

## Entwicklung und Raumwirkung des deutschen Autobahnnetzes

GOTTHARD MEINEL, SASCHA REICHERT & WINFRIED KILLISCH Dresden

**Keywords:** GIS, motorway development, land use change, environmental impact, prediction, landscape fragmentation

**Zusammenfassung:** Deutschland verfügt mit mehr als 12.000 Kilometern über das zweitgrößte Autobahnnetz nach den USA und eines der dichtesten weltweit. Neben den verkehrlichen und wirtschaftlichen Wirkungen sind die Umweltwirkungen des Autobahnnetzes nicht zu vernachlässigen. In dem Beitrag werden die Ergebnisse einer quantitativen räumlichen Analyse der Entwicklung unter Aspekten der Umweltwirkung des deutschen Autobahnnetzes vorgelegt. Sie umfassen die Darstellung der Längenentwicklung sowie der Flächennutzungsänderungen an Autobahn-Anschlussstellen, die sich in den meisten Fällen durch massive Siedlungsentwicklung in kurzer Zeit nach Fertigstellung ergeben.

Weiterhin werden die Zerschneidungseffekte, die bei Autobahnen durch die fast unüberwindliche Trennwirkung besonders massiv sind, quantifiziert. Letztlich werden auch die Bodenversiegelungs- und Lärmefekte im Zusammenhang mit der Autobahnentwicklung berechnet und bewertet. Im Ergebnis der Untersuchungen können die Flächenentwicklungen an geplanten Autobahntrassen in Zukunft in Abhängigkeit des siedlungsstrukturellen Typs der Region auf Basis der berechneten Mittelwerte aus der Vergangenheit prognostiziert werden. Dies ist von besonderer Bedeutung, wird doch bis 2015 im Bundesverkehrswegeplan 2003 ein weiterer Autobahnausbau um ca. 1.900 km geplant.

**Summary:** *Development of the German motorway network and its spatial and environmental impact.* With its more than 12.000 km of motorways Germany owns one of the most dense motorway network in the world and the second largest right after the USA. Beside the impact to traffic and economy the environmental impact is important. In this article we present the results of a quantitative spatial analysis of the development and aspects how the German motorway network influences the environment. We include the description of the road length development and the changes in land use around motorway junctions which most of the time is the result of extreme settlement shortly after completion.

Further the landscape fragmentation which is extremely present because of the insuperable separation impact of motorways is quantified. And finally effects regarding sealed areas and the noise impact are calculated and evaluated in context of motorway construction. The result of the survey will show that in future the development of areas around planned motorways can be predicted on the basis of the calculated average from the past depending on the structure of settlement types. This fact is of special importance considering that until 2015 the Road Planning Program 2003 (Bundesverkehrswegeplan) issued by the German Government has scheduled an expansion of the motorway network about 1,900 km.

### 1 Problem- und Zielstellung

Eine leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur ist grundlegende Voraussetzung für eine moderne Volkswirtschaft. Bisher spielen in der Planung neuer Autobahntrassen in erster Linie verkehrliche Aspekte eine Rolle. Da-

rüber hinaus werden aber im Bundesverkehrswegeplan 2003 (BVWP) auch wirtschaftliche Effekte neuer Autobahnen (Beschäftigung durch Bau und Betrieb) sowie die Umweltwirkungen geplanter Trassen (Lärm, Schadstoffbelastung, Schwingungen, Versiegelung und Trennwirkung) in der

konkreten Trassenplanung berücksichtigt (Grundzüge der gesamtwirtschaftlichen Bewertung des Bundesverkehrswegeplanes 2003, 2002). Kaum wissenschaftlich untersucht sind bisher die an Autobahn-Anschlussstellen und -Zubringern induzierten Standortentwicklungen von Industrie, Gewerbe und Wohnen und ihre damit einhergehenden Flächennutzungsänderungen. Ausnahmen stellen hier die Arbeiten von LUTTER (1981) und GATHER (1999) dar.

So ist auch die Einschätzung der induzierten Flächenentwicklung infolge verkehrsinfrastruktureller Erweiterungen nicht Gegenstand der Planungsverfahren, obwohl diese Wirkung augenfällig und seitens der Wirtschaftsförderung auch gewollt ist. Grundlage für eine Bestimmung der Flächennutzungsstruktur von Autobahntrassen können GIS-gestützte Analysen auf Basis geeigneter Flächennutzungsdaten und der Geometrien von Autobahntrassen sein. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Erarbeitung von Grundlagenwissen zum Thema Raumwirkung von Autobahntrassen. Dieses ist auch für die Prognose der Flächenwirkung geplanter Trassen hilfreich. Die praktische Relevanz dieser Untersuchungen ist angesichts der Planung von 1.900 km Autobahntrassen in Deutschland bis 2015 (Bundesverkehrswegeplan 2003) und den geplanten Ausbau des Transeuropäischen Netzes für Verkehrsinfrastruktur TEN (Leitlinien für eine nachhaltige räumliche Entwicklung auf dem europäischen Kontinent 2000), welches u. a. sehr umfangreiche Autobahnneubauten in Osteuropa vorsieht, in hohem Maße gegeben.

## 2 Datengrundlage und Methodik

Zur Lösung der Aufgabenstellung wurde ein Geoinformationssystem „Autobahnnetz Deutschlands und seine Entwicklung“ aufgebaut. Es basiert auf der Grundlage der Autobahn-Geometrien des Straßennetzes für die Bundesrepublik Deutschland von der infas GEODaten GmbH. Dieser Datenbestand wurde um Autobahnneubaustrecken bis zum Fertigstellungsdatum 2005 ergänzt. Weiterhin wurden die ca. 2.146 Bundesauto-

bahn-Anschlussstellen (BAB-AS) auf Grundlage der Autobahn-Geometrien und dem Internetkartendienst [www.map24.de](http://www.map24.de) erfasst. In einem Attributfeld wurde das Jahr der Freigabe des jeweiligen Autobahnabschnittes aufgezeichnet. Dieses erfolgte auf Grundlage der Informationen der Internetseite [www.autobahn-online.de](http://www.autobahn-online.de), die wiederum auf die Straßenbauberichte zurückgreifen. Da diese Autobahnfertigstellungen erst ab 1971 und teilweise auch nur lückenhaft ausgewiesen sind, musste der Datenbestand anhand historischer Straßenatlanten und -karten vervollständigt werden. Auf eine Differenzierung der Spuranzahl und weiterer Ausbauinformationen, die in den Straßenbauberichten enthalten sind, wurde im Rahmen der Aufgabenstellung verzichtet. Zusätzlich wurden die geplanten Autobahnstrecken bis 2015 auf Grundlage des BVWP 2003 digitalisiert.

