Zerschneidung* durch Flüsse (ab 6 m Breite) und Seen berücksichtigt. Auch der Einbezug von landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen sowie von land- und forstwirtschaftlichen Straßen und Wegen wäre möglich und sinnvoll, übersteigt jedoch den Rahmen dieser Studie.

Als Grundlage der digitalen Bearbeitung wurden neben den Vermessungsdaten Geodaten aus dem „Räumlichen Informations- und Planungssystem“ (RIPS) verwendet (M. MÜLLER 2000). Die ATKIS-Daten des Digitalen Landschaftsmodells (DLM-25/1) für den Erfassungszeitraum 1991 bis 1998 wurden aus der Einheitlichen-Datenbank-Schnittstelle (EDBS) in *Shape-files* umgesetzt. Die Abbildung der realen Topographie in das ATKIS-Datenmodell mit Maßstab 1 : 10 000 bedingt eine Vereinfachung der Objektstrukturen (z.B. bei mehrspurigen Straßen) und eine Generalisierung der Geometrie. Da verdeckte Elemente (z.B. Gewässerstrecken unter Brücken) in ATKIS nicht abgebildet werden, wurden Lücken (bis zu 10 m) in linienhaften Objekten geschlossen.

Aus diesem Datenbestand wurde ein Flächenmosaik generiert, welches die Landesfläche von Baden-Württemberg überdeckt und als polygonbildende Grenzlinien die Ränder der Ortslagen und Stillgewässer, die Fließgewässer (> 6 m), Schienenwege und Straßen (Bundesautobahnen, Bundes-, Landes-, Kreis- und, für eine gesonderte Analyse, auch die Gemeindestraßen) zusammenführt¹² (teilweise bildet zusätzlich die Landesgrenze technisch bedingt eine „künstliche Barriere“). Diese Verschneidungsaufgabe wurde mit *ArcInfo* durchgeführt und resultierte in einem topologisch einwandfreien Polygon-Coverage¹³.

Stichstraßen, d.h. solche Straßen, die über nur einen Knoten in das Straßennetz eingebunden sind, vernachlässigen wir, da eine handhabbare Definition, wann eine solche Straße einen Zerschneidungseffekt bewirkt, schwer festzulegen ist (Phase der „Inzision“, vgl. Abb. 2) und ihre Verkehrsbelastung gering ist. Außerdem gehen wir davon aus, dass mögliche Unterschiede zwischen dem ATKIS-Datenbestand und der tatsächlichen Landschaft für die Ergebnisse ebenfalls vernachlässigbar sind.

¹² s. Karte 5.1 und 6, Kartenbeilage

¹³ s. Karte 5.2 Kartenbeilage (auch im Internet unter www.ta-akademie.de)

Die Polygone sind so attribuiert, dass ihre Unterscheidung hinsichtlich der Zugehörigkeit zu den Ortslagen (bzw. zu den Stillgewässern) möglich ist. Der Teil des Flächenmosaiks, der nicht zu den Ortslagen oder Seen gerechnet wird, liefert die gesuchten Flächen, die der Berechnung der effektiven Maschenweite zu Grunde liegen (für technische Einzelheiten vgl. ESSWEIN 2001 sowie Anhang B). Die Straßen werden durch Vektordaten mit der Breite 0 dargestellt, ihr realer Flächenbedarf wird bei den vorliegenden Daten nicht berücksichtigt.

3.1.2 Historische Daten

In dieser Studie wird erstmals die Entwicklung der Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg während der vergangenen sieben Jahrzehnte an Hand von Zahlen und Karten dokumentiert. Hierfür verwendeten wir Topographische Übersichtskarten von Baden-Württemberg im Maßstab 1:200 000 (s. Anhang A). Diese konnten wir in digitaler Form (eingescannte tif-Datei) von der Staatsbibliothek zu Berlin erwerben. Die Analyse der Landschaftszerschneidung wurde für 4 Zeitschnitte in der Vergangenheit durchgeführt:

um 1989	TÜK Baden-Württemberg (1 : 200 000)	} jeweils 10 Kartenblätter
um 1977	TÜK Baden-Württemberg (1 : 200 000)	
um 1966	TÜK Baden-Württemberg (1 : 200 000)	
um 1930	Karte des Deutschen Reiches (1 : 200 000)	14 Kartenblätter

Ein gewisses Problem stellt hierbei die große Zeitspanne der einzelnen Teilkarten für den Zeitraum um 1930 dar. Hierfür mussten wir 14 Einzelkarten von 1917 bis 1940 verwenden (Anhang A). Dies führt z.B zu folgender Situation: das Kartenblatt Göppingen liegt von 1922 vor, das südlich anschließende Blatt Ulm jedoch von 1940, was zur Folge hat, dass die A8 auf dem Blatt Ulm schon vorhanden ist, auf dem Blatt Göppingen jedoch nicht. Diese Ungenauigkeiten sind jedoch nur zum Zeitpunkt 1930 derart stark ausgeprägt, in den anderen Fällen liegen jeweils nur etwa 4-5 Jahre zwischen den Einzelkarten.

