

## **Indikatoren zur Landschaftszerschneidung Untersuchungen zur Einsetzbarkeit in der strategischen Verkehrsplanung**

*Maria-Lena PERNKOPF\*, Stefan LANG*

Zentrum für Geoinformatik Salzburg (Z\_GIS), Universität Salzburg, Hellbrunnerstraße 34, 5020 Salzburg, Österreich

\*lena.pernkopf@sbg.ac.at

### **1 ZUSAMMENFASSUNG**

Die Zerschneidung der Landschaft durch Straßen- und Bahnlinien trägt in beträchtlichem Maße zum fortschreitenden Verlust an Arten- und Lebensraumvielfalt bei. Um dieser Entwicklung entgegenwirken zu können, muss die Zerschneidungswirkung bei der strategischen Planung von Verkehrswegen in Zukunft verstärkt berücksichtigt werden. Die strukturellen Landschaftsveränderungen, die mit der Landschaftszerschneidung einhergehen, können anhand von Landschaftsstrukturmaßen (engl. landscape metrics) messbar gemacht werden und so in die Bewertung unterschiedlicher Planungsszenarien einfließen. Im Rahmen dieser Studie wurden vier verschiedene Ansätze zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung auf ihre konkrete Einsetzbarkeit in Strategischen Umweltprüfungen am Beispiel der SP-V Marchfeld Straße untersucht. Bei der Bewertung der Planfälle erwies sich vor allem die effektive Maschenweite als ein gut einsetzbarer, da nachvollziehbarer und einfach handhabbarer Indikator. Neben den Vorteilen, die eine quantitative Erfassung des Zerschneidungsgrades mit sich bringt, sind die Messergebnisse jedoch kritisch zu betrachten und nur mit ausreichender Sachkenntnis in die Bewertung mit einzubeziehen.

### **2 EINLEITUNG**

#### **2.1 Das Problem der zunehmenden Landschaftszerschneidung**

Das Verkehrsaufkommen auf Österreichs Straßen ist sowohl im Personen- wie auch im Güterverkehr in den vergangenen Jahrzehnten stark gestiegen und wird allen Prognosen nach auch in Zukunft hohe Wachstumsraten verzeichnen. Der mit dieser Entwicklung verbundene Ausbau der Verkehrsinfrastruktur hat neben einem nicht zu unterschätzenden Flächenverbrauch, die fortschreitende Zerschneidung von ursprünglich zusammenhängenden Lebensräumen und bestehenden ökologischen Vernetzungen zur Folge. Das bedeutet, dass Landschaftsräume, die wild lebenden Tier- und Pflanzenarten als Lebensräume dienen, nicht nur verkleinert, sondern auch voneinander isoliert werden, was die Überlebenswahrscheinlichkeit von Wildtierpopulationen zum Teil dramatisch sinken lässt. Die zahlreichen Negativfolgen der Landschaftszerschneidung tragen somit zum fortschreitenden Verlust der Arten- und Lebensraumvielfalt bei. Die Auswirkungen betreffen jedoch nicht nur die Tier- und Pflanzenwelt, sondern auch den Menschen, da die Erholungsqualität der Landschaft u. a. durch die von den Verkehrswegen ausgehenden Lärm- und Abgasemissionen vermindert wird.

Will man im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung dem schleichenden Voranschreiten der Landschaftszerschneidung Einhalt gebieten und die noch verbleibenden, unzerschnittenen Freiräume erhalten, muss das Problem bereits in der Phase der strategischen Planung von Verkehrswegen verstärkt berücksichtigt werden (siehe Penn-Bressel, 2005).

#### **2.2 Die Strategische Prüfung im Verkehrsbereich (SP-V) als Antwort auf die SUP-Richtlinie**

Die Strategische Umweltprüfung (SUP) wurde 2001 durch die EU-Richtlinie über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme (kurz SUP-Richtlinie) ins Leben gerufen. Den Anstoß dazu gab die Erkenntnis, dass es für die Berücksichtigung von Umweltbelagen meist zu spät ist, wenn bereits fertig ausgearbeitete Projekte zur Genehmigung eingereicht werden (ÖGUT, o. J.). Umweltrelevante Entscheidungen werden vielfach schon auf einer der Projektebene vorgelagerten Planungsebene getroffen, auf der Grundsatzüberlegungen wie Kapazitäts- und Bedarfsfragen und Alternativprüfungen im Mittelpunkt stehen. Die SUP ermöglicht bereits im Stadium der strategischen Planungsüberlegungen die Prüfung und Bewertung nachteiliger Umweltauswirkungen.

Das Bundesgesetz über die Strategische Prüfung im Verkehrsbereich (SP-V-Gesetz) vom 11. August 2005 setzt die Bestimmungen der SUP-Richtlinie in nationales Recht um. Im SP-V Gesetz ist festgelegt, dass jede Änderung im hochrangigen Bundesverkehrswegenetz mit voraussichtlich erheblichen Umweltauswirkungen

einer Strategischen Prüfung im Verkehrsbereich (SP-V) zu unterziehen ist. Die Ergebnisse einer SP-V bilden eine Entscheidungsgrundlage bei der Durchführung von Verkehrsinfrastrukturprojekten.

Das Problem der zunehmenden Landschaftszerschneidung und die damit verbundenen strukturellen Landschaftsveränderungen wurde in den bisher durchgeführten SP-Vs nicht ausreichend bzw. überhaupt nicht berücksichtigt. Um künftig die Zerschneidungswirkung unterschiedlicher Planungsszenarien abschätzen und in die Bewertung einbeziehen zu können, muss sie anhand von Indikatoren messbar gemacht werden. Hier bietet sich der Einsatz von speziellen Landschaftsstrukturmaßen (engl. landscape metrics) an, die den Grad der Landschaftszerschneidung quantitativ erfassen können (Lang & Blaschke, 2007).

