

Nachfrageorientiertes Priorisierungssystem für die ländliche Straßenerhaltung

Peter Sturm und Martin Fellendorf

Zusammenfassung

Abwanderungstendenzen erschweren es den ländlichen Gemeinden, die Finanzierung der Infrastruktur langfristig sicherzustellen. Neben gezielten Investitionen und raumplanerischen Akzenten zur Aufwertung ländlicher Räume werden in vielen Gemeinden die Konzentration auf ein Kernnetz und punktuelle Einsparungen erforderlich sein. Weil die Entwicklung der Straßeninfrastruktur bisher fast ausschließlich auf Wachstum beruhte, sind kaum Methoden für einen kontrollierten Schrumpfungsprozess bekannt. Der vorliegende Artikel präsentiert eine Methodik zur Priorisierung von Straßen und auch strategischen Maßnahmen als Argumentationsgrundlage für eine nachfrageorientierte Finanzmittelverteilung. Des Weiteren liefert die Methodik einen Beitrag zur Anpassung der ländlichen Straßeninfrastruktur an demografische Entwicklungen unter Verwendung von GIS-Daten und unter Berücksichtigung von gemeinwirtschaftlichen und raumplanerischen Aspekten.

Summary

Depopulation poses challenges for rural communities in regard to long-term financing of road infrastructure. Despite investments and certain efforts on spatial planning for the development of rural areas, many communities will need to take saving measures and concentrate on a core network. Road infrastructure has mostly expanded within the last decades. Planning systems for shrinking road infrastructure are hardly available. This paper presents a methodology for the prioritisation of road maintenance in small-scaled rural communities. The demand responsive prioritisation will have an impact on public infrastructure investment. Adapting rural infrastructure to demographic changes will have a long-term effect. The GIS-oriented methodology combines spatial planning and travel demand modelling considering public benefits.

Schlüsselwörter:

Demografischer Wandel, Straßenbedeutung, nachfrageorientierte Priorisierung, Raumplanung, Points of Interest

1 Einleitung

Der demografische Wandel in Form von Zu- und Abwanderungstendenzen für bestimmte Regionen ist in den meisten Ländern statistisch erhebt- und darstellbar. Tab. 1 zeigt beispielhaft österreichische Bezirke mit verhältnismäßig großen prognostizierten Veränderungen bis 2040. Die Zusammenstellung lässt bereits auf dieser Aggregationsebene anhand der Einwohnerdichten erkennen, dass es sich bei den wachsenden Bezirken vorwiegend um städtisches Gebiet sowie Stadtumlandregionen (z. B. Großraum Wien oder Graz Umgebung) handelt. Im Gegensatz dazu befinden sich die von Abwanderung betroffenen Bezirke in ländlich geprägten Regionen mit größerer Distanz zu Landeshauptstädten. Ausgehend von der Bevölkerungsbasis aus dem Jahr 2009 werden bis zum Jahr 2040 zum Teil Bevölkerungsrückgänge bis ca. 15 % prognostiziert.

Da die Budgetmittelverteilung und somit die Finanzierung der Infrastrukturerhaltung im Wesentlichen von Einwohnerzahlen abhängig sind, kommt es in Gemeinden mit Abwanderungstendenzen zu Schwierigkeiten in der Finanzierung der Erhaltung des ländlichen Straßennetzes. Im Österreichschnitt kommen mit rund 13 m/EW, wie in Tab. 2 ersichtlich, im Verhältnis zu anderen europäischen Ländern ohnehin bereits große Straßennetzlängen je Einwohner hinzu. Im Vergleich zu Deutschland und den Niederlanden mit je rund 8 m/EW mag dieser Unterschied zum Teil in topografischen Differenzen begründet liegen. Der deutliche Unterschied in den kommunalen Straßen gegenüber der Schweiz (rund 9 m/EW), die topografisch, strukturell und auch größenordnungsmäßig durchaus mit Österreich vergleichbar ist, verdeutlicht,

Tab. 1: Bevölkerungszahlen und -entwicklung für einzelne ausgewählte Bezirke auf Basis der kleinräumigen Bevölkerungsprognose (Daten von STATISTIK AUSTRIA 2009)

	Einwohner				
	Dichte [EW/km ²]	Anzahl absolut	Prognose relative Veränderung in [%]		
Ausgewählte Bezirke	2009	2009	2020	2030	2040
Murau	22	29.918	-7,0 %	-11,5 %	-15,4 %
Spittal an der Drau	29	79.759	-3,8 %	-6,5 %	-9,2 %
Zwettl	32	44.184	-4,0 %	-6,5 %	-8,6 %
Graz-Umgebung	130	141.226	10,3 %	19,0 %	25,4 %
Tulln (27 km von Wien)	106	69.479	9,8 %	18,6 %	26,3 %
Baden (25 km von Wien)	181	136.283	11,2 %	20,4 %	28,4 %

Tab. 2: Straßennetzlängen je Einwohner im österreichweiten Vergleich (Daten von BMVIT 2015) und in Gegenüberstellung zu anderen europäischen Ländern (Daten von ERF 2011)

	Autobahnen	Überregionale Straßen	Regionale Straßen	Kommunale Straßen	Gesamt	Netzlänge (absolut)
	[Meter pro Einwohner]					[km]
Burgenland	0,28	2,19	4,15	13,60	20,20	5.813
Kärnten	0,44	2,08	2,89	11,70	17,10	9.508
Niederösterreich	0,22	1,91	6,54	16,60	25,30	41.091
Oberösterreich	0,21	1,11	3,09	14,40	18,80	26.845
Salzburg	0,27	1,31	1,26	6,90	9,80	5.219
Steiermark	0,25	1,42	2,76	10,60	15,00	18.286
Tirol	0,26	1,39	1,76	12,00	15,40	11.110
Vorarlberg	0,17	0,87	1,34	8,00	10,40	3.891
Wien	0,02	0,13	0,00	1,40	1,60	2.826
Österreich	0,20	1,22	2,77	8,70	12,90	110.205
Deutschland	0,15	0,49	2,18	5,10	7,90	644.288
Schweiz	0,17	0,05	2,25	6,40	8,90	71.384
Niederlande	0,16	0,14	0,47	7,40	8,20	136.135

dass die kommunalen Siedlungsstrukturen in der Schweiz kompakter sind und es in Österreich verhältnismäßig viele und ausgeprägte Siedlungssplitter gibt. Erkennbar ist, dass die einwohner- und flächenmäßig größten österreichischen Bundesländer eine hohe einwohnerspezifische Dichte des Kommunalstraßennetzes aufweisen. Vor allem in Bundesländern und Gemeinden, die über ein überdurchschnittlich langes Straßennetz verfügen und zudem durch Abwanderung betroffen sind, stellt daher die Finanzierung der Infrastruktur in Zukunft eine Herausforderung dar.