Die vorhandenen Kartenblätter wurden dann zunächst georeferenziert, so dass sie im richtigen Längen- und Breitengrad liegen. Danach erfolgte eine schrittweise „Zurückdigitalisierung“ der Straßen, Schienen und Orte auf Grundlage der ATKIS-Daten von 1998 (Details zur Methode s. Anhang B). Die Flüsse und Seen wurden in diesem Fall nicht analysiert, sondern wir verwendeten für alle Zeitpunkte die ATKIS-Daten von 1998, da auf den Karten die wahre Breite der Flüsse nicht nachvollzogen werden kann.

Um den Effekt der zunehmenden Verkehrsbelastung und Verlärmung einzubeziehen und so eine bessere Vergleichbarkeit der Daten zu erhalten, haben wir in der histori-

schen Analyse die Höhe der Verkehrsstärke ab einem täglichen Verkehrsaufkommen von 10 000 Kfz berücksichtigt. Diese Analyse wird im nächsten Abschnitt näher beschrieben.

3.2 Einbezug der Verkehrsstärke

Für alle lärmempfindlichen Tierarten ist die Verkehrsstärke ein zusätzliches Kriterium, mit dem sich die Einschränkung und Verkleinerung ihres Lebensraumes abschätzen lässt. Ihr Lebensraum wird durch die Lärmbelastung einer Straße stark beeinträchtigt, und die Habitatqualität der Flächen sinkt deutlich ab. RECK et al. (2001) sprechen ab einer Belastung von 47 dB(A) von einer erheblichen Beeinträchtigung des Lebensraumes (die Eignung des Lebensraumes sinkt um 25%). Steigt die Lärmbelastung auf über 90 dB(A) kann man von einem 100%-igen Lebensraumverlust sprechen. Für die Ermittlung des Lärmkorridores in Abhängigkeit der Verkehrsstärke haben wir die Methode von REIJNEN et al. (1995b) angewendet (s.u.).

Zudem werden auch lärmunempfindliche Tiere in ihrer Ausbreitung durch erhöhtes Verkehrsaufkommen zusätzlich behindert. Die Gefahr bei der Straßenüberquerung steigt mit zunehmender Verkehrsfrequenz, was bedeutet, dass das Mortalitätsrisiko steigt. Als kritischen Grenzwert haben HENLE et al. (1998) für den Fischotter einen zeitlichen Mindestabstand der Fahrzeuge von 6 Minuten ermittelt, unterhalb dessen ein Überqueren kaum mehr möglich ist (BAIER und HOLZ 2001).

Aus diesen Gründen ist es wichtig, die Verkehrsstärke als zusätzliches Zerschneidungskriterium heranzuziehen. Je höher die Verkehrsstärke steigt, desto breiter sind die Verlärmungsbänder (REIJNEN et al. 1995b, 1996).¹⁴ Bei einer historischen Analyse sollte man die Verkehrsstärke auch deshalb berücksichtigen, da sie es ermöglicht, unterschiedliche Straßenkategorien besser vergleichen zu können. Da die Verkehrsstärke in der Vergangenheit sehr viel schwächer war, ist die Zerschneidungswirkung einer Straße mit Einbezug der Verkehrsstärke besser einzuschätzen, als wenn man nur die Straßenkategorie zur Verfügung hat. Laut KIRCHBACH (1998) ist die Länge des überörtlichen Straßennetzes seit Kriegsende um 20% gewachsen, die Fahrleistung auf Außerortsstraßen hat jedoch seit 1960 um 300% zugenommen. Nicht zuletzt bedeutet die hohe Verkehrsbelastung auf den Straßen auch eine Beeinträchtigung der Erholungsräume.

¹⁴ Eine generelle Übersicht zur Reichweite von Wirkungen, die von Straßen ausgehen (u.a. Eutrophierung, Streusatz, Dioxine und Furane, Keimungshemmung, Wasserhaushaltsänderung, Licht, Lärm, Minderung des Bruterfolges, Minderung der Vorkommen von Gliedertieren), findet sich in RECK (1994: 94) und in FORMAN (1995: 169). Zum Begriff der „road effect zone“ und Schätzdaten für ihre Breite siehe FORMAN (2000).