### 3 METHODIK

Zur quantitativen Erfassung der Landschaftszerschneidung gibt es in der Fachliteratur eine Reihe von Ansätzen. Viele Maßzahlen (z. B. Anzahl und durchschnittliche Größe der verbleibenden Flächen) weisen jedoch mehr oder weniger erhebliche Mängel auf oder sind nur unter engen Einschränkungen gültig (vgl. Jaeger 2002). Im Rahmen dieser Studie wurden vier verschiedene Ansätze zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit bei der SP-V untersucht: (1) die Verkehrsnetzdicke, (2) der Ansatz der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume (UZVR), (3) die effektive Maschenweite (meff) und (4) der Contagion-Index.

Die Verkehrsnetzdicke ergibt sich aus der Länge des Verkehrsnetzes (Bundes- und Landesstraßen sowie Bahnlinien) bezogen auf die Fläche des Untersuchungsgebiets.

Unzerschnittene verkehrsarme Räume sind per definitionem Gebiete, die eine Mindestflächengröße von 100 km<sup>2</sup> besitzen und von keiner Straße mit einer Verkehrsmenge von mehr als 1.000 Kfz im 24-Stundenmittel oder einer Eisenbahnlinie durchschnitten werden (vgl. Lassen 1990). Die Schwellenwerte für die Mindestflächengröße und die höchstzulässige Verkehrsdichte wurden im Hinblick auf die Gewährleistung einer „ungestörten, naturnahen Erholung“ (Lassen 1987, S. 12) innerhalb dieser Gebiete festgelegt. Diese Definition kann jedoch auch abgeändert werden. So können in stark zerschnittenen Landschaften bereits Räume mit weniger als 100 km<sup>2</sup> als UZVR gelten. Ebenso können zur Abgrenzung der UZVR anstelle des DTV-Wertes<sup>82</sup> auch bestimmte Kategorien von Straßen – ohne Berücksichtigung der Verkehrsdichte – herangezogen werden. Neben der Anzahl der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume sollte zur Beurteilung des Zerschneidungsgrades auch die von ihnen eingenommene Fläche herangezogen werden.

Die Definition der effektiven Maschenweite (siehe Jaeger 2002) basiert auf der Wahrscheinlichkeit, mit der zwei zufällig in einem Gebiet gewählte Punkte auch nach der Zerschneidung des Gebiets noch gemeinsam innerhalb derselben Fläche liegen und nicht durch Barrieren (z. B. Straßen) voneinander getrennt sind. Diese Wahrscheinlichkeit, die auch als die Begegnungswahrscheinlichkeit von zwei Tieren derselben Art interpretiert werden kann, wird als Kohärenzgrad einer Landschaft bezeichnet (ebd.):

$$COH = \sum_{i=1}^n \left( \frac{F_i}{F_{total}} \right)^2,$$

wobei n = Zahl der verbleibenden unzerschnittenen Flächen, F<sub>i</sub> = Größe der Fläche i (i = 1, ..., n) und F<sub>total</sub> = Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets.

Je mehr Barrieren in einer Landschaft vorhanden sind, d. h. je stärker diese zerschnitten ist, umso geringer ist diese Wahrscheinlichkeit. Durch eine Multiplikation mit der Gesamtgröße des Gebiets (F<sub>total</sub>) kann der Kohärenzgrad COH in eine Flächengröße – die effektive Maschenweite – umgerechnet werden. In Worten ist meff definiert als die Größe der Flächen, die man erhält, wenn ein Gebiet bei gegebenem Kohärenzgrad in gleich große Flächen zerschnitten wird, so dass sich der Kohärenzgrad des untersuchten Gebiets ergibt. Der Wert der effektiven Maschenweite liegt zwischen 0 km<sup>2</sup> (total zerschnitten oder überbaut) und der Gesamtgröße des Gebiets (völlig unzerschnitten). Wird ein Gebiet in gleich große Teile zertrennt, so ist der Wert von meff gleich der Größe dieser Teilräume. Im Allgemeinen entspricht meff jedoch nicht der Durchschnittsgröße der verbleibenden Flächen.

<sup>82</sup> Wert der durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastung

Der Contagion-Index misst das Ausmaß, indem Landschaftselemente (engl. patches) räumlich konzentriert auftreten (O'Neill et al. 1988). Er gibt folglich den „Verklumpungsgrad“ (engl. degree of clumping, vgl. Riitters et al. 1996) einer Landschaft wieder. Besteht diese aus wenigen großen, zusammenhängenden Patches, nimmt der Index einen relativ hohen Wert an. Niedrigere Werte treten dahingegen dann auf, wenn die Untersuchungslandschaft stark fragmentiert ist, sich also aus vielen kleinen, verstreut liegenden Patches zusammensetzt. Anders als die bisher diskutierten Zerschneidungsmaße ist Contagion nur auf Raster daten anwendbar, da er das paarweise Auftreten von Klassen in angrenzenden Rasterzellen betrachtet. Entscheidend dabei ist die Häufigkeit, mit der die jeweils vorkommenden Klassenkombinationen als benachbarte Zellen auftreten (einschließlich jener Fälle, in denen zwei Zellen gleicher Klasse aneinander grenzen). Je häufiger bestimmte Kombinationen auftreten, umso höher ist der Verklumpungsgrad (Lang & Blaschke, 2007).

Die Einsetzbarkeit dieser Indikatoren zur Landschaftszerschneidung wurde am Beispiel der SP-V Marchfeld Straße untersucht, deren Gegenstand die Errichtung einer hochrangigen Straßenverbindung zwischen der Landesgrenze von Wien bzw. Niederösterreich und der österreichisch-slowakischen Staatsgrenze bei Marchegg bzw. Angern ist. Dabei wurden fünf Varianten eines Verkehrsinfrastrukturausbaus auf ihre zerschneidende Wirkung hin analysiert und bewertet: zwei Planfälle, die den Bau einer höherwertigen zweistreifigen Straßenverbindung einschließlich lokaler Ortsumfahrungen vorsehen und drei weitere Planfälle, die den Bau einer Schnellstraße einbeziehen (siehe Abbildung 1). Die Zerschneidungseffekte der unterschiedlichen Varianten wurden in Bezug auf einen Referenzfall bewertet, der den Ist-Zustand, d. h. den Zustand ohne Ausbaumaßnahmen im Straßennetz, darstellt. Den Untersuchungsraum bildet ein ca. 30 km x 30 km großer Landschaftsausschnitt im Bereich des Marchfelds (Niederösterreich).