Auch wenn Bestrebungen bestehen den ländlichen Raum zu stärken und durch Investitionen, beispielsweise in den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), sowie durch raumplanerische Maßnahmen eine Trendumkehr bei der Abwanderung in bestimmten Regionen zu erzeugen, wird dies nicht flächendeckend gelingen. Im Sinne der Nachhaltigkeit gilt es daher, eine Infrastruktur aufrechtzuerhalten, die auf die aktuellen und zukünftigen Bedürfnisse der Allgemeinheit ausgelegt und auch für nachfolgende Generationen finanzierbar ist.

In Ostdeutschland, wo demografische Veränderungen verknüpft mit Abwanderung im ländlichen Bereich besonders ausgeprägt sind und daher die Auswirkungen beispielsweise auf die Erhaltung der Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung erheblich sind, gibt es ebenfalls Überlegungen zu nachhaltig finanzierbaren Infrastrukturen. Die Lösungsvorschläge reichen von dezentraler Infrastruktur, organisatorischen Konzepten, neuen Finan-

zierungsstrukturen bis hin zu Rückbau- und Stilllegungsstrategien (vgl. Hillenbrand et al. 2010). Auch in städtischen Gebieten führen demografische Entwicklungen zu Handlungserfordernissen für Wohnungs- und Städtebau. Es kommt hier zu Wohnungsleerständen – ganze Stadtteile sind als gefährdet anzusehen. Als Beitrag zu möglichen Lösungen werden hier u. a. die Kooperation und Zusammenarbeit zwischen den Akteuren verschiedener Sphären und vertragliche Vereinbarungen zur Durchführung von Aufwertungs- und Rückbaumaßnahmen angeführt (Friessecke 2010). Im Zuge der Literaturanalyse konnten keine Veröffentlichungen zu Projekten gefunden werden, die sich speziell mit dem Schrumpfungsprozess für Straßen beschäftigen.

Im Bereich der Straßeninfrastruktur sind aus bautechnischer Sicht Anpassungen an sich wandelnde Situationen durch entsprechende Änderung von Belagsart,

Ausbaugrad, Aufbau der Straßen sowie durch einzelne Rückbaumaßnahmen entsprechend der Nachfrage ebenfalls beherrschbar. Bisher war eine planmäßige Anpassung der Straßeninfrastruktur an die zukünftigen Erfordernisse, nicht zuletzt aufgrund fehlender Methoden, politisch kaum argumentier- und somit durchsetzbar.

Die budgetäre Situation einzelner Länder und Gemeinden erfordert zukünftig neben belebenden und strukturstärkenden Konzepten für den ländlichen Raum für den Bereich der Straßenerhaltung eine Konzentration auf ein zukunftsfähiges Kernnetz, wobei auch im Ergänzungsnetz die Grundversorgung gewährleistet und der Wegehaltungspflicht des § 1319a ABGB nachgekommen werden muss. Unter Einhaltung dieser rechtlichen Prämissen kann auf Straßen geringerer Bedeutung über Einschränkungen nachgedacht werden. Wie bereits durch Hoffmann (2006) beschrieben, ist bei Straßen mit schwerwiegenden Substanzschäden und unter begrenztem Budget das »Liegenlassen« von Teilen des Ergänzungsnetzes als Teil einer effizienten Strategie zweckmäßig. Über längere Zeiträume gerechnet, ergeben sich dadurch verringerte Lebenszykluskosten. Daraus abgeleitet tragen bei entsprechend geringer Bedeutung der Straßen im Falle von Substanzschäden auch Rückbaumaßnahmen von Asphalt- zu Schotterstraßen oder (temporäre) Sperren einzelner Straßensegmente ebenfalls zur Verringerung der gesamten Lebenszykluskosten und zur langfristigen Anpassung des Erhaltungsaufwandes an ein bewältigbares Maß bei.

Um derartige Maßnahmen und Veränderungen objektiv ableiten zu können, ist eine Prioritätenreihung ländlicher Straßen entsprechend ihrer Bedeutung Grundvoraussetzung. Während im höherrangigen Straßennetz die Bedeutung prinzipiell durch Verkehrszahlen über kontinuierliche Messungen oder regelmäßige Zählungen gut abbildbar ist, kann auf kommunaler Ebene in der Regel nicht auf flächendeckende Verkehrsdaten zurückgegriffen werden. Zudem kommt es auf der örtlichen Ebene im kommunalen Bereich zu einem größeren Einfluss von Einrichtungen im Sinne des Gemeinwohls (z.B. Schulen oder Einsatzzentralen), die ebenfalls zu berücksichtigen sind.

In diesem Artikel wird eine Methodik vorgestellt, die es ermöglicht, auf Basis von Grundlagendaten aus geographischen Informationssystemen (GIS) einzelne Straßensegmente entsprechend ihrer Bedeutung zu reihen, Finanzmittel der Straßenerhaltung im Sinne der Allgemeinheit und unter Berücksichtigung gemeinwirtschaftlicher Aspekte zu verteilen und in weiterer Folge die Infrastruktur langfristig an Veränderungen wie den demografischen Wandel sowie an raumplanerische Vorgaben anzupassen.

2 Begriffs- und Zieldefinition

Um Straßen entsprechend ihrer Bedeutung priorisieren zu können, ist es erforderlich, den Begriff »Bedeutung« zu konkretisieren und zu definieren. Die »Bedeutung« selbst wird als Synonym für den Rang einer Sache verwendet. Um den Rang und somit die Bedeutung eines Elementes innerhalb einer Gesamtmenge bestimmen zu können, ist es zu Beginn erforderlich, einerseits die Beurteilungsperspektive zu definieren und andererseits die Maßeinheit zu klären.