Um die Verkehrsstärke für die historischen Daten mit einzubeziehen, konnten wir für die Zeitpunkte 1965¹⁵, 1975¹⁶ und 1992¹⁷ Verkehrsstärkekarten des Landesamtes für Straßenwesen (Stuttgart) verwenden. Diese wurden den Verschneidungsdaten von 1966, 1977 und 1989 zugeordnet. Für 1930 liegen keine Daten vor. Man kann jedoch davon ausgehen, dass der motorisierte Verkehr zu dieser Zeit noch sehr gering war (unter 10 000 Kfz/Tag). Zu Kriegszeiten fand motorisierter Privatverkehr zudem fast überhaupt nicht statt. Daher arbeiten wir mit der Annahme, dass das Verkehrsaufkommen auf den Straßen für die Zerschneidung von Landschaftsräumen erst ab Kriegsende von Bedeutung ist. Wir setzen daher die Breite der Verlärnungskorridore für die Zeit um 1930 auf 0, das heißt wir nehmen an, dass die Tier- und Pflanzenwelt zu dieser Zeit nicht durch Verkehrsimmissionen zusätzlich beeinträchtigt wurde. Für den aktuellen Stand (1998) können wir leider innerhalb dieses Berichtes keine aktualisierten Verkehrsstärkedaten mit einbeziehen. Da die Methode der Datenübertragung sehr zeitaufwendig ist und zu erwarten ist, dass noch in diesem Jahr digitale Daten vom Landesamt für Straßenwesen (LfS) vorliegen werden, betrachten wir es als einen zu hohen zeitlichen Aufwand, diese Daten vorab nochmals (in geringerer Qualität) zu erheben. Im nachfolgenden Statusbericht sollen dann diese aktuellen Verkehrsstärkedaten des LfS mit einbezogen und ausgewertet werden.

Für die Berechnung der Lärmkorridore entlang der Straßen haben wir die Verkehrsstärken ab einer Belastung von 10 000 Kfz/Tag digitalisiert. Hierfür wurden durch Überlagerung der Straßen der jeweiligen Zeitpunkte und der dazugehörigen Verkehrsstärkekarte die jeweilige Verkehrsstärke eines entsprechenden Straßenabschnittes auf die ATKIS-Daten übertragen (als Attribut zum jeweiligen Straßenabschnitt). Die Straßen mit einer Verkehrsbelastung unter 10 000 Kfz/Tag wurden als Barrieren mit der Breite 0 in die Berechnung einbezogen.

Die Grenze der Digitalisierung von 10 000 Kfz/Tag wurde hier bewusst aus Zeitgründen gewählt und hat keine Begründung in empirischen Wirkungsschwellen für Tiere. Es ist allerdings anzunehmen, dass eine Straße mit dieser oder höherer Verkehrsbelastung für nahezu alle am Boden lebenden Tierarten eine sehr starke Barriere darstellt. Für Amphibien führen schon Verkehrsstärken unter 2 000 Kfz/Tag zu drastischen Mortalitätsraten, so dass ein erfolgreiches Überqueren der Straße kaum mehr möglich ist (GLITZNER et al. 1999). Für Vögel ergeben sich aus der Verkehrsstärke ableitbare Beeinträchtigungszonen die im Folgenden berücksichtigt sind. REIJNEN et al. (1995b) geben für die Breite dieser Zonen Werte zwischen 60 m und 520 m zu jeder Seite an (in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, der Vogelgruppe und

¹⁵ Verkehrsmengenkarte 1965; Maßstab 1:250 000; Innenministerium Baden-Württemberg Hauptabteilung für Verkehr 1966, Abteilung Straßenbau

¹⁶ Verkehrsmengenkarte 1975; Maßstab 1:250 000; Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr Baden-Württemberg, Abteilung Straßenbau

¹⁷ Verkehrsstärken 1992; Maßstab 1:200 000; Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg 1993

dem Baumbestand, s.u.). Aus Maßstabsgründen wurde darauf verzichtet, die Topographie beidseits der Straßen zu berücksichtigen. Die Topographie einzubeziehen wäre aber im Prinzip möglich (in detaillierteren Untersuchungen).

Je nach Tierart erhält man andere Werte dafür, wie breit die Zonen um die Straße sind, in denen die Art beeinträchtigt wird. Zur Ermittlung eines Lärmkorridores müsste man daher theoretisch für jede Tierart eine eigene Formel zur Berechnung der Korridorbreite verwenden. Da dies aus praktischen Gründen hier nicht möglich ist und da es uns darauf ankommt, den *Trend* der Entwicklung wiederzugeben,¹⁸ machen wir die folgenden Vereinfachungen:

- A. Für lärmunempfindliche Tierarten ist es nicht notwendig, einen Korridor zu berechnen. Für diese Arten können die Daten mit Korridorbreite 0 verwendet werden. Allerdings steigt die Barrierewirkung auch für diese Tierarten mit dem Verkehrsvolumen an. Hierfür kann die Messung der Landschaftszerschneidung unter Berücksichtigung der Verkehrsstärke wie unter B. als Indikator dienen.
- B. Für die lärmempfindlichen Tierarten (hauptsächlich Vögel) liegt eine Methode vor (REIJNEN et al. 1995b),¹⁹ nach der man die Breiten der Lärmbänder berechnen kann, in denen die Dichten von Brutvögeln reduziert sind („*effect distances*“). Die Breiten sind abhängig von:
 - der Vogelgruppe (Waldvogelarten oder Offenlandvogelarten),
 - der Verkehrsstärke (zwischen 2 000 und 160 000 Kfz/Tag),
 - der gefahrenen Geschwindigkeit (zwischen 80 und 130 km/h),
 - dem Baumbestand neben der Straße (in Stufen von <10% bis >90%).