Für die Untersuchung der Veränderung der Flächennutzung waren Daten verschiedener Zeitpunkte notwendig. Diese mussten einerseits räumlich kleinteilig (disaggregiert) und andererseits deutschlandweit verfügbar sein. Hier zeigte sich wieder der Mangel an Flächennutzungsdaten, die aber für GIS-gestützte Langzeitstudien notwendig sind. Einzig kamen der Datensatz zur Bodenbedeckung des statistischen Bundesamtes (1997) sowie CORINE-Land-Cover-Daten (CLC 2000) für Deutschland (2004) des Umweltbundesamtes in Betracht, die im Rahmen des europäischen Projekts CORINE Land Cover erhoben wurden. Damit stehen aber nur die Zeitschnitte 1990 und 2000 zur Verfügung, eine Analyse der Flächennutzungsentwicklung infolge des Autobahnbaus ist darum nur in diesem und nicht dem gesamten Analysezeitraum von 70 Jahren möglich. Die Aufzeichnung der Dynamik der Flächennutzungsentwicklung infolge des Autobahnbaus wäre allerdings durch Nutzung historischer Luft- und Satellitenbilddaten nach visueller Flächennutzungskartierung möglich.

Die Flächennutzung bzw. Bodenbedeckung wurde in dem CLC-Datensatz in einem Maßstab von 1 : 100.000 in 44 Klassen, angeordnet in 4 Hierarchieebenen, zu den

Erhebungszeitpunkten 1990 und 2000 erfasst (Corine Land Cover (CLC) – Technical Guide 1997). Durch die festgelegte Mindestgröße der Flächeneinheiten von 25 ha sind kleinteilige Strukturen, wie z. B. kleine Siedlungskörper, etwas unterrepräsentiert (SIEDENTOP & MEINEL 2004).

Besonders wichtig für die nachfolgenden Betrachtungen ist die CORINE-Klasse „Städtisch geprägte Flächen“ (11), die im Wesentlichen Wohnbauflächen repräsentieren. Weiterhin wird die CLC-Klasse „Industrie- und Gewerbefläche“ (121) betrachtet. Die CLC-Klassen „Straßen und Eisenbahn“ (122), „Hafengebiete“ (123) und „Flughäfen“ (124) wurden zur Klasse „Verkehrsinfrastruktur“ zusammengefasst. Die CLC-Klasse „Bebaute Fläche“ (1) entspricht der vollständigen Siedlungsfläche und enthält neben der Gewerbe-, Industrie-, Wohn- und Verkehrsinfrastrukturfläche auch Abbauflächen/Deponien und städtische Grün-, Sport- und Freizeitanlagen.

### 3 Längenentwicklung des deutschen Autobahnnetzes

Durch Auswertung des Attributs „Freigabe“ für jeden Autobahnabschnitt (gelegen jeweils zwischen 2 Anschlussstellen) konnte die Längenentwicklung des deutschen Autobahnnetzes analysiert und visualisiert wer-

den (Abb. 1). Die Entwicklung des inzwischen auf eine Gesamtlänge von 12.200 km mit 2.146 Anschlussstellen (Stand: 12/2005) angestiegenen Netzes erfolgt in West- und Ostdeutschland sehr unterschiedlich. Deutlich wird der starke Streckenzuwachs am Ende der 60er bis Mitte der 70er Jahre (Maximum 1975 mit fast 500 km Autobahnneubaustrecke), der letztlich auch auf das hohe deutsche Wirtschaftswachstum in diesem Zeitraum zurückzuführen ist. Der Ausbau der Autobahnen gestaltet sich, wie Abb. 2 zeigt, noch bis 2015 weiter sehr dynamisch (Bundesverkehrswegeplan 2003).

### 4 Erreichbarkeitsentwicklung

Mit der Trassenentwicklung gingen natürlich eine Verbesserung der Erreichbarkeit der nächstgelegenen Autobahn-AS und damit insgesamt eine Reisezeitverkürzung einher. Diese Entwicklung wurde zur räumlichen Visualisierung sehr kleinteilig auf Rasterbasis und für eine generelle Analyse der Entfernung der Siedlungsräume zu den Autobahnen auf Vektorbasis (Luftlinienentfernung Gemeindeflächensmittelpunkt zur nächstgelegenen BAB-AS) im zeitlichen Abstand von 5 Jahren berechnet. Letztlich wurde noch auf Basis einer Netzwerkanalyse unter Zugrundelegung des Straßennetzes die Fahrzeit berechnet.

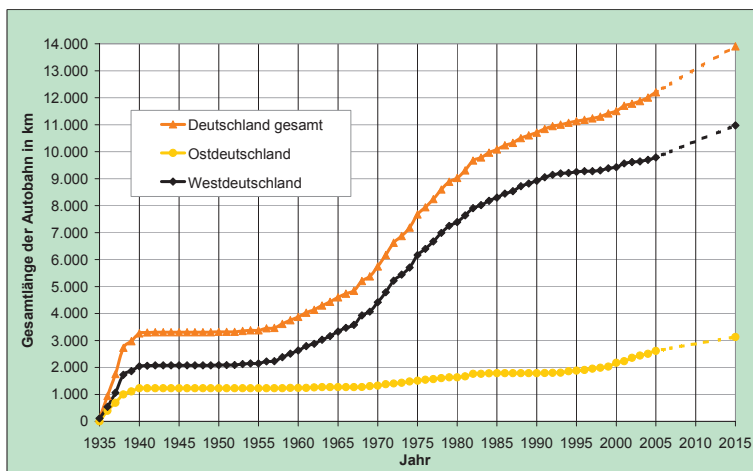
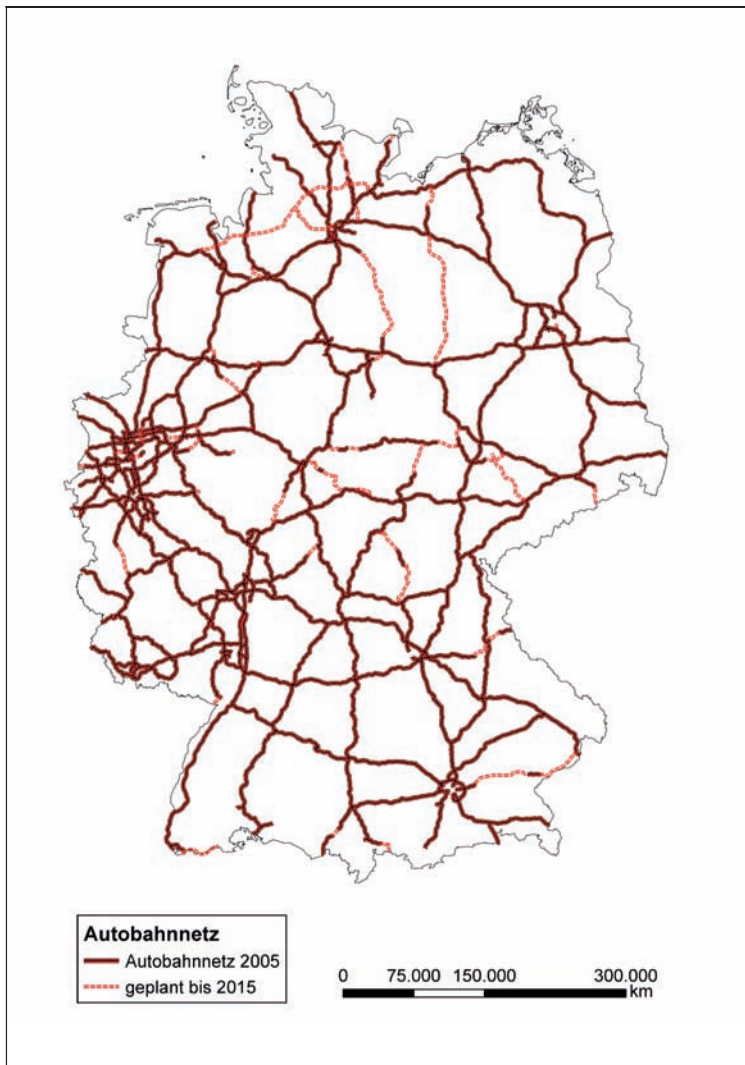