Da öffentliche Straßen weitgehend durch Gebietskörperschaften, die öffentliche Hand und somit durch die Allgemeinheit finanziert werden, hat auch die Finanzmittelverteilung für die Erhaltung öffentlicher Straßen im Sinne der Allgemeinheit zu erfolgen, was die Frage nach der Beurteilungsperspektive beantwortet.

Die Beantwortung der Frage nach der Maßeinheit hingegen ist weniger offensichtlich. Hierfür ist es hilfreich, die Frage nach der eigentlichen Aufgabe einer Straße voranzustellen. Hinsichtlich der Aufgabe einer Straße, Verkehr – und somit die Bewegung von Fahrzeugen, Personen und Gütern auf befestigtem Weg – zu ermöglichen, ist es naheliegend, dass die Anzahl der Verkehrsteilnehmer bei der Bestimmung der Bedeutung einer Straße eine wesentliche Rolle spielt. Eine isolierte Betrachtung der Verkehrsbelastung ist jedoch nicht ausreichend, da beispielsweise Einsatzfahrzeugen oder Fahrten im öffentlichen Interesse (z.B. Schulbus) im Sinne der Allgemeinheit eine höhere Bedeutung zukommt. Es gibt sogenannte »Points of Interest«, die für einzelne Gemeinden oder Regionen einen besonderen Stellenwert haben und somit in entsprechend guter Qualität erschlossen sein sollten.

Unter Berücksichtigung all dieser Aspekte bei der Beurteilung der Bedeutung von Straßen ist es möglich, eine momentane Bewertung und Reihung der Straßen unter Berücksichtigung von gemeinwirtschaftlichen Aspekten durchzuführen.

Wie eingangs erläutert, ist die grundlegende Idee, über die Finanzmittelverteilung in der Erhaltungsplanung entsprechend der Bedeutung von Straßen langfristig eine Anpassung an den tatsächlichen Bedarf an Infrastruktur zu ermöglichen und somit u. a. auch auf den demografischen Wandel reagieren zu können. Da Maßnahmen in der Straßenerhaltung in der Regel langfristige Wirkungen von 10 bis 15 Jahren und mehr haben, müssen zusätzlich zur momentanen Bewertung auch Prognosen zur demografischen Entwicklung berücksichtigt werden. Ebenfalls sind raumplanerische Vorgaben zwingend miteinzubeziehen, da einerseits diese Zielsetzungen Auswirkungen auf die zukünftige Entwicklung von Gemeinden und Regionen haben und andererseits politische Anstrengungen zur Förderung von »Abwanderungsgemeinden« durch einen schlechten Straßenzustand nicht untergraben werden dürfen.

Es ist ersichtlich, dass es für eine Methodik zur zukunfts- und nachfrageorientierten Finanzierung der Infrastruktur keinesfalls ausreichend ist, Verkehrszahlen und somit die aktuelle Verkehrsnachfrage zu vergleichen. Vielmehr ergeben sich zahlreiche Einflussfaktoren aus zusammenhängenden verkehrlichen, raumplanerischen und gemeinwirtschaftlichen Aspekten. Die Streckenbedeutung (SB) für den aktuellen Zeitpunkt (t_0) sowie einen Prognosezeitpunkt (t_1) wird somit als Funktion aus Verkehrsbelastung (q), Raumplanungszielen (R) und Zielen für das Gemeinwohl (G) beschrieben:

$$SB(t_0, t_1) = f[q(t_0, t_1), R(t_1), G(t_0, t_1)] \quad (1)$$

Aufbauend auf der aktuellen Verkehrsbelastung $q(t_0)$ wird durch zusätzliche Berücksichtigung von aktuellen Vorgaben für das Gemeinwohl $G(t_0)$ die aktuelle Streckenbedeutung $SB(t_0)$ ermittelt. Durch Einbeziehung von prognostizierten Strukturdaten wird $q(t_1)$ hochgerechnet und durch Hinzuziehen von Raumplanungszielen $R(t_1)$ und zukünftigen Vorgaben zum Gemeinwohl $G(t_1)$ wird letztendlich die Streckenbedeutung zum Zeitpunkt (t_1) ermittelt. Darauf aufbauend kann unabhängig von Betrachtungszeitpunkten folgender linearer Zusammenhang dargestellt werden:

$$SB = \alpha \cdot q + \beta \cdot R + \gamma \cdot G \quad (2)$$

Die variablen Merkmale Verkehrsbelastung (q), Raumplanungsziele (R) und Gemeinwohl (G) werden mit den jeweiligen Koeffizienten zur Streckenbedeutung (SB) aufsummiert.

Unter Implementierung dieser funktionalen Zusammenhänge liefert die Methodik zur nachfrageorientierten Priorisierung Verkehrsteilnehmereinheiten als Ergebnis,

wobei Raumplanungsziele und Vorgaben im Sinne des Gemeinwohls darin bereits mit abgedeckt sind. Damit ist auch die Frage nach der Maßeinheit geklärt.

3 Methodik

Nach einer Beschreibung der Einsatzmöglichkeiten von Verkehrsmodellen (Kap. 3.1) werden die beiden Teile der vorliegenden Methodik vorgestellt. Der erste Teil beschäftigt sich mit der Ermittlung der Bedeutung von Straßensegmenten unter Nutzung eines Verkehrsmodells (Kap. 3.2). Im zweiten Teil wird aufgezeigt, wie der Nutzwert einzelner Maßnahmen (Erhaltungsmaßnahmen, behördliche Maßnahmen, Sperrungen) als Grundlage für Maßnahmenpriorisierungen bestimmt werden kann (Kap. 3.3).