In unserer Untersuchung konnten wir aus Zeitgründen nicht alle diese Variablen berücksichtigen.²⁰ Wir haben folgende Vereinfachungen getroffen: Die Verkehrsstärke wurde erst ab 10 000 Kfz pro Tag berücksichtigt. Die Fahrgeschwindigkeit wurde an Hand der Straßenkategorie für Autobahnen als 130 km/h und für Bundesstraßen, Landesstraßen und Kreisstraßen als 90 km/h gewählt. Für die Berechnung der Pufferbreite beschränkten wir uns auf einen durchschnittlichen Waldanteil für

¹⁸ D. h. dass mit steigender Verkehrsstärke zunehmend größere Flächen verlärmert werden und daher die Habitatqualität auf größeren Flächen sinkt. Auch wenn sich die konkreten Zahlen von Art zu Art unterscheiden, so ist dieser Trend für alle lärmempfindlichen Tierarten gleich. Eine Möglichkeit besteht darin, geeignete Arten exemplarisch zu betrachten. Wer an anderen Arten interessiert ist, kann dasselbe Verfahren in analoger Weise anwenden und wird im Trend ähnliche Ergebnisse erhalten.

¹⁹ Ein alternatives Verfahren besteht darin, die „Eckwerte zur Minderung der Lebensraumeignung“ nach RECK et al. (2001) zu verwenden (in dB(A) angegeben) und die Breite des Immissionsgebietes mit einem Lärmausbreitungsmodell zu berechnen.

²⁰ Dies ist nach der Methode von REIJNEN et al. (1995b) jedoch ohne weiteres möglich.

Baden-Württemberg von ca. 40%.²¹ Unter diesen Vorgaben wurden Lärmkorridore in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke berechnet.

Diese Berechnung führt dazu, dass sich der Freiraum neben der Straße verkleinert, wodurch effektiv Lebensraum verloren geht (Abb. 3) und die anschließend berechnete effektive Maschenweite sinkt (gegenüber dem Wert ohne Berücksichtigung der Lärmkorridore).

1930: Lärmband hat die Breite 0.
 → Größe der Fläche = $6 \text{ km} \cdot 7 \text{ km} = 42 \text{ km}^2$.

1966: Lärmband hat die Breite 250 m (zu jeder Seite).
 → Größe der verbleibenden Fläche = $5,5 \text{ km} \cdot 6,5 \text{ km} = 36 \text{ km}^2$.

1998: Lärmband hat die Breite 870 m (zu jeder Seite).
 → Größe der verbleibenden Fläche = $31,4 \text{ km}^2$.

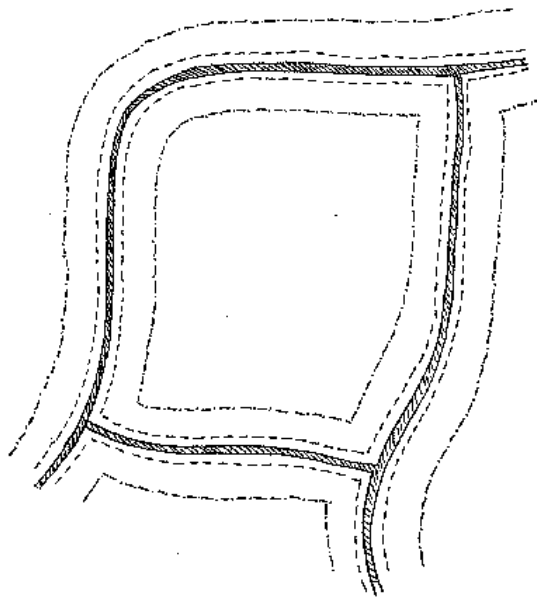


Abb. 3: Hypothetisches Beispiel zur Berechnung der Flächengröße, wenn die Lärmbänder wegen des steigenden Verkehrsvolumens breiter werden. Die dargestellte Fläche habe die Größe 6 km in Ostwestrichtung und 7 km in Nordsüdrichtung. Die Flächeneinbuße beträgt in diesem Beispiel 25% für 1998.