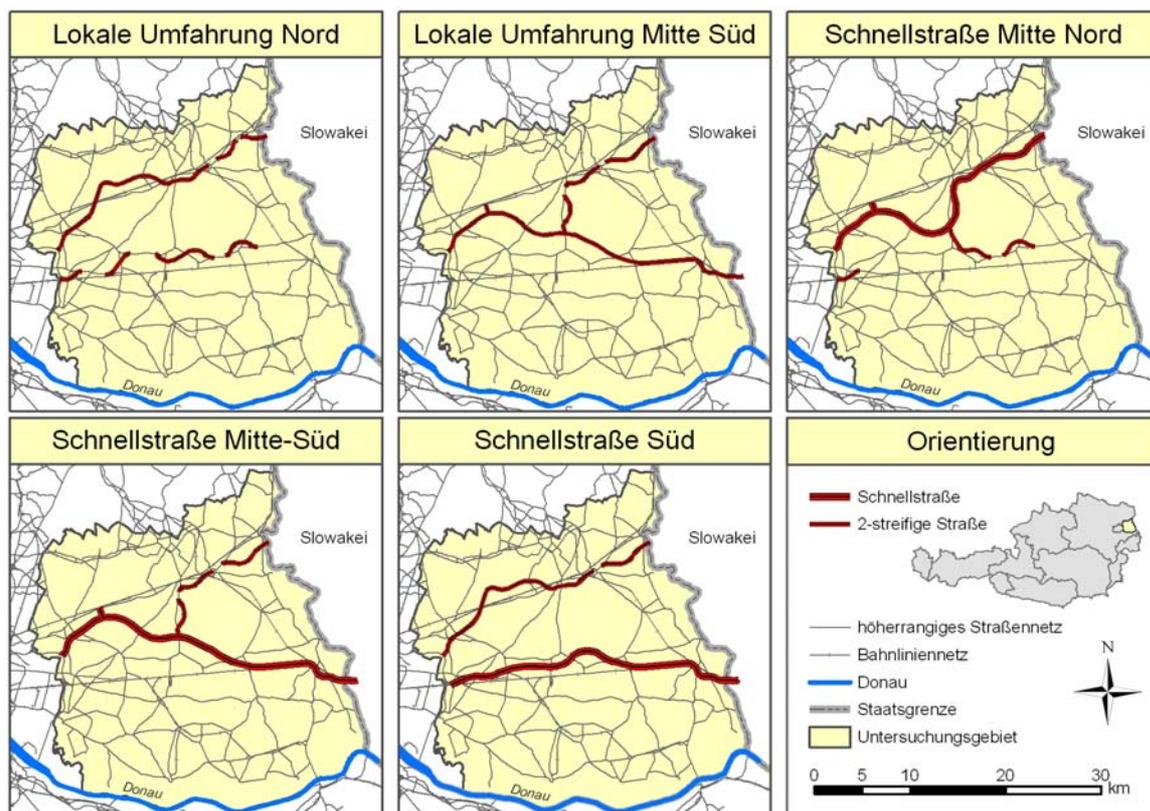


Abbildung 1: SP-V Marchfeld Straße: geplante Varianten eines Verkehrsinfrastrukturausbaus (Quelle: eigener Entwurf).

Ausgangsbasis für die Ermittlung der Zerschneidungsmaße war die Festlegung, welche Landschaftselemente eine zerschneidende Wirkung besitzen. Dabei wurden sowohl geogene als auch anthropogene Strukturen gewählt, von denen starke Barriere- und/oder Lärmwirkungen ausgehen. Konkret handelte es sich um:

- Siedlungsflächen,
- Fließgewässer ab einer Breite von fünf Metern,
- stehende Gewässer,

- das höherrangige Straßennetz (Bundes- und Landesstraßen),
- in Betrieb befindliche Bahnlinien sowie
- die Trasse des jeweiligen Planfalls.

Diese linearen und polygonalen Trennelemente wurden für jeden Planfall GIS-gestützt zu einer Zerschneidungsgeometrie vereinigt, die die Berechnungsgrundlage der Indikatoren bildete<sup>83</sup>. Zu den verwendeten Vektordatensätzen zählen: das höherrangige Straßennetz im Maßstab 1:50.000, worin Bundesstraßen (Autobahnen und Schnellstraßen) und Landesstraßen enthalten sind, das Bahnliniennetz, Siedlungsflächen, Fließgewässer und stehenden Gewässer jeweils im Maßstab 1:10.000 und die digitalisierten Trassenverläufe der geplanten Ausbauvarianten. Verkehrswege wurden in verschiedenen Szenarien zum einen als eindimensionale Linien, aber auch als Polygone in die Zerschneidungsgeometrien eingebunden. Die Repräsentation durch Polygone hat den Vorteil, dass sowohl der direkte wie auch der indirekte<sup>84</sup> Flächenverbrauch durch die Straßen berücksichtigt werden kann.

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 Verkehrsnetzdicke

Die Berechnungsergebnisse der Verkehrsnetzdicke sind in Abbildung 2 grafisch dargestellt. Die Variante Lokale Umfahrung Nord weist mit 796,9 m pro Quadratkilometer im Vergleich zu den anderen Planfällen die geringste Verkehrsnetzdicke auf und trägt damit rechnerisch am wenigsten zur Zerschneidung der Landschaft bei.