Abb. 1: Längenentwicklung des deutschen Autobahnnetzes (2005–2015 nach BVWP 2003).

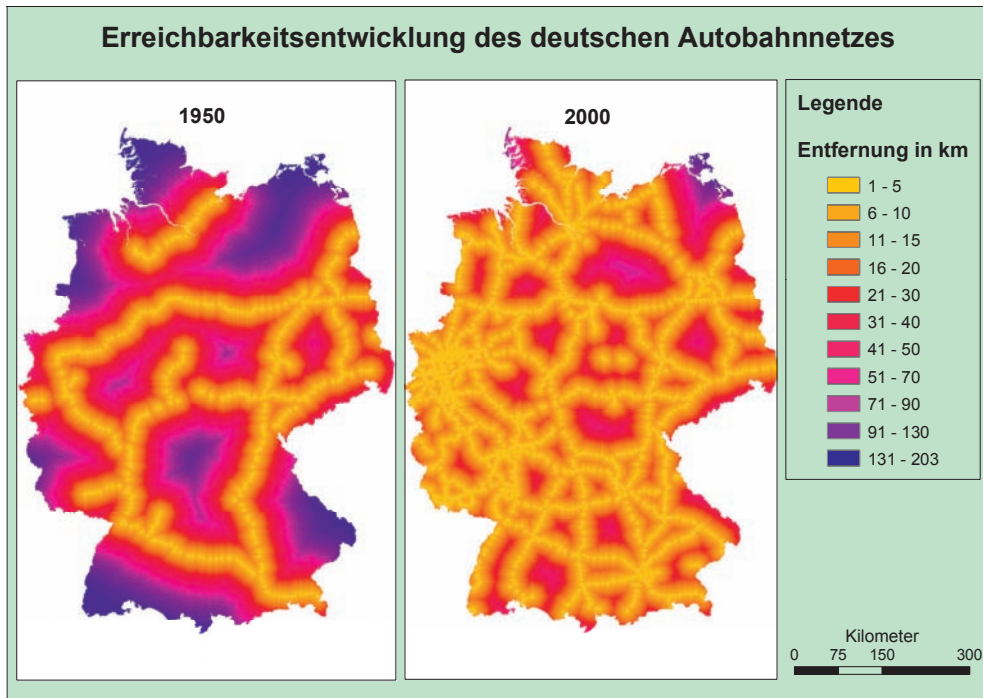


**Abb. 2:** Autobahnnetz Deutschland einschließlich geplanter Trassen bis 2015 (BVWP 2003).

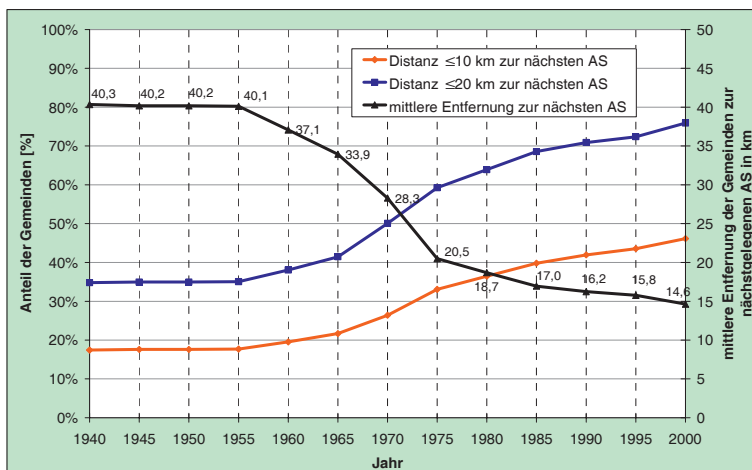
#### 4.1 Entfernung zur nächstgelegenen Anschlussstelle (Rastermodell)

Abb. 3 zeigt die Luftlinienentfernung zum nächstgelegenen Autobahn-AS im Vergleich der Jahre 1950 und 2000 für die Bundesrepublik Deutschland. Grundlage der Berechnung ist eine „Cost-Distance-Analyse“ auf einer Rasterzellengröße von  $1 \times 1 \text{ km}^2$ . Diese Abbildung verdeutlicht nicht nur die stark

verbesserte Erschließungsqualität, sondern auch eine Verschiebung des Schwerpunktes des Autobahnnetzes vom Osten Deutschlands (radiale Verbindungen ausgehend von der ehemaligen Reichshauptstadt Berlin) hin zum Westen (Ruhrgebiet) im Verlauf der letzten 50 Jahre.



**Abb. 3:** Erreichbarkeit der Autobahn in Deutschland im Vergleich der Jahre 1950 und 2000 (minimale Luftlinienentfernung zum nächsten Autobahn-AS berechnet auf einer Rasterzellengröße von 1 km × 1 km).



**Abb. 4:** Entwicklung der Erreichbarkeit der Autobahn (Luftlinienentfernung des Bebauungsmittelpunktes der Gemeinde zur nächstgelegenen Anschlussstelle im Jahr 2000 – mittlere Entfernung und Anteil der Gemeinden mit Distanz ≤ 10 bzw. ≤ 20 km).

#### 4.2 Entfernung zur nächstgelegenen Anschlussstelle (Gemeindebezug)

Die Entwicklung der Erreichbarkeit wurde weiterhin auch auf Basis aller 14.000 Gemeinden (Stand: 2000) ausgehend von dem Bebauungsmittelpunkt bis zum nächstgelegenen Autobahn-AS (Luftlinie) berechnet (Abb. 4). Die Berechnung erfolgte auf Basis des Gebietsstandes 2000, die durchweg kleinteiligere frühere Gemeindegliederung wurde dabei auf den aktuellen Gebietsstand aggregiert und bereinigt. Die mittlere Entfernung vom Bebauungsmittelpunkt der Gemeinden zum nächstgelegenen Autobahn-AS verkürzte sich von 40,3 km im Jahr 1940 auf 14,6 km im Jahr 2000. 46,1% der Gemeinden haben im Jahr 2000 einen AS in maximal 10 km und 75,9% in maximal 20 km Luftlinienentfernung.