Da wir für den Waldanteil nur den Durchschnittswert betrachtet haben, verwendeten wir die Angaben von REIJNEN et al. (1995b) zur Berechnung der Breite des Lärmkorridors aus der Tabelle für einen Waldanteil von 30–50%. Generell sind Waldvogelarten lärmempfindlicher als Offenlandvogelarten. Im Offenland hat der Lärm allerdings eine größere Reichweite. Je höher der Baumbestand ist, desto stärker wird der Lärm gedämpft. Wir nahmen an, dass bei einem Baumanteil von 30 bis 50% nur die Waldvogelarten relevant sind, da diese lärmempfindlicher sind. Ein wichtiger Vorteil dieses Vorgehens ist, dass wir uns auf eine konkrete Artengruppe (Waldvogelarten) beziehen, für die empirische Ergebnisse vorliegen.

²¹ Dieser Wert für den Waldanteil errechnet sich aus den ATKIS-Daten zur Waldnutzung (Objektart Oa4107_f).

Die von REIJNEN et al. (1995b) in Tabellen angegebenen Werte haben wir durch Kurven genähert. Der Vorteil der Näherung der Tabellenwerte durch Kurven liegt darin, dass die berechneten Werte für die zwischen den Intervallen liegenden Verkehrsstärken genauer sind. Die Formeln haben die Form

$$(1) \text{ Breite} = c \cdot \sqrt{x + a} - b,$$

wobei x die Verkehrsstärke in Kfz/Tag angibt. Die Werte von a , b und c wurden berechnet, so dass die tabellierten Werte möglichst gut angenähert werden. Die eingesetzten Formeln lauten konkret:

Straßenart	Baumbestand	Formel
Kreis-, Landes- oder Bundesstraße	30-50%	$\text{Breite} = 2,531 \text{ m} \cdot \sqrt{\frac{x}{\text{Kfz/d}} + 3897,4} - 125 \text{ m}$
Autobahn	30-50%	$\text{Breite} = 3,443 \text{ m} \cdot \sqrt{\frac{x}{\text{Kfz/d}} - 3346,5} + 127 \text{ m}$

Anmerkung: In den Fällen, wo a negativ ist, darf x nicht kleinere Werte als $-a$ Kfz/d haben, weil in der Formel sonst die Wurzel aus einer negativen Zahl zu berechnen wäre.

3.3 Datenauswertung: Das Zerschneidungsmaß „effektive Maschenweite“ (m_{eff})

Zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung gibt es in der Fachliteratur eine Reihe von Vorschlägen. Die meisten haben jedoch mehr oder weniger erhebliche Mängel oder sind nur unter engen Einschränkungen gültig, oftmals bedingt durch eine unzureichende Unterscheidung von „Zerschneidung“ und „Heterogenität“ (für Methodenübersicht und -vergleich siehe JAEGER 2002). Schwächen einer Erfassung des Zerschneidungsgrades über die Zahl unzerschnittener Räume größer als 50 oder 100 km², n_{UZR} , sind beispielsweise:

- Die Zerteilung eines 300 km² großen Raumes in zwei Gebiete von je 150 km² führt zur Erhöhung von n_{UZR} und scheint somit fälschlicherweise eine Verbesserung der Situation anzuzeigen.
- Die Verkleinerung einer Fläche von z.B. 150 km² auf 110 km² wird nicht registriert.
- Veränderungen bei den Flächen, die kleiner als 100 km² (bzw. 50 km²) sind, werden nicht berücksichtigt.

Die Verkehrsliniendichte, das zweithäufigste Maß für die Landschaftszerschneidung, enthält hingegen keine Informationen über die Verteilung der Verkehrsstrecken in

der Landschaft und sagt somit auch kaum etwas über die Größen der verbleibenden Flächen aus, die in Abhängigkeit von der Anordnung sehr unterschiedlich sein kann.

Die hier gewählte quantitative Methode stützt sich auf die Ermittlung *der effektiven Maschenweite* (Kasten 1; JAEGER 1999, 2000a). Die Methode aggregiert die Informationen über die Landschaftszerschneidung zu einem einzigen, leicht erfassbaren Wert. Sie hat mehrere Vorteile gegenüber den Methoden der bisherigen Untersuchungen:

- Das Verfahren beachtet sämtliche im „Netz“ der Infrastrukturtrassen und Siedlungsgebiete verbleibenden Flächen und berücksichtigt sie entsprechend ihrer Größe.
- Es vermittelt eine rasche vergleichende Einschätzung von verschiedenen Landschaftsräumen unterschiedlicher Größe anhand eines quantitativen Maßes und ermöglicht eine einfache Ermittlung und Darstellung der Trendentwicklung durch die Angabe einer Zeitreihe für das untersuchte Gebiet (Monitoring-Funktion).
- Die Methode ist durch die Überprüfung anhand von Eignungskriterien (im systematischen Vergleich mit anderen quantitativen Maßen) wissenschaftlich abgesichert.
- Die Methode kann auf einfache Weise so erweitert werden, dass sie auch die Nachbarschaftsbeziehungen der Flächen mit einbezieht (über die „Barrierestärke“ β mit $0 \leq \beta \leq 1$; JAEGER 2002, *in Vorb.*).