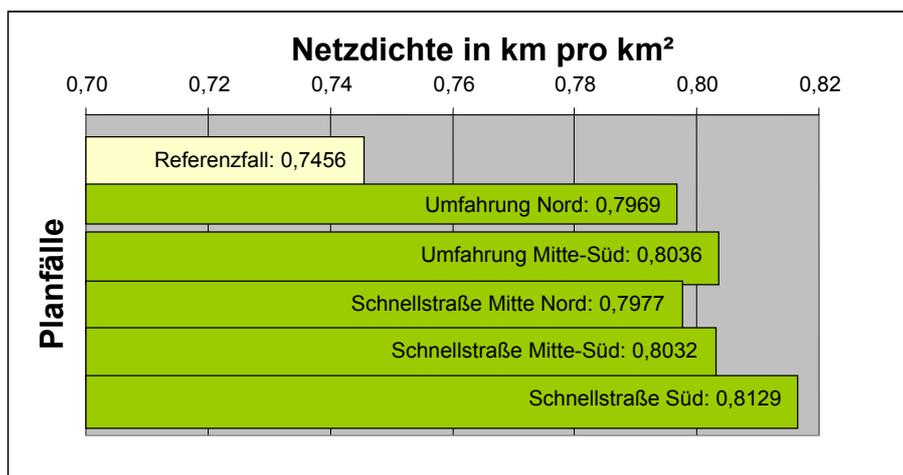


Abbildung 2: Verkehrsnetzdicke (angegeben in km pro km<sup>2</sup>).

Neben der Verkehrsnetzdicke wurde auch der Flächenverbrauch durch die Verkehrsträger bezogen auf die Fläche des Untersuchungsgebiets ermittelt (angegeben in ha/km<sup>2</sup>). Die Gegenüberstellung der resultierenden Werte führte wenig überraschend zu dem Ergebnis, dass die drei „Schnellstraßen-Varianten“ stärker zum Flächenverbrauch beitragen, als die beiden Planfälle, die den Bau einer höherwertigen zwei-streifigen Straßenverbindung vorsehen.

### 4.2 Ansatz der unzerschnittenen verkehrarmen Räume

Die erstellten Zerschneidungsgeometrien beinhalten sämtliche unzerschnittenen Flächen im Untersuchungsgebiet<sup>85</sup>. In Abbildung 3 werden sie am Beispiel des Referenzfalls dargestellt. Den größten Freiraum bilden mit 97,97 km<sup>2</sup> die Donauauen im Süden des Untersuchungsraums. Die bewaldeten Ausläufer des Weinviertler Hügellandes nördlich von Bockfließ, die Weikendorfer Remise und die Marchauen im Osten des Untersuchungsgebiets sind weitere große unzerschnittene Räume.

<sup>83</sup> Mit Ausnahme der Verkehrsnetzdicke, die nur das Verkehrsnetz selbst berücksichtigt.

<sup>84</sup> Damit gemeint ist jener Bereich, der durch die von den Verkehrswegen ausgehenden Störwirkungen (Lärm, Schadstoffe etc.) beeinträchtigt ist. Die Reichweiten dieser Wirkungen, die u. a. vom Verkehrsaufkommen abhängig sind, wurden aus Rasmus et al., 2003 entnommen.

<sup>85</sup> Dazu werden auch jene Flächen gezählt, die nur zum Teil innerhalb des Untersuchungsraumes liegen.

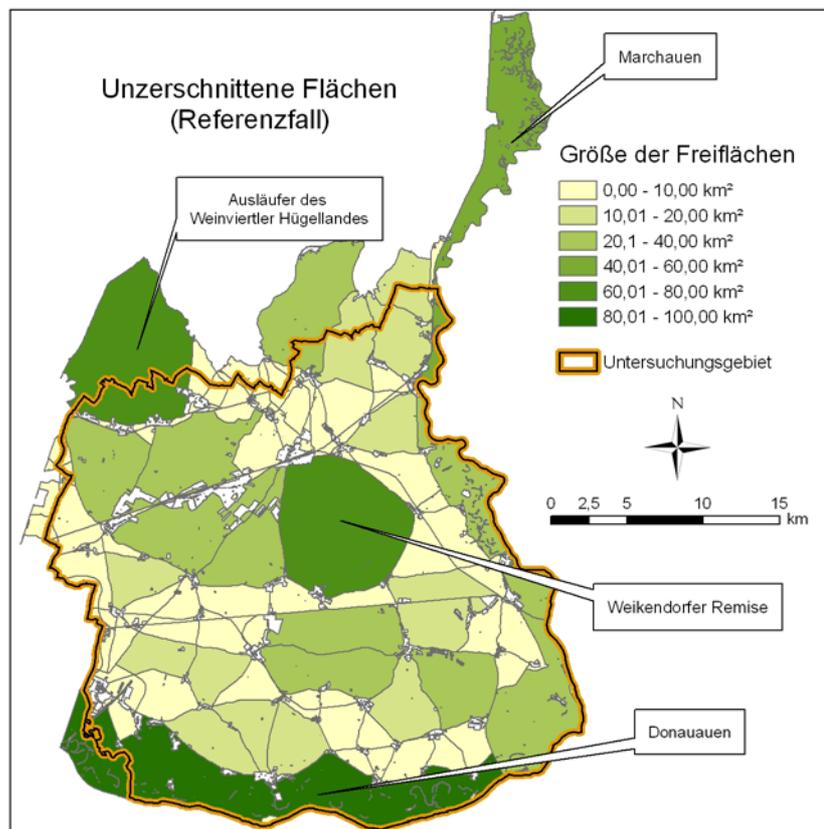


Abbildung 3: Darstellung der unzerschnittenen Flächen zum Zeitpunkt vor der geplanten Netzveränderung (Referenzfall). Verkehrswege und Fließgewässer gingen als Linien in die Zerschneidungsgeometrie ein (Quelle: eigener Entwurf).