3.1 Einsatz von Verkehrsmodellen

Wie in Kap. 2 beschrieben, stellt die Verkehrsbelastung einen wesentlichen Bestandteil in der Beurteilung der Bedeutung der Straßen dar. Da das österreichische Gemeindestraßennetz rund 89.000 km Straßen (BMVIT 2015) umfasst, ist eine Beurteilung der Verkehrsaufkommen über Verkehrszählungen als Grundlage für Priorisierungen wirtschaftlich nicht vertretbar. Um dennoch eine flächendeckende Aussage über das Verkehrsgeschehen zu erhalten, kann auf Verkehrsnachfragemodelle zurückgegriffen werden, um die Realität abzubilden.

Zur Ermittlung und Prognose des Verkehrsaufkommens werden Verkehrsmodelle in der Praxis vorwiegend von großen Kommunen und Verkehrsministerien für die strategische Ausbauplanung in höherrangigen Verkehrsnetzen eingesetzt. Dazu werden Simulationsszenarien auf Basis von Verkehrsnachfrage- und Umlegungsmodellen herangezogen. Ein derartiges Verkehrsmodell mit aktivitätenorientierter Verkehrsnachfrage existiert für den Großraum Graz. Als Ergebnis liegen stundenfeine Verkehrsbelastungen für den öffentlichen Verkehr (Personen pro Stunde) und den Straßenverkehr (Fahrzeuge pro Stunde) vor (Fellendorf et al. 2011). Detaillierte Verkehrsmodelle unter Nutzung adressscharfer GIS-Daten sind dagegen mit Ausnahme einzelner Forschungsprojekte (Müller und Axhausen 2012) bisher unüblich.

In den letzten Jahren haben sich Funktionalität und Leistungsfähigkeit von Softwaresystemen zur Verkehrsplanung, aber auch Detaillierungsgrad und Aufbereitung der Datengrundlagen in geografischen Informationssystemen geändert. Damit sind makroskopische Verkehrsmodelle der Verkehrsplanung auch für die strategische Priorisierung in der Straßenerhaltung möglich, wie in nachfolgendem Beispiel gezeigt wird.

Während der grundlegende Aufbau von Verkehrsmodellen entsprechend dem klassischen 4-Stufen-Algorithmus mit Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Ver-

kehrsmittelwahl und Verkehrsumlegung durchaus auch für niederrangige Straßen und Wege angewendet werden kann, muss im Speziellen bereits in der Verkehrserzeugung von gängigen Anwendungsmethoden abgewichen werden. Für annehmbare Rechenzeiten sind auch Vereinfachungen erforderlich.

3.2 Ermittlung der Bedeutung von Straßensegmenten

Ein zentrales Element des ersten Teils der Methodik ist die Verschneidung von punktuellen Strukturdaten mit linienförmigen Netzdaten aus geografischen Informationssystemen. Unter Strukturdaten werden z.B. Angaben zu Haupt- und Nebenwohnsitzen, Arbeitsplätzen und Points of Interest verstanden. Um die zukünftigen Entwicklungen in den Ergebnissen in ausreichendem Maß berücksichtigen zu können, sind diese Strukturdaten auf Basis von Bevölkerungsprognosen entsprechend hochzurechnen. Zur Berücksichtigung raumplanerischer Festlegungen und Vorgaben sind auch raumplanerische Entwicklungskonzepte oder -programme in die Prognose mit einzubeziehen. Die Netzdaten beinhalten alle Straßen des Untersuchungsgebietes zuzüglich Informationen zu Belagsart, Geschwindigkeiten, Abbiegerelationen und Anbindungsmöglichkeiten. Wie in Abb. 1 dargestellt, kann aus der Kombination von Strukturdaten und Netzdaten ein Verkehrsnachfragemodell generiert werden, welches die mathematischen Zusammenhänge zur Ermittlung

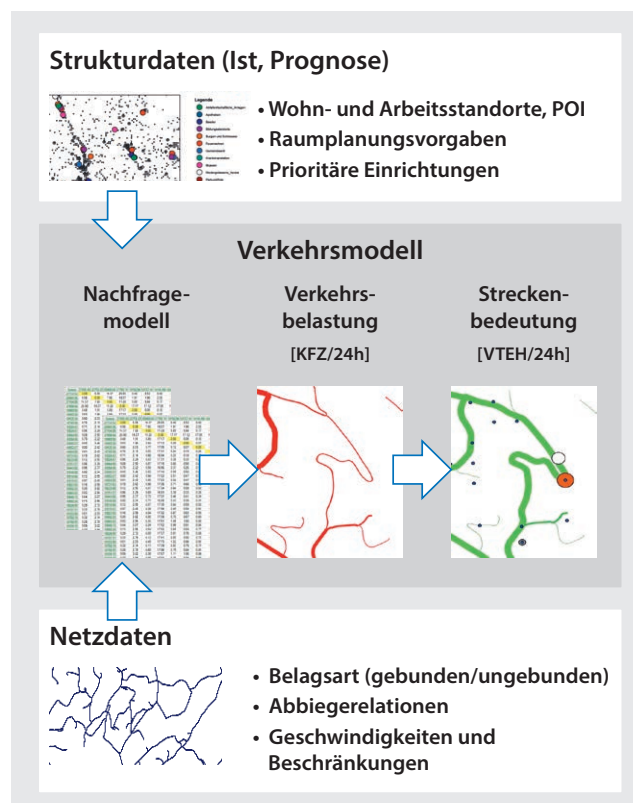


Abb. 1: Methodik zur Ermittlung der Streckenbedeutung aus Struktur- und Netzdaten

der Verkehrsnachfrage beinhaltet. Zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage ist hierbei auf spezifische Verkehrsaufkommen (Schnabel und Lohse 2011) zurückzugreifen. Aus errechneten Kenngrößen- und Nachfragematrizen mit Informationen zu Reisezeiten, Quell- und Zielverkehrsaufkommen sowie Verkehrsströmen werden letztendlich Streckenbelastungen im Netz ermittelt.