#### 4.3 Fahrzeit zur nächstgelegenen Autobahn-Anschlussstelle

Letztlich noch wurde die Erreichbarkeitsentwicklung auf Basis des Straßennetzes Deutschlands (infas GEOdaten GmbH; Stand: 1998) berechnet (Abb. 5). Dazu wurde eine GIS-gestützte Netzwerkanalyse mittels ArcGIS Network Analyst (ESRI) durchgeführt. Grundlagen der Analysen waren neben dem deutschen Straßennetz

auch die Bebauungsmittelpunkte der Gemeinden (Gebietsstand 2000). Da die zugrunde liegenden Straßendaten keine Gemeindestraßen beinhalteten, mussten die Bebauungsmittelpunkte mithilfe einer berechneten kürzesten Linie in das gegebene Straßennetz eingepasst werden.

Zur Berechnung der Fahrzeit musste eine Annahme zu den Durchschnittsgeschwindigkeiten, auf den verschiedenen Straßenabschnitten, getroffen werden: Innerorts Bundesstraße 35 km/h, andere Straßenarten 25 km/h; Außerorts: Bundesstraße 70 km/h, andere Straßenarten 60 km/h (Quelle: Mittelwerte Routenplaner).

Die Netzwerkanalyse erfolgte für die Zeitschnitte 1950, 1960, 1970, 1980, 1985, 1990, 2000 und 2005. Zur besseren Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse sind die Bebauungsmittelpunkte und das Straßennetz nur eines konkreten Zeitschnittes (2000 und 1998) in die Berechnungen eingeflossen. Bei den Berechnungen wurden nicht die zeitlichen Veränderungen der Straßennetzdichte sowie deren jeweiliger Ausbauzustand und auch nicht die Veränderungen der Siedlungsentwicklung seit 1950 berücksichtigt.

Aus Abb. 5 ist zu entnehmen, dass es erhebliche Unterschiede in den benötigten Fahrzeiten zur nächsten Autobahn-Anschlussstelle in den verschiedenen Raumka-

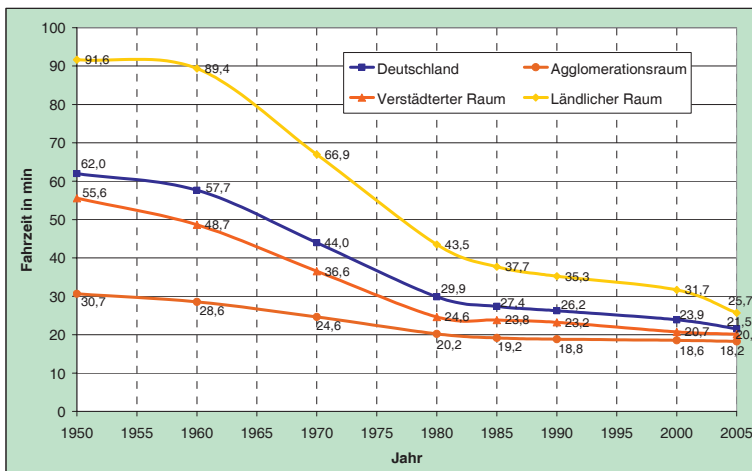


Abb. 5: Durchschnittliche Fahrzeiten vom Bebauungsmittelpunkt einer Gemeinde zur nächsten Autobahn-Anschlussstelle.

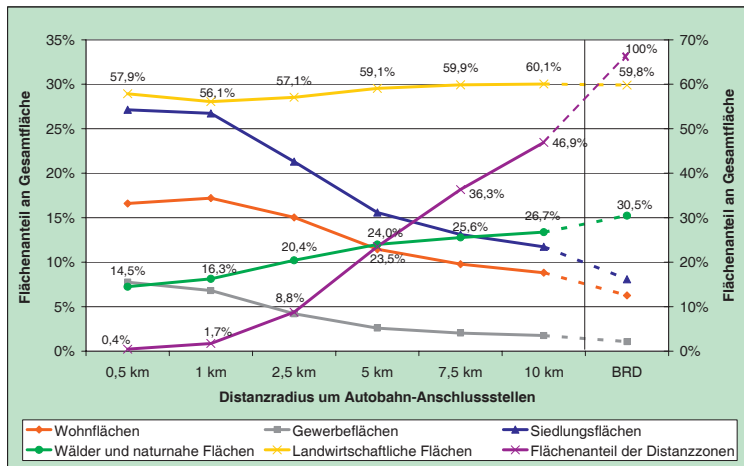


Abb. 6: Flächennutzungsprofile in Kreiszonen unterschiedlicher Größe um BAB-AS (Datengrundlage: CORINE Land Cover 2000).

tegorien gibt. Während im ländlichen Raum im Jahr 1950 noch eine Fahrzeit von 92 min benötigt wurde, war es im Agglomerationsraum nur eine Fahrzeit von 31 min. Durch den massiven Ausbau des Autobahnnetzes bis 2005 wurde besonders eine Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur in den strukturschwachen ländlichen Räumen erreicht, währenddessen der Autobahnausbau der letzten 15 Jahre im Agglomerationsraum kaum eine Fahrzeitverbesserung bewirkte.

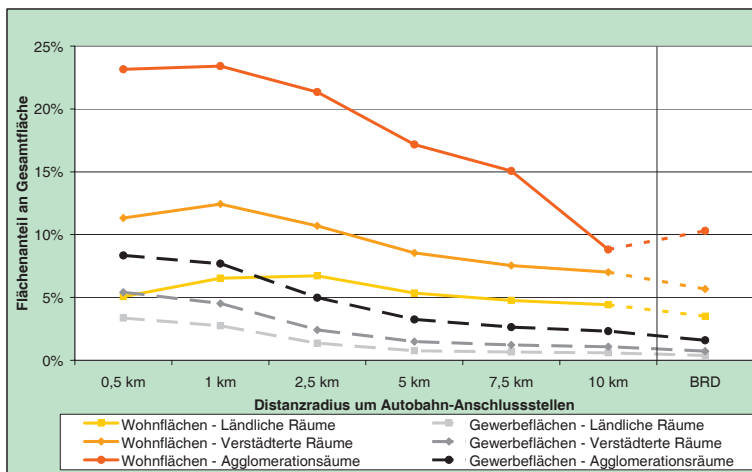
### 5 Flächenwirkung des Autobahnnetzes

Siedlungsentwicklungen erfolgen nach Fertigstellung neuer Autobahnabschnitte bevorzugt in räumlicher Nähe zu Anschlussstellen, da hier die Erreichbarkeitsvorteile besonders stark sind. Um diese Annahme zu prüfen, wurde die Flächennutzung durch Verschneidung des CLC-Flächennutzungsdatensatzes mit Kreiszonen unterschiedlicher Radien um Autobahn-Anschlussstellen analysiert (Abb. 6). Deutlich wird der wesentlich höherer Siedlungsflächenanteil (CLC-Klasse „Bebaute Fläche“) in Autobahnnähe gegenüber dem bundesdeutschen Durchschnitt.