Um die Zerschneidungswirkung der unterschiedlichen Planfälle beurteilen zu können, wurden aus den Zerschneidungsgeometrien alle UZVR selektiert und hinsichtlich ihrer Anzahl und Größe gegenübergestellt. Der ursprünglich für die Mindestgröße der UZVR festgelegte Schwellenwert von 100 km<sup>2</sup> wurde dabei auf 40 km<sup>2</sup> herabgesetzt, da ansonsten keine Aussagen über den Zerschneidungsgrad des relativ stark fragmentierten Untersuchungsgebiets möglich gewesen wären. Weiters wurden auch Anzahl und Flächenanteil der UZVR > 20 km<sup>2</sup> ermittelt, um zu verdeutlichen, welchen Einfluss die Schwellenwertsetzung auf die Ergebnisse besitzt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick, wie sich der geplante Ausbau der Verkehrsinfrastruktur auf die Anzahl und Fläche der UZVR auswirkt. Bei Betrachtung der ermittelten Werte wird deutlich, dass sich die Anzahl der Flächen über 40 km<sup>2</sup> trotz der jeweiligen Ausbaumaßnahmen nicht verändert und daher auch nicht zwischen den verschiedenen Ausbauvarianten differenziert werden kann. Erst anhand der Fläche, die diese Räume einnehmen, wird eine Aussage über die Zerschneidungswirkung des jeweiligen Planfalls möglich. Demnach stellt die Variante Lokale Umfahrung Nord die günstigste Alternative dar (wie auch schon bei der Analyse der Verkehrsnetzlänge), gefolgt von der Variante Schnellstraße Süd. Zum selben Ergebnis kommt man auch bei Betrachtung der UZVR > 20 km<sup>2</sup>, allerdings bleibt hier die Anzahl der UZVR verglichen mit dem Referenzfall nur in zwei Fällen konstant und nimmt bei den übrigen Szenarien auf 12 ab.

Die Berücksichtigung der direkten Flächeninanspruchnahme durch linienhafte Zerschneidungselemente bei der Erstellung der Zerschneidungsgeometrien hat keine Auswirkungen auf die Reihung der Szenarien hinsichtlich ihrer Zerschneidungswirkung. Auch der Einbezug des indirekten Flächenbedarfs der Verkehrswege bringt abgesehen von einer starken Flächenreduktion keine Änderung mit sich, sofern man die Anzahl und Fläche der UZVR > 40 km<sup>2</sup> betrachtet. Überraschend ist, dass man anhand der UZVR > 20 km<sup>2</sup> zu einem völlig anderen Ergebnis kommt: Hier liegen jene Varianten, die ansonsten die geringste Zerschneidungswirkung besitzen (Lokale Umfahrung Nord und Schnellstraße Süd) an letzter bzw. vorletzter Stelle (siehe Tabelle 1, hervorgehobene Werte). Dieser Fall macht deutlich, dass durch unterschiedliche Schwellenwertsetzung sehr unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden können.

Planfall	Linien	Polygone (indirekter Flächenbedarf)	
	UZVR > 40 km <sup>2</sup>	UZVR > 20 km <sup>2</sup>	UZVR > 40 km <sup>2</sup> UZVR > 20 km <sup>2</sup>

	Anzahl	Fläche	Anzahl	Fläche	Anzahl	Fläche	Anzahl	Fläche
Referenzszenario	4	266,24	14	538,96	3	188,61	6	267,75
Umfahrung Nord	4	263,37	14	526,93	3	181,83	5	239,75
Schnellstraße Süd	4	261,95	14	525,26	3	180,33	5	237,13
Schnellstraße Mitte-Nord	4	260,58	12	482,65	3	179,79	6	257,95
Umfahrung Mitte-Süd	4	256,06	12	477,93	3	174,00	6	251,87
Schnellstraße Mitte-Süd	4	256,06	12	477,93	2	132,96	6	250,69

Tab. 1: Anzahl und Fläche der UZVR mit mehr als 40 bzw. 20 km<sup>2</sup> unter Berücksichtigung der Verkehrswege und Fließgewässer als Linien bzw. des indirekten Flächenbedarfs der Verkehrswege bei der Erstellung der Zerschneidungsgeometrie.

### 4.3 Effektive Maschenweite

Die effektive Maschenweite  $m_{eff}$  kann mit der entsprechenden mathematischen Formel schrittweise in jedem Tabellenkalkulationprogramm (z. B. Microsoft Excel) ermittelt werden, wobei die Flächen der unzerschnittenen Polygone der Zerschneidungsgeometrien die Berechnungsgrundlage bilden. Es existieren aber auch verschiedene Programmiererweiterungen (engl. extensions) für ArcView bzw. ArcGIS, die Berechnung von  $m_{eff}$  unterstützen<sup>86</sup>.

Die effektive Maschenweite beträgt für den Fall, dass die Verkehrsinfrastruktur im Marchfeld nicht erweitert wird (Referenzfall), 35,79 km<sup>2</sup>. Abbildung 4 fasst zusammen, wie sich die jeweils geplanten Ausbaumaßnahmen auf diesen Wert auswirken. Die Variante Lokale Umfahrung Nord ( $m_{eff}$ : 34,73 km<sup>2</sup>) weist verglichen mit den übrigen Planfällen zum wiederholten Male die geringste Zerschneidungswirkung auf, gefolgt von den beiden „Schnellstraße-Varianten“ Süd ( $m_{eff}$ : 34,40 km<sup>2</sup>) und Mitte-Nord ( $m_{eff}$ : 34,01 km<sup>2</sup>).

Wird bei der Erstellung der Zerschneidungsgeometrien auch der (direkte) Flächenbedarf der Verkehrswege und Fließgewässer einbezogen, nimmt der Wert der effektiven Maschenweite erwartungsgemäß ab. Beim Vergleich der Planfälle zeigt sich, dass nach wie vor die Varianten Schnellstraße Süd und Lokale Umfahrung Nord zu den Favoriten zählen, allerdings hat diese Mal die „Schnellstraßen-Variante“ die geringere Zerschneidungswirkung. Die übrige Reihenfolge ist unverändert. Die Berücksichtigung der indirekten Flächeninanspruchnahme führt zu einer weiteren generellen Abnahme der effektiven Maschenweite, ansonsten sind die Ergebnisse aber mit jenen der vorangehenden Untersuchungen vergleichbar.

<sup>86</sup> Dazu zählen u. a. die ArcView Extension Meff, entwickelt am Institut für Landschaftsplanung und Ökologie (ILPÖ) der Universität Stuttgart sowie die für ArcGIS entwickelte Erweiterung V-LATE (Vector-based Landscape Analysis Tools Extension), ein vektorbasiertes Tool zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse, entwickelt von der Landscape Analysis and Resource Management Research Group (LARG) an der Universität Salzburg.