Die effektive Maschenweite ist dafür geeignet, die Zerschneidung von Gebieten unterschiedlicher Gesamtgröße sowie mit differierenden Anteilen an Siedlungs- und Verkehrsfläche zu vergleichen. Sie reagiert auf fünf der sechs Fragmentierungsphasen aus Abb. 2. Zudem bietet die Methode mittelfristig die Möglichkeit zur Festlegung von Grenz-, Richt- oder Zielwerten auf der Basis der ermittelten Ergebnisse (JAEGER 2001b).

Die Beschreibungs-idee, die der effektiven Maschenweite zugrunde liegt und sich schrittweise weiter ausarbeiten und verfeinern lässt, lautet: *Das neue Zerschneidungsmaß ist ein Ausdruck für die Möglichkeit, dass sich zwei Tiere, die zufällig (und unabhängig voneinander) im betrachteten Gebiet ausgesetzt werden, begegnen können. Je mehr Barrieren in die Landschaft eingefügt werden, um so geringer wird die Begegnungswahrscheinlichkeit.*

Die Vorteile dieser Modellvorstellung liegen in ihrer Einfachheit und Transparenz, ihrer Anschaulichkeit als Überlebensbedingung für die Tierarten, den mathematischen Eigenschaften des resultierenden Maßes und der Möglichkeit zur graphischen Veranschaulichung (im kumulierten Größenverteilungsdiagramm; vgl. die Darstellungen in JAEGER 2000a). Eine verfeinerte Bestimmung der Begegnungswahrschein-

lichkeiten kann z.B. als Computersimulation umgesetzt werden (JAEGER 2001a). Dieser Ansatz berücksichtigt die *Größen* von unzerschnittenen Flächen und die *Erreichbarkeit* von Flächen. Diese beiden Faktoren beeinflussen das Extinktionsrisiko wesentlich. Sie sind eng korreliert mit dem Isolationsgrad von (Teil-)Habitaten und der Trennung von Subpopulationen einer Metapopulation. Für das Überleben von Metapopulationen und einen ausreichenden Genaustausch ist eine Begegnungsmöglichkeit von Tieren derselben Art nicht nur vorteilhaft, sondern notwendig.

KASTEN 1: Definition der effektiven Maschenweite m_{eff}

Die Definition von m_{eff} erfolgt über den Kohärenzgrad C :

- Der *Kohärenzgrad* C gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass zwei Tiere, die an zufällig gewählten Orten (und unabhängig voneinander) im betrachteten Gebiet ausgesetzt werden, einander begegnen können. Diese ist, wenn die Tiere die Barrieren nicht überqueren können, gleich der Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich zwei Tiere, die vor der Zerschneidung ungehindert und unabhängig voneinander im gesamten Gebiet umherlaufen konnten, in derselben Fläche befinden, wenn zu einem zufälligen Zeitpunkt ein Netz von zerschneidenden Linien über das Gebiet gelegt wird.
- Die *effektive Maschengröße* m_{eff} ist definiert als die *Größe* der Flächen, die man erhält, wenn das Gebiet in lauter *gleich große* Flächen zerteilt würde, so dass sich dieselbe Begegnungswahrscheinlichkeit C dafür ergibt, dass sich die beiden (an zufällig gewählten Orten) ausgesetzten Tiere begegnen können, wie für das untersuchte Gebiet.

Wenn die Barrieren zwischen den Flächen für die betrachtete Tiergruppe unüberwindbar sind und die Begegnungswahrscheinlichkeit der Tiere innerhalb derselben Fläche gleich 1 gesetzt wird, ist dies äquivalent mit der Wahrscheinlichkeit, dass zwei zufällig ausgewählte Punkte in der Region innerhalb derselben unzerschnittenen Fläche liegen. Eine kurze Rechnung (siehe z.B. JAEGER 2001a) führt für diesen Fall auf die einfachen Formeln:

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{F_g} \right)^2 \quad \text{und} \quad m_{\text{eff}} = \frac{1}{F_g} \sum_{i=1}^n F_i^2$$

mit n = Zahl der verbleibenden Freiflächen, F_i = Flächeninhalt von Fläche i , F_g = Gesamtfläche der untersuchten Region, welche in n Freiflächen oder „Patches“ zerteilt wurde.

Die Wahl dieser Definition ist durch mehrere Punkte begründet:

1. *Einfachheit*: Das (in Gedanken vollzogene) Aussetzen von zwei Individuen ist eine möglichst einfache Modellvorstellung, um die Zerschneidungs-

situation durch eine Wahrscheinlichkeit zu kennzeichnen; weitere Individuen sind dafür nicht unbedingt nötig, ein Individuum allein ist nicht hinreichend.