So fällt der Anteil von 27,1% in der 0,5-km-Zone mit zunehmender Größe der

Kreiszonen auf den Gesamtdurchschnittswert von 8,1% und liegt damit um den Faktor 3 in unmittelbarer Autobahnumgebung über dem Bundesdurchschnitt. Noch stärker fällt diese Tendenz für die Gewerbe- und Industrieflächen aus (CLC-Klasse „Industrie- und Gewerbe“), deren Anteil von 6,7% auf 0,9% im Bundesdurchschnitt fällt (Faktor 7!). Der Waldflächenanteil (CLC-Klasse „Wald und naturnahe Fläche“) ist in Autobahnnähe mit 14,5% nur halb so hoch wie im gesamtdeutschen Durchschnitt (30,5%) während der Anteil Landwirtschaftsfläche (CLC-Klasse 2) mit knapp 60% über die verschiedenen Distanzzonen nahezu konstant ist.

Werden die Flächennutzungsprofile nach den siedlungsstrukturellen Regionstypen des BBR (2005) differenziert, so ergibt sich ebenfalls eine eindeutige Tendenz (Abb. 7). Sowohl der Anteil der Wohn- als auch der Industrie- und Gewerbeflächen nimmt mit der Entfernung von den BAB-AS ab. Diese Tendenz ist in Agglomerationsräumen besonders deutlich, liegt doch der Wohnflächenanteil in Autobahnnähe um den Faktor 2,2 und bei den Industrie- und Gewerbeflächen um den Faktor 5 über dem bundesdeutschen Durchschnitt für diese Raumkategorie. Die gleiche Tendenz allerdings bei geringeren Flächennutzungsanteilen findet



**Abb. 7:** Wohn-, Industrie- und Gewerbeflächenanteil in Kreiszonen unterschiedlicher Größe um BAB-AS differenziert nach Raumkategorien (Datengrundlage: CORINE Land Cover 2000, siedlungsstrukturelle Regionstypen des BBR).

sich in verdichteten und ländlichen Räumen.

Dass der Wohnflächenanteil in Agglomerationsräumen und verdichteten Räumen erst in 1 km und bei ländlichen Räumen erst in 2,5 km Distanz zur Autobahn sein Maximum erreicht, kann darauf zurückgeführt werden, dass eine sehr große Wohnnähe zur Autobahn, bedingt durch Lärm- und Schadstoffbelastung, wenig attraktiv ist.

Weiterhin wurden die Flächennutzungsänderungen zwischen 1990 und 2000 infolge des Autobahnbaus erhoben und mit den Siedlungsentwicklungstendenzen in Eisenbahnkorridoren verglichen (MEINEL, REICHERT & KILLISCH 2005). Der Zusammenhang zwischen Autobahnerschließung und ausgewählten Bevölkerungs- und Wirtschaftszahlen wird bei REICHERT (2005) diskutiert.

## 6 Zerschneidungswirkung

Die große Breite von Autobahnen in Kombination mit den Leitplanken, ihren teils steilen Böschungen, streckenweise vorhandenen Lärmschutzwänden bzw. Einzäunung sowie das generell hohe Verkehrsaufkommen bei sehr hohen Verkehrsgeschwindigkeiten stellen eine erhebliche Barriere

dar, deren Überwindung vielen Tierarten schwer oder auch unmöglich ist. Ohne die Möglichkeit eines adäquaten genetischen Austausches kommt es aber zur genetischen Verarmung und Degeneration der betroffenen Populationen, die bei Unterschreitung einer bestimmten Individuenzahl auch in den betroffenen Flächen zum Aussterben der Population führen können (JAEGER 2002).

In die folgenden Berechnungen der Zerschneidungswirkung wurden ausschließlich Autobahntrassen einbezogen. Dieses Vorgehen schien gerechtfertigt, da die Trennwirkung von Autobahnen extrem hoch ist bzw. eine vollständige Trennung darstellt im Vergleich zu anderen Straßenkategorien. Auch die Datenlage gestattete keine vollständige Berücksichtigung des Nichtautobahn-Strasennetzes, sollten die Untersuchungen doch über einen Zeitraum von über 60 Jahren geführt werden. Zerschneidungsmindernde Bauwerke wie Brücken, Tunnel, Landschafts- und Grünbrücken konnten nicht berücksichtigt werden, da hierfür deutschlandweit keine Daten zur Verfügung standen. Derartige Elemente (z. B. Grünbrücken) mildern die Zerschneidungseffekte einer Straße meist auch nur lokal (Bundesministerium für Verkehr 1997) und haben



damit nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtergebnisse der Berechnungen zur Zerschneidungswirkung von Autobahnen.

Auf Grundlage der Gesamtfläche  $F_g$  und der durch die Zerschneidung resultierenden Teilflächen  $F_i$  wurden die Zerschneidungsindizes Kohärenzgrad C, effektive Maschenweite (Abb. 8) und der Zerstückelungsindex (Abb. 9) nach JAEGER (2002) auf Basis der Autobahn-Geometrien beginnend ab 1950 im 10-jährigen Zeitabstand berechnet.

Die effektive Maschenweite  $m_{eff}$  gibt die wirksame Größe der „Maschen“ des Autobahnnetzes wieder. Dieses entspricht der effektiven Größe der verbleibenden Lebensräume. Sie berechnet sich wie folgt:

$$m_{eff} = \frac{1}{F_g} \sum_{i=1}^n F_i^2$$

Der Kohärenzgrad C drückt die Wahrscheinlichkeit aus, dass zwei Tiere, die an

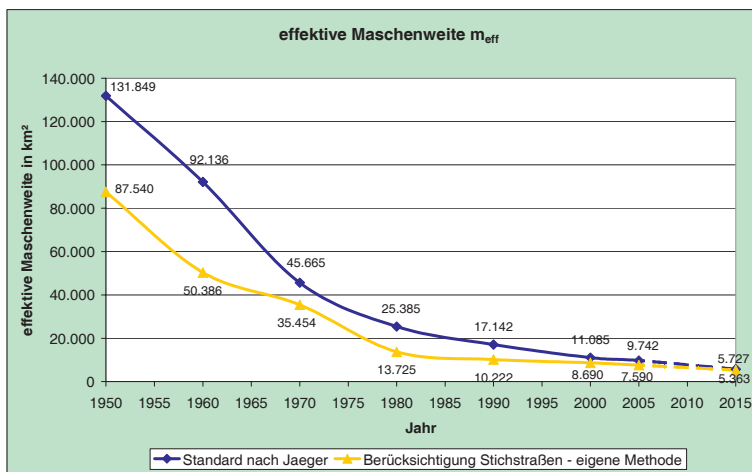


Abb. 8: Entwicklung der effektiven Maschenweite (nach Methode von JAEGER und modifizierter Berechnungsmethodik).