Verkehrserzeugende Elemente ergeben sich sowohl aus Aktivitätenorten (z.B. Wohnstandorte, Arbeitsstätten, Einkaufsmöglichkeiten, Freizeiteinrichtungen) als auch aus notwendigen Versorgungseinrichtungen einer Gemeinde (z.B. Feuerwehren, Polizeiinspektionen, Verwaltungseinrichtungen, Schulen). Die dazu erforderlichen Grundlagendaten liegen entweder räumlich differenziert als Strukturdaten oder als adressscharfe Punktdaten (Points of Interest POI) vor. Durch eine Verkehrsumlegung werden die Aktivitätenstandorte miteinander verbunden und führen zu den Verkehrsbelastungen. Aufgrund kleinräumig wichtiger Gemeindeversorgungseinrichtungen können auch gering belastete Streckensegmente für die Aufrechterhaltung des täglichen Lebens einer Gemeinde von hoher Bedeutung sein. Daher ergibt sich die Bedeutung eines Streckensegmentes nicht allein aufgrund seiner Verkehrsbelastung (ausgedrückt durch KFZ/24h). Die Einbeziehung der Erreichbarkeit gemeindewichtiger Standorte muss daher abweichend von einem Verkehrsplanungsmodell ebenfalls berücksichtigt werden. Unter zusätzlicher Bewertung zukünftiger Entwicklungen ergibt sich die Streckenbedeutung, ausgedrückt durch nach gemeinwirtschaftlichen und raumplanerischen Aspekten gewichteten, prognostizierten Verkehrsteilnehmereinheiten pro Zeitintervall (VTEH/24h). Folglich entsprechen die Werte der Streckenbedeutung bereits der im Kap. 2 beschriebenen Einheit und die Werte eignen sich daher unmittelbar als Grundlage für eine nachfrageorientierte Prioritätenreihung. Wie in Abb. 1 ersichtlich, kann Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsbelastungen die gleiche Streckenbedeutung zukommen.

Während die in Abb. 1 dargestellte Vorgangsweise zwar in der Anwendung innerhalb der kommunalen Straßenerhaltung neu ist, bestehen im zugrunde liegenden Algorithmus durchaus Parallelen zu höherrangigen Verkehrsmodellen. Angelehnt an den 4-Stufen-Algorithmus (Schnabel und Lohse 2011) besteht das Verkehrsmodell aus den Schritten Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Verkehrsumlegung. Der Schritt der Verkehrsmittelwahl wurde nicht berücksichtigt, da für die Bewertung der Bedeutung von Straßen die Anzahl der Verkehrsteilnehmer, aber nicht die Wahl der Verkehrsmittel vordergründig ist. Mit dieser Einschränkung kann ohne Verlust an Aussagequalität nicht nur der Bearbeitungsaufwand, sondern auch die Berechnungszeit reduziert werden.

In der traditionellen Herangehensweise wird, wie am Beispiel von GUARD (Fellendorf et al. 2011) in Abb. 2 ersichtlich, das Netzmodell in Verkehrszellen unterteilt, die den politischen Wahlbezirken und Gemeindegebieten entsprechen. Für die einzelnen Verkehrszellen werden

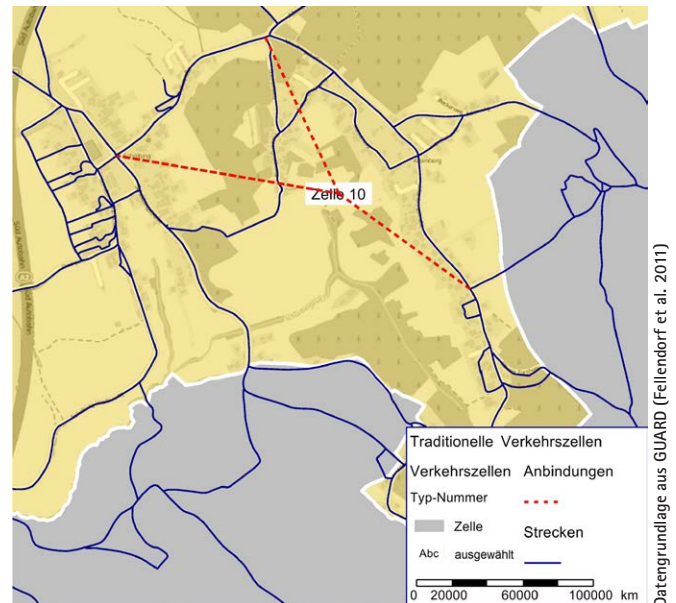


Abb. 2: Netzmodell mit traditionellen Verkehrszellen

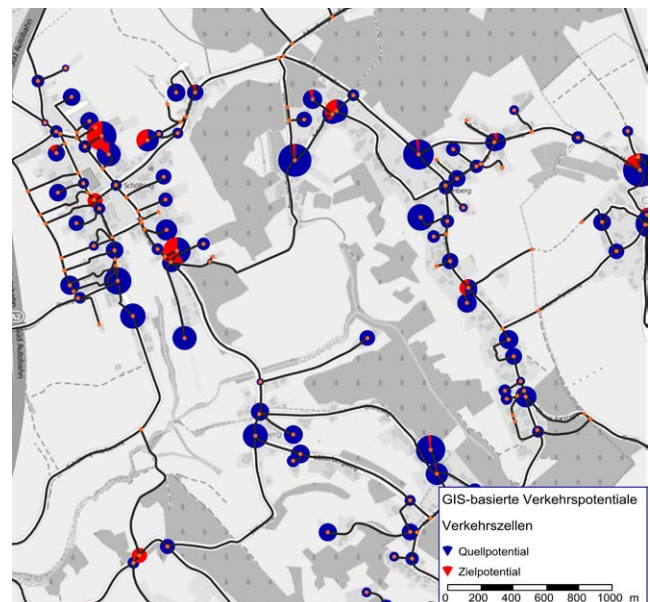


Abb. 3: Verkehrsmodell mit feingliedrigen Verkehrsaufkommenspotentialen aus Strukturdaten und prioritären Einrichtungen

Quell- und Zielpotenziale angegeben, wodurch die Verkehrserzeugung abgeleitet wird (vgl. Schnabel und Lohse 2011).

Im Unterschied dazu findet in der vorliegenden Methodik die Verkehrserzeugung in einzelnen Punkten des Gemeindestraßennetzes statt (siehe Abb. 3). Diese Abwandlung der üblichen Modellierung für höherrangige Netze ist erforderlich, da zur Ermittlung der Bedeutung einzelner Straßensegmente im kommunalen Bereich eine ausreichend detaillierte Struktur in der Verkehrserzeugung Grundvoraussetzung ist.