2. *Transparenz*: Die Definition der effektiven Maschenweite ist transparent und gut nachvollziehbar, da die Betrachtung der Begegnungswahrscheinlichkeit durch die mathematische Formel direkt umgesetzt wird: Die Wahrscheinlichkeit, dass das erste Tier in Fläche 1 ist, beträgt $\frac{F_1}{F_g}$. Die Wahrscheinlichkeit, dass das zweite Tier in Fläche 1 ist, beträgt ebenfalls $\frac{F_1}{F_g}$. Die Wahrscheinlichkeit, dass beide Tiere zugleich in Fläche 1 sind (und sich daher begegnen können), ist somit $\left(\frac{F_1}{F_g}\right)^2$. Die Wahrscheinlichkeiten werden für alle Flächen aufaddiert: $\left(\frac{F_1}{F_g}\right)^2 + \left(\frac{F_2}{F_g}\right)^2 + \left(\frac{F_3}{F_g}\right)^2 + \dots + \left(\frac{F_n}{F_g}\right)^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{F_g}\right)^2$.

Damit dieser Wert mit den Werten von anderen Gebieten, die eine andere Gesamtfläche haben können, vergleichbar wird, wird die Begegnungswahrscheinlichkeit anschließend noch in die Größe einer Fläche – die effektive Maschenweite – umgerechnet. Es zeigt sich, dass man dies bereits durch die Multiplikation mit F_g erreichen kann:

$$m_{\text{eff}} = \underbrace{F_g}_{\substack{\uparrow \\ \text{2. Die Multiplikation mit der Größe des Gebietes rechnet die Begegnungswahrscheinlichkeit in eine Fläche um. Diese Fläche gibt dann die Größe der „Maschen“ eines regelmäßigen Netzes mit dem gleichen Zerschneidungsgrad an und lässt sich mit anderen Gebieten vergleichen.}}} \cdot \underbrace{\sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{F_g}\right)^2}_{\substack{\uparrow \\ \text{1. Dieser Teil der Formel gibt die Begegnungswahrscheinlichkeit zweier Tiere an.}}}$$

2. Die Multiplikation mit der Größe des Gebietes rechnet die Begegnungswahrscheinlichkeit in eine Fläche um. Diese Fläche gibt dann die Größe der „Maschen“ eines regelmäßigen Netzes mit dem gleichen Zerschneidungsgrad an und lässt sich mit anderen Gebieten vergleichen.
1. Dieser Teil der Formel gibt die Begegnungswahrscheinlichkeit zweier Tiere an.

Dies liefert die obige Formel für m_{eff} , denn es gilt $F_g \cdot \sum_i \left(\frac{F_i}{F_g}\right)^2 = \frac{1}{F_g} \cdot \sum_i F_i^2$.

3. *Anschauliche Interpretation als Überlebensbedingung*: m_{eff} ist direkt interpretierbar als ein Faktor, der die Überlebensfähigkeit von Tieren beeinflussen kann, denn die Begegnungsmöglichkeit von Tieren ist Voraussetzung für ihre Fortpflanzung und damit für das Überleben einer Art (sowie für den Genaustausch in einer Metapopulation).
4. *Mathematische Eigenschaften*: m_{eff} hat mehrere sehr vorteilhafte mathematische Eigenschaften; z.B. ist m_{eff} relativ unempfindlich gegenüber dem

Einbezug oder Weglassen kleiner und kleinster Restflächen, und das Maß ist aufgrund seiner mathematischen Eigenschaften für den Vergleich unterschiedlich großer Gebiete geeignet (vgl. ausführlich JAEGER 1999, 2000a).

5. *Berücksichtigung der Struktur des Verkehrs- und Siedlungsnetzes:* Im Gegensatz zur Verkehrsliniendichte bringt m_{eff} Veränderungen in der räumlichen Anordnung der Verkehrsstrecken zum Ausdruck (z.B. eine Bündelung von Verkehrslinien).

Der Maximalwert der effektiven Maschenweite wird erreicht für ein vollkommen unzerschnittenes Gebiet; der Wert von m_{eff} ist dann gleich der Größe des Gebietes (und $C = 1$). Wird ein Gebiet in n gleich große Teile zertrennt, so ist der Wert von m_{eff} gleich der Größe dieser Teilräume. (m_{eff} ist allerdings im Allgemeinen nicht gleich der Durchschnittsgröße der verbleibenden Flächen.) Der minimale Wert von m_{eff} ist 0 km^2 ; erreicht wird er nur dann, wenn ein Gebiet vollständig von Verkehrs- und Siedlungsfläche überdeckt wird.