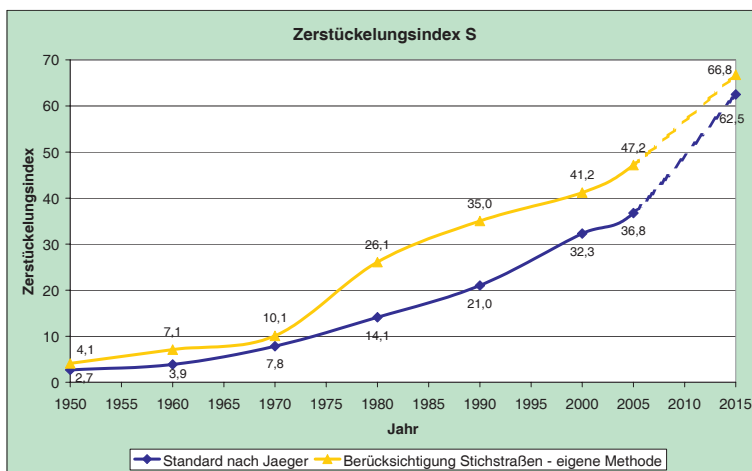


Abb. 9: Entwicklung des Zerstückelungsindex S (nach JAEGER und modifizierter Berechnungsmethodik unter Berücksichtigung der Stichstraßen).

zwei beliebigen Punkten im Raum ausgesetzt werden, sich in derselben unzerschnittenen Fläche befinden. Sie berechnet sich nach:

$$C = \frac{1}{F_{\text{ges}}^2} \sum_{i=1}^n F_i^2.$$

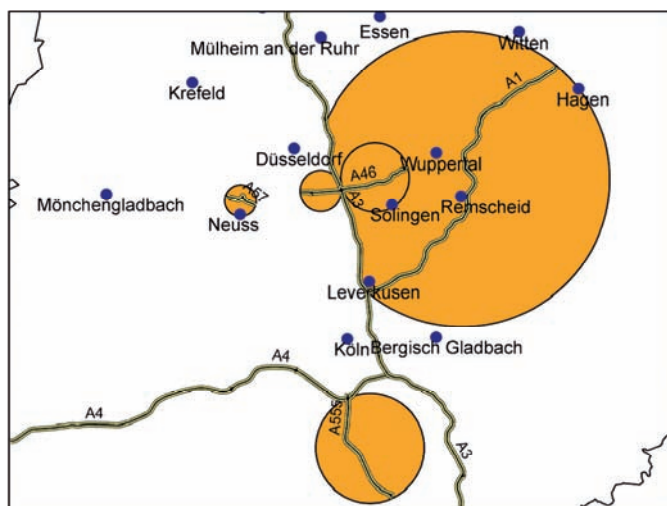
Der zum Kohärenzgrad  $C$  reziproke Zerstückelungsindex  $S$  gibt an, welche „Maschenzahl“ des Autobahnnetzes wirksam ist. Je größer  $S$ , umso stärker ist die Zerschneidung. Während der Zerstückelungsindex  $S$  die Stärke der Zerschneidung anzeigt, gibt  $m_{\text{eff}}$  die wirksame Größe der Teilflächen (Netzmaschen) an.

Alle drei Indizes zeigen die starke Zunahme der Zerschneidungswirkung durch den Autobahnausbau. Von 1950 bis 2015 ist eine relativ starke Entwicklung der Landschaftszerschneidung ablesbar. Der Zerschneidungseffekt steigt um das 23-fache bei einer Vervielfachung der Netzlänge der Autobahn. Bei einem geplanten Neubau von 1.900 km Autobahntrassen bis zum Jahre 2015 würde sich die Landschaftszerschneidung gegenüber 2005 fast verdoppeln, obwohl das Autobahnnetz „nur“ um knapp 15% erweitert wird, da viele bisher ungeschlossene Autobahnabschnitte (Stichbahnen) bis 2015 geschlossen werden sollen und dann erst eine komplette Flächenzerschnei-

dung darstellen. Weiterhin sind einige Autobahnabschnitte geplant, die noch vorhandene große unzerschnittene Flächen zerteilen und somit den Zerschneidungsindex drastisch heraufsetzen (A14 von Magdeburg nach Schwerin bzw. A20 von Rostock bis zur A11).

Nachteilig bei der Berechnung nach JAEGER ist, dass Autobahnabschnitte ohne Anbindung an das Autobahnnetz (offene Abschnitte wie z. B. schon fertig gestellte Teilstücke in der Nähe großer Städte) oder auch Autobahnabschnitte, die zum Untersuchungszeitpunkt nur einseitig ans Netz angebunden sind (Stichabschnitte), nicht berücksichtigt werden, obwohl auch diese eine Zerschneidungswirkung haben. Derartige Autobahnabschnitte sind im Zuge des Autobahnausbaus sehr häufig zu finden und müssen in die Berechnung der Zerschneidung einbezogen werden. Darum wurde das Berechnungsverfahren nach JAEGER folgendermaßen modifiziert (Abb. 10):

Es wird ein Kreis mit einem Durchmesser um die Stichabschnitte konstruiert, der der Länge der Luftlinienentfernung vom Anfangs- bis Endpunkt der Stichabschnitte entspricht. Die so konstruierte Kreisfläche muss angesichts der durch sie hindurchführenden Autobahn als zerschritten gelten. Diese Kreisfläche wird darum von der Rest-



**Abb. 10:** Konstruktionsprinzip der zerschnittenen Teilräume durch Stich- und Offenabschnitte.

fläche abgezogen und geht als separate Fläche in die Berechnung der Zerschneidungsindizes ein.

Aus dieser Berechnungsmodifikation resultiert eine realistischere Beschreibung der Zerschneidungsentwicklung (Abb. 8 und 9). Auch mit dieser Methode ist eine Vergrößerung des Zerschneidungseffektes von 1950 bis 2015 ersichtlich, wobei der Zerschneidungseffekt etwas weniger stark ausfällt (16-fach größere Zerschneidungsindizes 2015 gegenüber 1950).

Insgesamt ist die Zerschneidungsintensität in allen Zeitschnitten stärker ausgeprägt als nach der Methode von JAEGER, da hier auch der Einfluss von Stich- und Offenabschnitten berücksichtigt wird. Interessanterweise ist der Zerschneidungsindex im Jahr 2015 bei beiden Methoden etwa gleich groß. Dies ist in dem nur noch geringen Stichabschnittanteil im Autobahnnetz des Jahres 2015 begründet.