Als nächster Schritt erfolgt die Verkehrsverteilung durch Erstellung einer sogenannten Verkehrstrommatrix. Damit wird abgebildet, dass prinzipiell jeder Knoten von jedem Knoten aus erreicht werden kann. Die Zielwahl

wird in Abhängigkeit von Widerstand und Anziehungspotenzial ermittelt. Die im Rahmen der Verkehrsverteilung generierten Verkehrsbeziehungen werden im nächsten Schritt auf das Straßennetz umgelegt, das ebenfalls aus geografischen Informationssystemen entnommen werden kann. Somit wird die Routenwahl der Individuen des Verkehrsmodells nachgebildet (vgl. Cascetta 2009). Diese Routenwahl basiert auf einer generalisierten Kostenfunktion, die wiederum auf höherrangigen Netzen in der Regel hauptsächlich durch Reisezeiten und Wegelängen bestimmt wird. Aufgrund der feingliedrigen Struktur der kommunalen Straßennetze gibt es unter Berücksichtigung der Zeit und der Wegelängen häufiger ähnlich »günstige« Routen. Dies führt dazu, dass einerseits Behinderungsfreiheit und Straßenzustand aber auch »weiche« Motive (z.B. Erfahrung oder Erlebnis) eine zu berücksichtigende Rolle spielen (vgl. Wermuth et al. 2006). Während Zustand, Ausbaugrad und Trassierungsparameter höherrangiger Straßen eher gewissen Anforderungen entsprechen, gibt es in Bezug auf die genannten Kriterien im niederrangigen Straßennetz größere Abweichungen von den tatsächlichen Erfordernissen oder Vorgaben. Aus diesem Zusammenhang heraus wird auf kommunaler Ebene Aspekten wie Komfort, Sicherheit (z.B. Gefahr durch Wildwechsel), Winterbefahrbarkeit und Straßenbreite eine größere Rolle in der Routenwahl beigemessen.

Zur Bestimmung der Wegewahl werden in Verkehrsplanungsmodellen belastungsabhängige Widerstandsfunktionen verwendet. Diese Abhängigkeit wird, wie in nachstehender Formel ersichtlich, über das Verhältnis der aktuellen Verkehrsbelastung (q_B) zur Kapazität (q_{max}) hergestellt. Diese gängige Herangehensweise wurde in diesem Modell durch die Berücksichtigung »weicher« Motive ergänzt. Statt einer fahrbaren Reisegeschwindigkeit wird eine empfundene Komfortgeschwindigkeit ($V_{Komfort}$) angenommen. Große Kurvigkeit, starke Steigungen und schlechter Fahrbahnbelag führen zu einem gewichteten Malus (ΔV), während gut ausgebaute Straßen mit gerader Linienführung einen gewichteten Bonus (ΔV) bewirken. Als Basis dient die jeweilige Freifahrtgeschwindigkeit (V_{frei}):

$$V_{Komfort} = \left(V_{frei} \pm \Delta V_{gew. Bonus, Malus} \right) \cdot \left(1 + \alpha \cdot \frac{q_B}{q_{max}} \right)^{\beta} \quad (3)$$

In der Anwendung der Methodik musste auf eine detaillierte Berücksichtigung aller Gemeindestraßen im Bereich des gewählten Untersuchungsraumes geachtet werden. Des Weiteren war es ebenfalls erforderlich, Anschlüsse an das höchstrangige Straßennetz zu gewährleisten, um auch Fernverkehrsfahrten abbilden und in weiterer Folge berücksichtigen zu können. Zur Kalibrierung des Modells wurden u. a. Pendlerströme aus Verkehrskonzepten sowie Verkehrsaufkommen auf höherrangigen Straßen herangezogen.

Im Ergebnis der Streckensegmentbewertung (Abb. 4) kann über die unterschiedlichen Strichstärken die Stra-

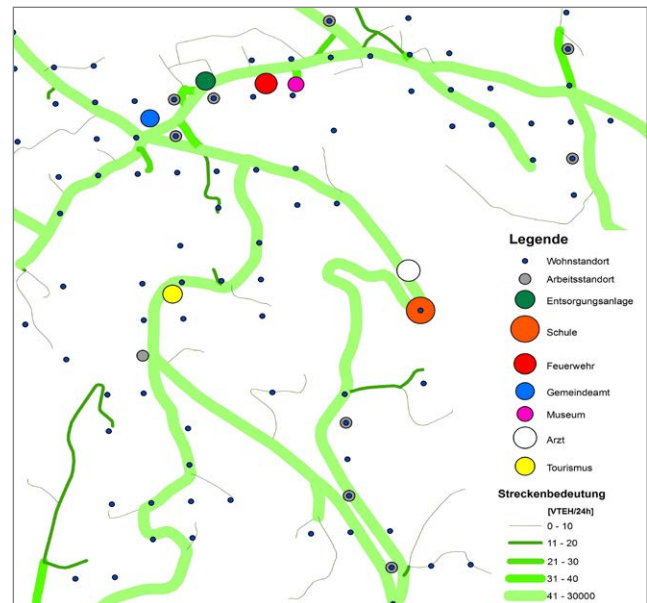


Abb. 4: Darstellung der Streckenbedeutung mit Quell- und Zielpotential

ßenbedeutung in gewichteten, prognostizierten Verkehrsteilnehmereinheiten abgelesen werden.

Die unterschiedlichen Kreise in Abb. 4 symbolisieren die in der Modellierung berücksichtigten Verkehrspotenziale in Form von Wohnsitzen, Arbeitsplätzen sowie Points of Interest. Aufgrund des hohen Detaillierungsgrades ergeben sich Unterschiede zwischen einzelnen Straßensegmenten und somit Bedeutungsunterschiede innerhalb von Straßenzügen. Diese Ergebnisse können als Grundlage für den nachstehend beschriebenen zweiten Teil der Methodik herangezogen werden. Es sei angemerkt, dass der Berücksichtigung verschiedenster zusätzlicher Points of Interest, wie z.B. Betrieben, Freizeiteinrichtungen, Tourismusattraktionen oder weiterer gemeinwirtschaftlicher Aspekte, wie Schulbuslinien keine Grenzen gesetzt sind. Auch der örtliche Detaillierungsgrad ist einzig von Datengrundlagen in den jeweiligen GIS der Länder und Gemeinden abhängig.