Der systematische Vergleich dieser Zerschneidungsmaße (Kohärenzgrad C und effektive Maschenweite) mit sechs anderen Maßen aus der Literatur (u.a. Anzahl der verbleibenden Flächen n , Durchschnittsgröße der verbleibenden Flächen \bar{F} , *landscape dissection index LDI* nach BOWEN und BURGESS 1981, relativer Zerschneidungsindex des Statistischen Bundesamtes PI_{rel} nach DEGGAU et al. 1992) anhand von neun Eignungskriterien zeigt, dass das neue Maß m_{eff} uneingeschränkt als Zerschneidungsmaß interpretierbar ist, während die übrigen sechs Größen in ihrer Eignung mehr oder weniger stark beschränkt sind (JAEGER 2000a). Ein zusätzlicher Vorteil dieses Ansatzes ist die Möglichkeit, die Methode auszudehnen, um weitere Aspekte des Landschaftswiderstandes zu berücksichtigen, z.B. die Überwindbarkeit von Barrieren und die relative Lage der Flächen (vgl. JAEGER 1999: 189-208, 2002).

Das weit verbreitete Analyseprogramm FRAGSTATS, Version 3.1, unterstützt die effektive Maschenweite, erhältlich unter <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>, dort unter „FRAGSTATS Metrics“, „Contagion/Interspersion Metrics“ (in Version 3.1) oder „Subdivision Metrics“ (in Version 3.0, hier allerdings noch nicht voll funktionsfähig), C121. Damit kann die effektive Maschenweite für digitalisierte Kartenausschnitte berechnet werden. Die effektive Maschenweite ist außerdem auch in der *r.le*-Programmsammlung von GRASS („Geographical Resources Analysis Support System“), Version 5.0 enthalten (s7 im *siz* set), siehe http://www.geog.uni-hannover.de/grass/gdp/landscape/r_le_manual5.pdf (S. 24-25).

Um die effektive Maschenweite sinnvoll einsetzen zu können, ist die Vorgabe eines Bezugsraums (Bundesland, Landkreis, Naturraum etc.), dessen Zerschneidungsgrad charakterisiert werden soll, notwendig. Dazu sind ebenfalls Verschneidungs-

techniken nötig, um die einem Bezugsraum zugeordneten Flächen zu bestimmen. Hier stehen generell mehrere Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Alle Flächen, die eine *gemeinsame Schnittfläche* mit dem Bezugsraum besitzen, werden der Bezugsfläche zugeordnet.
2. Alle Flächen, die *vollständig* vom Bezugsraum eingeschlossen sind, werden der Bezugsfläche zugeordnet.
3. *Mittelpunktverfahren*: Alle Flächen, deren Mittelpunkt (Zentroide) im Bezugsraum liegt, werden der Bezugsfläche zugeordnet.
4. *Ausschneideverfahren*: Die Flächen werden mit dem Bezugsraum direkt verschnitten, d.h. die Grenze des Bezugsraums dient als zusätzliche flächenbildende Grenzlinie, und die durch diese neue Grenze zusätzlich entstehenden Flächen werden, da sie im Bezugsraum liegen, in die Analyse mit einbezogen. (Hierdurch entsteht tendenziell eine Unterschätzung der effektiven Maschenweite, da die Randflächen zum Teil kleiner erscheinen, als sie es in der Landschaft sind.)

Die beiden zuerst genannten Möglichkeiten wurden verworfen, denn Variante 1 ordnet die auf den Grenzen der Bezugsräume liegenden Flächen *mehreren* Bezugsräumen zugleich zu, Variante 2 hingegen ordnet diese Flächen *keinem* Bezugsraum zu und liefert daher keine vollständige Zuordnung dieser Flächen. Das *Ausschneideverfahren* (AsV) und das *Mittelpunktverfahren* (MpV) liefern beide eine eindeutige und vollständige Zuordnung der Flächen zu den Regierungsbezirken, zu den Landkreisen und zu den Naturräumen in Baden-Württemberg. Für die Anwendung des Ausschneideverfahrens spricht trotz der Tendenz, Randflächen verkleinert zu berücksichtigen, das Argument, dass die Bezugsfläche für die Aufstellung einer Zeitreihe feste Grenzen haben soll. Beim Mittelpunktverfahren hingegen kann der äußere Rand des tatsächlich berücksichtigten Gebietes mit der Zeit wechseln (z.B. wegen neuer Straßen in der Nähe des Randes). In Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung kann das eine oder das andere Verfahren besser geeignet sein. Daher haben wir für die Untersuchung des aktuellen Zustands beide Verfahren eingesetzt und die Ergebnisse verglichen.

Nachdem die für den Bezugsraum relevanten Polygone selektiert wurden (was mit den GIS-Funktionalitäten von *ArcView* und *ArcInfo* möglich ist), wird für sie eine Flächenberechnung durchgeführt. Anschließend wird daraus die effektive Maschenweite mit den Statistikfunktionen im GIS oder mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms wie *Excel* (Austausch über *dBase*-Tabelle) berechnet.