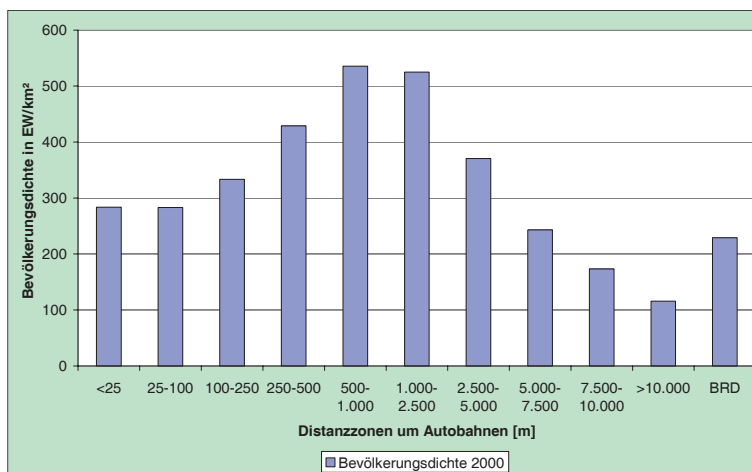
## 7 Lärmwirkung

Die hohe Verkehrsdichte, in Kombination mit den hohen mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten, führt zu einer starken Lärmwirkung im Umfeld der Autobahntrassen. Diese stellt eine erhebliche Beeinträchtigung für Mensch und Tier dar. Der Mensch mindert die Lärmwirkung durch einen gewissen Ab-

stand der Wohnbebauung oder Lärmschutzmaßnahmen. So ist der Wohnnutzungsanteil unmittelbar an den Autobahntrassen in den Distanzzonen  $< 0,5$  km deutlich unter dem Wohnnutzungsanteil in der Distanzzone 0,5–1 km (siehe Abb. 11), während die lärmunempfindlichere Gewerbenutzung in der Distanzzone bis 0,5 km ihren höchsten Anteil hat.

Um nun auf die Zahl betroffener Einwohner in den einzelnen Distanzzonen zu schließen, wurden gemeindebezogene Einwohnerzahlen auf die Wohnflächen (CLC-Klasse 1) räumlich disaggregiert. Wie Abb. 11 zeigt, ist die Bevölkerungsdichte in unmittelbarer Autobahnnähe geringer als in größerer Entfernung (Maximum der Bevölkerungsdichte in Distanzzone 0,5–1 km). Allerdings liegt diese immer noch über dem Bundesdurchschnitt, was auf eine doch erhebliche Zahl von lärmbeeinträchtigten Wohnstandorten schließen lässt.

Für das Autobahnnetz wurde die Entwicklung der verlärmten Fläche durch Pufferzonenbildung in verschiedenen beidseitigen Distanzen von 25 bis 500 m berechnet (Abb. 12). Im Ergebnis ist festzustellen, dass sich die verlärmte Fläche seit 1950 fast vierfacht hat und inzwischen für den Distanzbereich 0–500 m ca. 12 000 km<sup>2</sup> (3,5% der Fläche der Bundesrepublik) im Jahr 2005 beträgt.



**Abb. 11:** Bevölkerungsdichte in den Distanzzonen um die Autobahnen von 0 bis 500 m in der BRD im Jahr 2000.

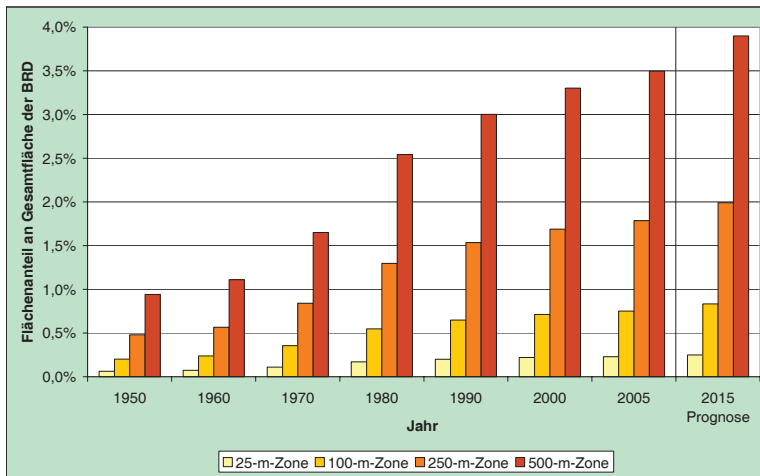


Abb. 12: Entwicklung der verlärmten Flächen in verschiedenen Distanzzonen um die Autobahn.

### 8 Flächenprognose infolge des Autobahnausbaus

Aus den Untersuchungsergebnissen können für die zukünftige Planung von Autobahntrassen prognostische Aussagen bezüglich der zu erwartenden induzierten Flächenentwicklung für Wohn- und Gewerbegebiete an BAB-AS getroffen werden. Grundlage sind die ermittelten mittleren Flächennutzungs-

profile in verschiedenen Kreisradien um Anschlussstellen in Abhängigkeit von deren Lage in siedlungsstrukturellen Regionstypen (BBR-Klassifikation). Durch Differenzbildung zwischen den ermittelten mittleren Flächennutzungsprofilen um Autobahn-Anschlussstellen und den bundesdeutschen Durchschnittswerten der Flächennutzung in den verschiedenen siedlungsstrukturellen Regionstypen kann die zu erwartende Sied-

Tab. 1: Prognose der Siedlungsflächenentwicklung durch den Autobahnbau bis 2015 (Grundlage: BVWP 2003).

| Regionstyp   |            | Agglomerationsraum | Verstäd-<br>terter Raum | Ländlicher<br>Raum | Insgesamt |
|--|------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-----------|
| Anzahl BAB-AS  |            | 1.077              | 742                     | 327                | 2.146     |
| Mittlerer Abstand der BAB-AS [km]  |            | 4,6                | 6,4                     | 7,6                | 7,3       |
| Geplante Neubautrassenlänge bis 2015 [km]                                    |            | ca. 650            | ca. 610                 | ca. 630            | 1.890     |
| Prognose Anzahl neuer AS bis 2015  |            | ca. 141            | ca. 96                  | ca. 83             | ca. 320   |
| Mittlerer Siedlungsflächenanteil um BAB-AS [%]<br>= prognostizierter Endwert | R = 0,5 km | 39,3               | 22,8                    | 13,6               |           |
|  | R = 1 km   | 38,6               | 21,9                    | 12,6               |           |
|  | R = 2,5 km | 32,2               | 16,3                    | 10,0               |           |
| Absoluter Siedlungsflächenzuwachs gesamt in Deutschland [ha]                 | R = 0,5 km | 257                | 203                     | 294                | 754       |
|  | R = 1 km   | 823                | 413                     | 866                | 2.102     |
|  | R = 2,5 km | 2.091              | 1.538                   | 2.528              | 6.157     |

lungsentwicklung lokal, regional und insgesamt für Deutschland abgeschätzt werden (Tab. 1).