3.3 Maßnahmenpriorisierung

Der zweite Teil der Methodik ermöglicht die Ermittlung der Auswirkungen einzelner Maßnahmen, wobei der Begriff »Maßnahmen« nicht nur das Spektrum der Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen zur Verbesserung der Qualität des Bestandes beinhaltet, sondern auch verschiedene Redimensionierungsmaßnahmen, wie z.B. Umbau zur Schotterstraße oder (vorübergehende) Sperren. Daraus wird abgeleitet, dass in dieser Methodik aus den Auswirkungen durch Maßnahmen sowohl positive als auch negative Effekte für Menschen, Raum und Umwelt hervorgehen können. Aus diesem Grund untergliedert sich der Begriff Auswirkungen in diesem Zusammenhang auch in »Nutzen« und »Schaden« von Maßnahmen.

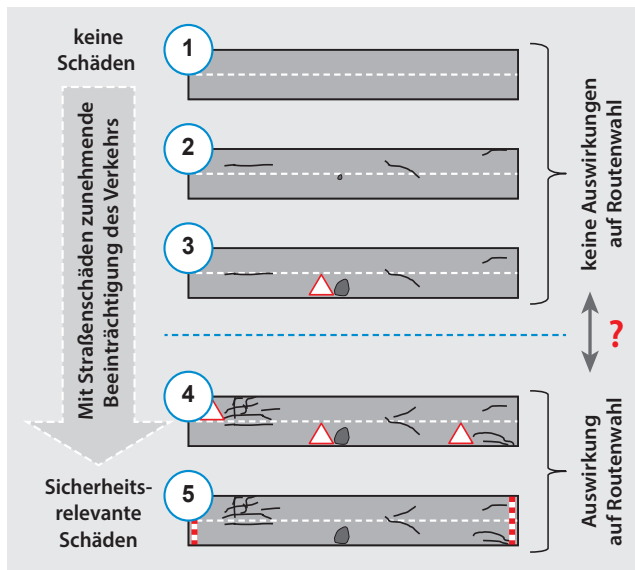


Abb. 5: Zusammenhang zwischen Zustand, Alternativrouten und Routenwahl

Tendenziell können an Straßen mit größerer Bedeutung größere Auswirkungen durch Maßnahmen erwartet werden. Im nachstehenden Abschnitt soll jedoch aufgezeigt werden, dass der Grad der Auswirkungen nicht nur von der Bedeutung der Straßen und der Art der Maßnahme abhängig ist, sondern insbesondere durch den Zustand der bewerteten Straße und den Verlauf von Alternativrouten bestimmt wird.

Die einzelnen zu berücksichtigenden Kriterien resultieren hierbei aus folgendem in Abb. 5 verdeutlichten Zusammenhang zwischen Zustand, Angebot an Alternativrouten und Routenwahl durch die Verkehrsteilnehmer: Während im Zustand 1 keine Auswirkungen zu erwarten sind, ergeben sich im Zustand 2 und 3 Zeitverluste für Verkehrsteilnehmer durch Abbremsen vor Hindernissen. Ab einer bestimmten Verschlechterung des Straßenzustandes ist der Zeitverlust durch die Wahl einer Alternativroute geringer als der Zeitverlust durch Straßenschäden auf der ursprünglichen Route, was zu einer Verkehrsverlagerung führt. Grundvoraussetzung dafür ist selbstverständlich das Vorhandensein von Alternativrouten, wodurch bei reinen Erschließungsstraßen ohne Verbindungsfunktion zwar Zeitverluste durch verringerte Geschwindigkeit aufgrund von Schäden, jedoch nicht aufgrund von Verlagerung des Verkehrs auf Alternativrouten entstehen. Folglich kann es auf reinen Erschließungsstraßen auch nicht zu zusätzlich zurückgelegten Kilometern kommen. In Abb. 5 wurde angenommen, dass Verkehrsteilnehmer ab Zustand 4 Alternativrouten wählen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Verkehrsteilnehmer auf eine Alternativroute ausweicht, ist nicht nur vom Zustand, sondern auch sehr stark vom Angebot an Alternativrouten abhängig. Demnach kann es bei sehr günstigen Alternativrouten bereits bei Zustand 2 und bei sehr ungünstigen Alternativrouten erst bei einer Totalsperre (Zustand 5) zu Verkehrsverlagerungen kommen. Verkehrsmodelle ermöglichen es, genau diese Überlegungen zu berücksichtigen und Auswirkungen

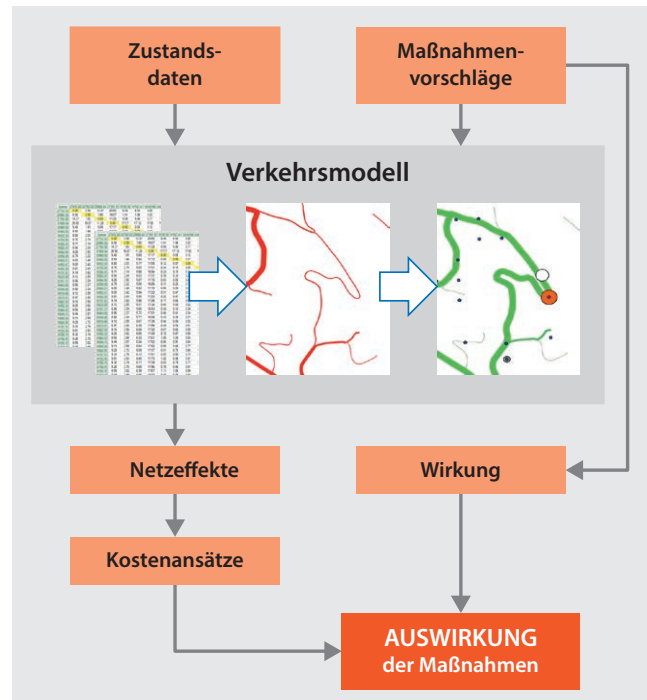


Abb. 6: Methodik zur Ermittlung der Auswirkungen von Maßnahmen

gen auf Reisezeit und Reiselänge in Abhängigkeit des Zustandes zu ermitteln.