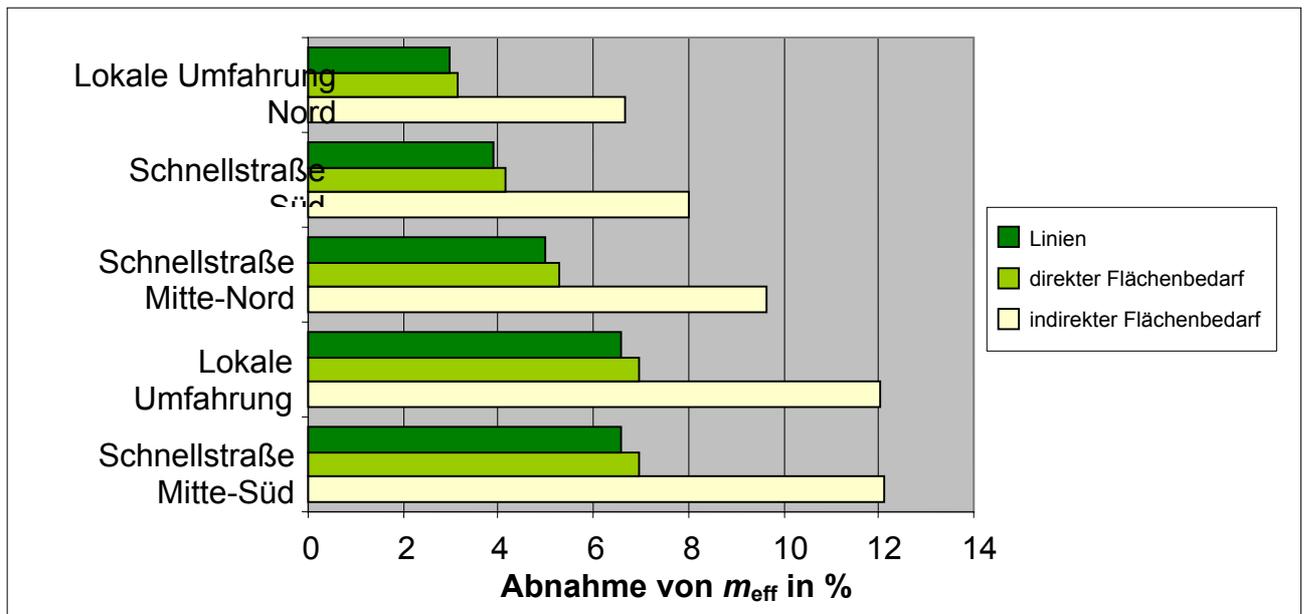


Abb. 4: Reaktion der effektiven Maschenweite auf die geplanten Ausbaumaßnahmen (in Bezug auf den Referenzfall). Die Verkehrswege wurden sowohl als Linien als auch als Polygone (direkter und indirekter Flächenbedarf) in die Zerschneidungsgeometrien einbezogen.

#### 4.4 Contagion-Index

Die Berechnung des Contagion-Index erfolgte in der Softwareumgebung von FRAGSTATS 3.3 (MCGARIGAL & MARKS, 2002). Da es sich um eine rasterbasierte Maßzahl handelt, mussten die erstellten Zerschneidungsgeometrien zuvor in Rasterdaten umgewandelt werden. Bei der Konvertierung wurden die Vektordaten in zwei Klassen zusammengefasst: Die Klasse „0“ beinhaltet alle Zellen, die das Attribut „unzerschnitten“ besitzen und der Klasse „1“ werden jene Zellen zugeordnet, die als fragmentierend gelten.

Da Linien in Rasterdatenform oft nur als unterbrochene Abschnitte wiedergegeben werden, wurden nur jene Zerschneidungsgeometrien analysiert, die den direkten oder indirekten Flächenbedarf der Verkehrswege und Fließgewässer beinhalten. In Abbildung 5 sind die Messergebnisse für jene Datensätze abgebildet, die die indirekte Flächeninanspruchnahme durch die Verkehrsträger berücksichtigen. Um festzustellen, welchen Einfluss die gewählte Pixelgröße auf die Resultate besitzt, wurde diese in verschiedenen Szenarien mit 20, 50 und 100 m festgelegt. Erwartungsgemäß liegen bei der feineren räumlichen Auflösung (20 Meter) die Werte des Index höher als bei den gröberen Auflösungen. Die Reihung der Planfälle verändert sich durch die unterschiedlich gewählte Auflösungen nicht wesentlich. Wiederum erweist sich die Variante Lokale Umfahrung Nord als jene mit der geringsten Zerschneidungswirkung und auch die übrige Reihenfolge stimmt mit den bisher erzielten Ergebnissen überein. Generell liegen die Werte für die einzelnen Alternativen sehr nahe beieinander.