Für eine Abschätzung der Bodenversiegelungseffekte infolge der im BVWP 2003 geplanten Autobahnneubauten für die gesamte Bundesrepublik musste zuerst die Anzahl neuer Anschlussstellen abgeschätzt werden, da diese nicht im BVWP festgelegt ist. Dazu wurde die mittlere Entfernung der bestehenden Anschlussstellendistanzen für die verschiedenen siedlungsstrukturellen Regionstypen zugrunde gelegt. Aus der resultierenden Gesamtzahl neuer Anschlussstellen und der Differenz der Anschlussprofile mit den bundesdeutschen Durchschnittswerten wurden die Siedlungseffekte in den Kreisradien 0,5 km, 1 km und 2,5 km kumuliert. Es ergeben sich demnach durch den Bau der geplanten 1.900 Autobahn-Kilometer mit prognostizierten 320 Anschlussstellen neue Siedlungsflächen von insgesamt ca. 6.150 ha im 2,5-km-Umkreis der Anschlussstellen. Diese Entwicklungen erfolgen natürlich in einer zeitlichen Verzögerung nach Fertigstellung der Autobahnen über einen Zeitraum von bis zu 15 Jahren. Diese Siedlungsentwicklungen mit ihren einhergehenden Flächennutzungsänderungen, Bodenversiegelungen und Landschaftszerschneidungen sollten in Zukunft schon in der Autobahnplanung berücksichtigt werden, um zu einer ganzheitlichen Bewertung der Neubaustrecken zu kommen.

## 9 Ausblick

Die vorliegende Untersuchung zeigt die Möglichkeiten einer GIS-gestützten Flächen- bzw. Netzlängenbilanzierung über große Entwicklungszeiträume hinweg. Im Ergebnis können verschiedenste Wirkungen – in diesem Falle die Raum- und Umweltwirkung des deutschen Autobahnnetzes und seiner Entwicklung – bilanziert werden. Diese betrifft sowohl die die Verbesserung der Erreichbarkeit (Reisezeitverkürzung), als auch Umwelt- und Raumwirkungen (Bodenversiegelung und -überbauung, Verlärmung, Flächenzerschneidung).

Für derartige Untersuchungen sind Geodaten erforderlich, die bezüglich der früheren Zeitschnitte meist mühsam recherchiert, aufbereitet und kartiert werden müssen. Gerade im Fall von Flächennutzungserhebungen ist dieses mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. Darum wäre wünschenswert, dass sowohl die topographische Landesaufnahme als auch Fachbehörden zunehmend nicht nur aktuelle Geodaten bereitstellt, sondern sukzessiv auch ältere raumbezogene Daten digital verfügbar machen. Selbst der Zugriff auf schon digital erhobene und vorliegende Daten früherer Zeitschnitte ist derzeit oft nicht möglich, da die Verwaltungsverfahren meist nur auf die Bereitstellung aktueller Daten ausgerichtet sind und keine Versionsverwaltung betrieben wird. Im Sinne aber eines in vielen Bereichen erforderlichen Monitorings wäre dieses in Zukunft dringend erforderlich.

## Literatur

- BBR, 2005: Raumordnungsbericht 2005. – Berichte Band 21, Hrsg.: BBR, Bonn, 2005, ([www.bbr.bund.de/raumordnung/raumentwicklung/raumkategorien.htm](http://www.bbr.bund.de/raumordnung/raumentwicklung/raumkategorien.htm))
- Bundesministerium für Verkehr, 1997: Bioökologische Wirksamkeit von Grünbrücken über Verkehrswege. – *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 1998, (756): 1–78.
- Bundesministerium für Verkehr, 2003: Straßenbedingte Auswirkungen auf die Pflanzen- und Tierwelt benachbarter Biotope. – *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 2003, (865): 1–136.
- Bundesverkehrswegeplan, 2003: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, [www.bmvbw.de](http://www.bmvbw.de)
- CORINE Land Cover (CLC) – Technical Guide, 1997: European Environment Agency, ETC/LC.
- CORINE-Land-Cover-Daten (CLC2000) für Deutschland, 2004: Umweltbundesamt, [www.corine.dfd.dlr.de/data\\_de.html](http://www.corine.dfd.dlr.de/data_de.html)
- Datensatz zur Bodenbedeckung, 1997: Statistisches Bundesamt Wiesbaden.
- GATHER, M., 1999: Regionale Effekte des Fernstraßenbaus in den neuen Bundesländern. – Forschungsprojekt, Fachhochschule Erfurt.
- GLAWION, R., 2002: Ökosysteme und Landnutzung. – *Physische Geographie Deutschlands*, 289–319.

- Grundzüge der gesamtwirtschaftlichen Bewertung des Bundesverkehrswegeplanes 2003, 2002: BMVBW.
- JAEGER, J., 2002: Landschaftszerschneidung. – Verlag Eugen Ulmer.
- Leitlinien für eine nachhaltige räumliche Entwicklung auf dem europäischen Kontinent, 2000: Europäische Raumordnungsministerkonferenz (CEMAT), 2000 (7).
- LIEDTKE, H. & MARCINEK, J., 2002: Physische Geographie Deutschlands. – Justus Perthes Verlag Gotha GmbH, Gotha, 3. Aufl.
- LUTTER, H., 1981: Raumwirksamkeit von Fernstraßen. – Informationen zur Raumentwicklung, 3/4: 306ff.
- MEINEL, G., REICHERT, S. & KILLISCH, W., 2005: Raumwirkung des deutschen Autobahnnetzes – Ergebnisse einer GIS-gestützten Analyse. – Angewandte Geoinformatik 2005, Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg; Strobl, Blaschke, Griesebner (Hrsg.); 430–436.
- REICHERT, S., 2005: Raum-zeitliche Analyse der Entwicklung des deutschen Autobahnnetzes und seiner spezifischen Wirkung auf die Flächennutzung und ausgewählte Wirtschafts- und Bevölkerungsdaten. – Diplomarbeit, TU Dresden, 2005 (unveröff.).
- SIEDENTOP, S. & MEINEL, G., 2004: CORINE Land Cover 2000 in Nation-wide and Regional Monitoring of Urban Land Use and Land Consumption. – CORINE Land Cover Workshop, Berlin, 2004.
- Anschrift der Verfasser:
- Dr.-Ing. GOTTHARD MEINEL  
e-mail: G.Meinel@ioer.de  
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Weberplatz 1, 01217 Dresden
- Dipl.-Geogr. SASCHA REICHERT  
e-mail: Reichert.Sascha@gmx.de  
LfUG, Postfach 800132, 01101 Dresden
- Prof. Dr. WINFRIED KILLISCH  
e-mail: Winfried.Killisch@tu-dresden.de  
Institut für Geographie, TU-Dresden, 01062 Dresden
- Manuskript eingereicht: Februar 2007  
Angenommen: April 2007