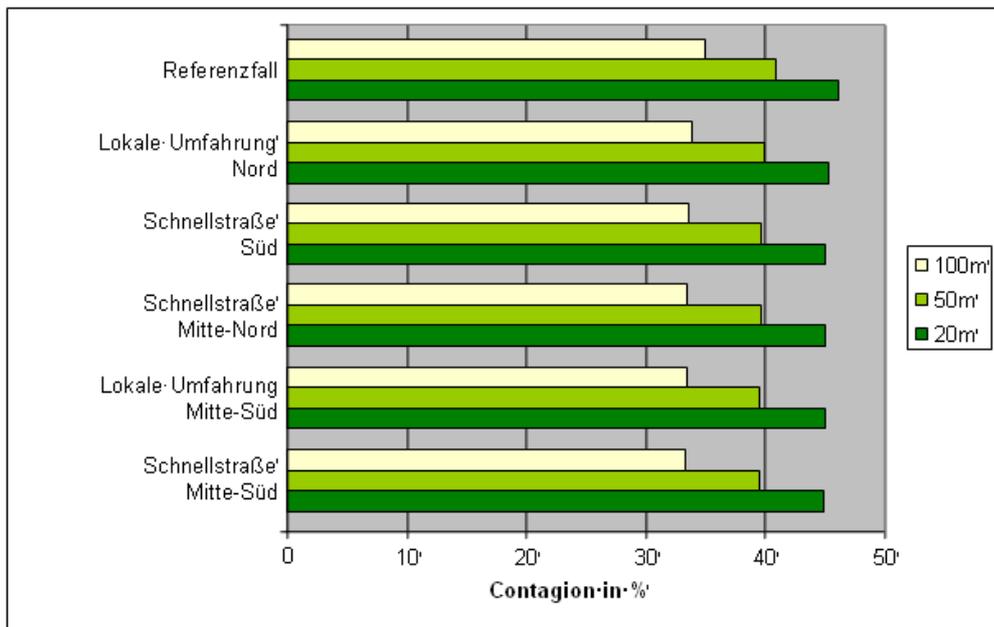


Abbildung 5: Ergebniswerte des Contagion-Index bei unterschiedlich gewählter Rasterauflösung (unter Einbezug des indirekten Flächenbedarfs der Verkehrswege bei der Erstellung der Zerschneidungsgeometrien).

## 5 DISKUSSION UND AUSBLICK

Die Untersuchungen, die im Rahmen dieser Studie am Beispiel der SP-V Marchfeld Straße durchgeführt wurden, zeigen, dass sich die verschiedenen Ansätze zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung unterschiedlich gut eignen, um strukturellen Landschaftsveränderungen zu beschreiben.

Die Verkehrsnetzdicke ist ein sehr intuitives, aber auch sehr grobes und dadurch nur eingeschränkt anwendbares Zerschneidungsmaß. Der große Nachteil besteht darin, dass es strukturelle Unterschiede zwischen verschiedenen Zerschneidungsmustern nicht zum Ausdruck bringen kann, da es keine Informationen über die Verteilung der Verkehrswege in der Landschaft enthält. Über die Größe der verbleibenden ungestörten Flächen kann somit nur wenig ausgesagt werden. Um neben der direkten und indirekten Flächeninanspruchnahme durch die Verkehrsflächen auch den strukturellen Aspekt der Landschaftsveränderungen wiedergeben zu können, müssen andere Maße herangezogen werden.

Die unzerschnittenen verkehrsarmen Räume (UZVR) sind konkrete, vor Ort identifizierbare und in Karten darstellbare Teilräume, die von der Bevölkerung gut erlebt werden können (Schupp 2005). Zahl und Flächenanteil der UVZR eignen sich daher besonders zu Kommunikations- und Illustrationszwecken. Als Messgröße für den Zerschneidungsgrad sind sie allerdings relativ schlecht geeignet, da sie nicht ausreichend sensitiv sind. Vor allem Veränderungen bzw. Entwicklungen, die sich ober- und unterhalb des jeweils festgelegten Schwellenwertes abspielen, werden nicht angezeigt.

Die effektive Maschenweite bezieht hingegen alle verbleibenden Flächen in die Beurteilung ein und ermöglicht so auch für dicht besiedelte Gebiete quantitative Aussagen zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung. Im Gegensatz zur Verkehrsnetzdicke reagiert sie auch auf eine Zunahme der Siedlungsflächen, da die verbleibenden Flächen durch die Überbauung verkleinert werden. Insgesamt ist die effektive Maschenweite ein aussagekräftiger Indikator, der die Anforderungen an Zerschneidungsmaße (z. B. Anschaulichkeit, geringer Datenbedarf, mathematische Einfachheit) zu einem sehr hohen Grade erfüllt (siehe Jaeger 2002). Da die unzerschnittenen verkehrsarmen Räume bei der Berechnung der effektiven Maschenweite automatisch mit ermittelt werden, bietet es sich an, beide Werte anzugeben, wobei die effektive Maschenweite den eigentlichen, belastbaren Indikator darstellt, während der Flächenanteil der UVZR zusätzlich zur Veranschaulichung und als Kommunikationshilfe dient (Jaeger 2004). Bei der kombinierten Anwendung der beiden Zerschneidungsindikatoren ist jedoch zu beachten, dass diese exakt dieselben Zerschneidungselemente berücksichtigen.

Zusätzlich zu den bereits genannten Vorteilen besitzt die Methode der effektiven Maschenweite ein hohes Entwicklungspotential. Sie kann beispielsweise so erweitert werden, dass neben den Größen der

verbleibenden Flächen auch die Topologie, d. h. die relative Lage der Flächen zueinander, berücksichtigt wird. Damit wird es möglich, die Auswirkungen der Anordnung der Flächen auf den Zerschneidungsgrad quantitativ darzustellen. Die Nachbarschaftsbeziehungen der Flächen sind dann relevant, wenn die vorhandenen Barrieren von der betrachteten Tierart (bzw. dem Erholungsuchenden) überquert werden können. Auf diesem Wege können außerdem unterschiedliche Trennstärken von Infrastrukturanlagen berücksichtigt werden (Jaeger 2002). Des Weiteren kann die Methode rechnerisch mit Daten zur Qualität von Lebensräumen verknüpft werden, indem die Flächengrößen mit einem Qualitätsfaktor multipliziert werden. Dieser Faktor kann in Abhängigkeit von der betrachteten Tierart eine Wertigkeit der Fläche angeben (ebd.), z.B. die Habitateignung (engl. habitat suitability, siehe z.B. Spellerberg, 1992). Außerdem könnten mithilfe der effektiven Maschenweite in Zukunft regionenspezifische Grenz- oder Richtwerte für einen „noch tolerierbaren Zerschneidungsgrad“ entwickelt werden.

Der Contagion-Index ist ein topologiesensitives Maß, das auf steigende Fragmentierung mit Abnahme des Wertes reagiert. Die Abnahme erfolgt allerdings nur solange die Klasse der verbleibenden unzerschnittenen Flächen größtmäßig überwiegt. Ist dies nicht mehr der Fall, kippt der Indikator und nimmt bei weiterer Fragmentierung rechnerisch wieder zu. Ein weiteres Problem bei der Anwendung des rasterbasierten Contagion-Index liegt in der häufig unzureichenden Berücksichtigung linienhafter Zerschneidungselemente. Diese können nur durch eine ausreichend niedrig gewählte Rasterauflösung oder eine entsprechende Vorprozessierung (Blow & Shrink Algorithmen) adäquat repräsentiert werden. Ebenso ist zu beachten, dass die erzielten Ergebnisse sehr stark von der gewählten Rasterauflösung abhängen und aus diesem Grund mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Generell stellt der Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen in Planungsprozessen meist eine sinnvolle Ergänzung oder Erweiterung zu vorhandenen Methoden dar, da sie die Erfassung und Bewertung des Landschaftszustandes ermöglichen. Durch die einfache Ermittlung und Darstellung der Trendentwicklung erleichtern Zerschneidungsindikatoren das im Rahmen einer SP-V verpflichtend durchzuführende Monitoring. So kann belegt werden, ob die bei der Planung erwarteten Umweltfolgen eingetreten sind, und ob Entscheidungsmaßnahmen (z. B. der Bau von Grünbrücken) erfolgreich durchgeführt wurden (Penn-Bressel 2005).

Bei der Anwendung von Landschaftsstrukturmaßen tritt aber auch das Problem auf, dass die absoluten Werte quantitativer Maße oft nur schwer zu interpretieren sind. Ein unreflektierter Umgang kann durchaus zu Fehlinterpretationen bzw. zu einer irreführenden Verwendung führen. Der Vergleich von Messergebnissen ist nur dann möglich, wenn bei der Berechnung der Maße die gleichen Datengrundlagen (im Hinblick auf Maßstab, Qualität, räumliche Auflösung etc.) herangezogen wurden. Die ermittelten Werte quantitativer Landschaftsstrukturmaße sollten stets mit großer Sorgfalt interpretiert und nur mit Vorsicht und viel Sachkenntnis in Bewertungen einbezogen werden (vgl. Blaschke 1999). Die quantitativen Angaben müssen stets durch qualitative Aussagen eingebunden und ergänzt werden, da ein so komplexer Betrachtungsgegenstand wie die Landschaft niemals rein quantitativ erfasst werden kann. Eine Beschränkung auf quantitative Aspekte läuft Gefahr, die spezifische Situation eines Gebietes gegebenenfalls zu vernachlässigen. Außerdem können die verwendeten quantitativen Maße nur aufgrund von qualitativen Überlegungen kritisiert und revidiert werden (Jaeger 2002). Qualitative Betrachtungen bleiben also auch bei einer Ausweitung quantitativer Methoden die unentbehrliche Grundlage (ebd.).

## 6 DANKSAGUNG

Die Autoren danken Herrn Dipl.-Ing. Rudolf Schwarz vom Amt der Niederösterreichischen Landesregierung (Abteilung Autobahnen und Schnellstraßen) und Frau Dipl.-Geogr. Heide Esswein vom Institut für Landschaftsplanung und Ökologie der Universität Stuttgart für das Entgegenkommen und die fachliche Unterstützung. Die Datengrundlagen wurden dankenswerterweise vom Planungsbüro LACON und der Abteilung Vermessung und Geoinformatik der Niederösterreichischen Landesregierung (NÖGIS) zur Verfügung gestellt.

## 7 LITERATURANGABEN

BLASCHKE, T. (1999): Quantifizierung der Struktur einer Landschaft mit GIS: Potential und Probleme. In: WALZ, U. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur. Auswertung mit GIS und Fernerkundung. – Dresden, (= IÖR-Schriften, 29), S. 9-24.

- JAEGER, J. (2002): Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. - Stuttgart.
- JAEGER, J. (2004): VII-12 Zerschneidung der Landschaft durch Verkehrswege und Siedlungsgebiete. In: KONOLD, W., R. BÖCKER und U. HAMPICKE (Hrsg.): Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege. Landsberg.
- LANG, S. & T. BLASCHKE (2007): Landschaftsanalyse mit GIS. – Stuttgart.
- LASSEN, D. (1990): Unzerschnittene verkehrsarme Räume über 100 km<sup>2</sup> - eine Ressource für die ruhige Erholung. - In: Natur und Landschaft, 65/6, S. 326-327.
- LASSEN, D. (1987): Unzerschnittene verkehrsarme Räume über 100 km<sup>2</sup> Flächengröße in der Bundesrepublik Deutschland. In: Natur und Landschaft, 62/12, S. 532-535.
- McGARIGAL, K. & B. J. MARKS (1995): FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Dolores.
- ÖGUT (Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik) (o. J.): Strategische Umweltprüfung Basiswissen. URL: <http://www.oegut.at/de/themen/partizipation/strategische-umweltpruefung-basiswissen.php> (15.03.2007).
- O'NEILL, R.V. et al. (1988): Indices of landscape pattern. – In: Landscape Ecology, 1/3, S. 153-162.
- PENN-BRESSEL, G. (2005): Begrenzung der Landschaftszerschneidung bei der Planung von Verkehrswegen. – In: GAIA, 14/2, S. 130-134.
- RASSMUS, J. (2003): Methodische Anforderungen an Wirkungsprognosen in der Eingriffsregelung. In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Angewandte Landschaftsökologie Heft 51. – Münster.
- SCHUPP, D. (2005): Umweltindikator Landschaftszerschneidung. Ein zentrales Element zur Verknüpfung von Wissenschaft und Politik. – In: GAIA, 14/2, S. 101-106.
- RIITTERS, K. H. et al. (1996): A note on contagion indices for landscape analysis. – In: Landscape Ecology, 11/4, S. 197-202.
- SCHWARZ-v. RAUMER, H. G. (2006): Indicating landscape fragmentation using Patency Index. Arbeitspapier unveröffentlicht, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie der Universität Stuttgart. URL: <http://www.ilpoe.uni-stuttgart.de/team/svr/svr.html> (15.03.2007).
- SPELLERBERG, I. F. (1992): Evaluation and assessment for conservation. Ecological guidelines for determining priorities for nature conservation. – London.