Umgekehrt können mittels dieser Überlegung nicht nur Auswirkungen von Straßenschäden, sondern auch von verschiedenen, möglichen Maßnahmen ermittelt werden. Wie Abb. 6 zeigt, sind Auswirkungen (Nutzen oder Schaden) von Maßnahmen für die Allgemeinheit prinzipiell von der Straßenbedeutung abhängig, die sich aus dem Verkehrsmodell ergibt. Jedoch erfordert eine Bewertung zusätzlich Informationen zum Straßenzustand, zu Netzeffekten und Kostenansätzen sowie zu Maßnahmenvorschlägen samt deren voraussichtlicher Wirkung. In diesen Maßnahmenvorschlägen sind verschiedene technisch realisierbare Maßnahmen für verschiedene Straßensegmente entsprechend deren Zustand auszuarbeiten. Da für ein Straßensegment schlechten Zustandes durchaus mehrere Maßnahmen in Betracht gezogen werden können, sind für ein Zustandsproblem je nach technischen Möglichkeiten unterschiedliche Maßnahmen vorzuschlagen. Die Auswirkungen von Maßnahmen können wiederum über zusätzlich gefahrene Zeit sowie zusätzlich zurückgelegte Wegelängen, die dem Verkehrsmodell zu entnehmen sind, und jeweilige Kostenansätze quantifiziert werden.

4 Modellanwendung

Für die Bewertung einzelner Maßnahmen kann wiederum auf das Verkehrsmodell aus dem ersten Teil der Methodik zurückgegriffen werden. Dieses Modell wird um die Informationen des Straßenzustandes erweitert, was z.B. an der grün eingekreisten Stelle zu verringerten fahrbaren

Geschwindigkeiten führt (Abb. 7, Fall a). Eine Maßnahme zur Behebung der Mängel (Abb. 7, Fall b) zieht eine Verringerung der Belastung an Alternativrouten nach sich.

Als gegensätzliches Beispiel wurde in Abb. 8, Fall c angenommen, dass die asphaltierte Straße zu einem Schotterweg rückgebaut wird, was zu einer weiteren Geschwindigkeitsreduktion auf diesem Abschnitt und somit zu einer zusätzlichen Belastung der Alternativroute aufgrund einer Verlagerung des Verkehrs führt. Als letztes Szenario wurde eine Verkehrsumlegung unter Totalsperre des betroffenen Streckensegmentes berechnet (Abb. 8, Fall d). Erwartungsgemäß tritt eine vollständige Verlagerung des Verkehrs auf Alternativrouten auf.

Dieses Experiment mit der Berücksichtigung des Straßenzustandes und der insgesamt drei möglichen Szenarien durch Maßnahmen soll einerseits die Netzwirkungen verdeutlichen und andererseits zeigen, dass auf diese Weise über Verkehrsmodelle Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf Reisezeit und Wegelängen ermittelbar sind. Tab. 3 zeigt sowohl die absoluten Gesamtreisezeiten und -distanzen im betrachteten Netz, als auch die relativen Veränderungen jeweils im Vergleich zum Basisfall (Fall a). Erwartungsgemäß ergeben sich demnach für den Fall b kürzere und bei den Fällen Schotterstraße (Fall c) und Totalsperre (Fall d) längere Zeiten und Wege für die Verkehrsteilnehmer.

Über Kostenansätze aus Richtlinien für Nutzen-Kosten-Untersuchungen, wie beispielsweise der österreichischen Richtlinie RVS 02.01.22 (FSV 2010), werden über diese Zeit- und Kilometerangaben Zeitkosten, Klima-, Schadstoff- und Lärmkosten bestimmt. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Wirkung der Maßnahme können die Auswirkungen (Nutzen und Schaden) von Maßnahmen quantifiziert und den jeweiligen Kosten gegenübergestellt werden.

5 Fazit und Ausblick

Die ersten Anwendungen der Methodik haben gezeigt, dass durch die Verschränkung hoch aufgelöster Netz- und Strukturdaten als Grundlage für Verkehrspotenziale Verkehrsnachfragemodelle auch auf kommunaler Ebene möglich sind. Im Vergleich zu den gängigen Verkehrsmodellen im höherrangigen Straßennetz sind dazu die im Kap. 3.2 beschriebenen Modifizierungen erforderlich. Die Grundlagendaten können dabei direkt aus geografischen Informationssystemen in das jeweilige Verkehrsmodell integriert werden.

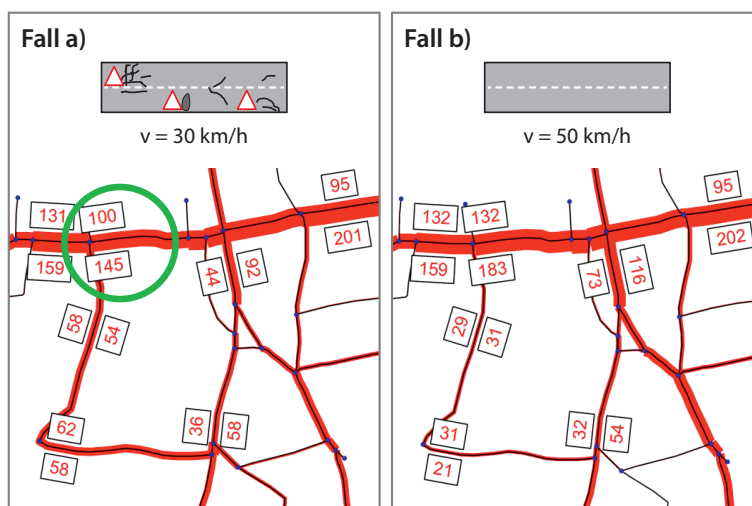


Abb. 7: Basisszenario und Szenario »Instandsetzungsmaßnahme«

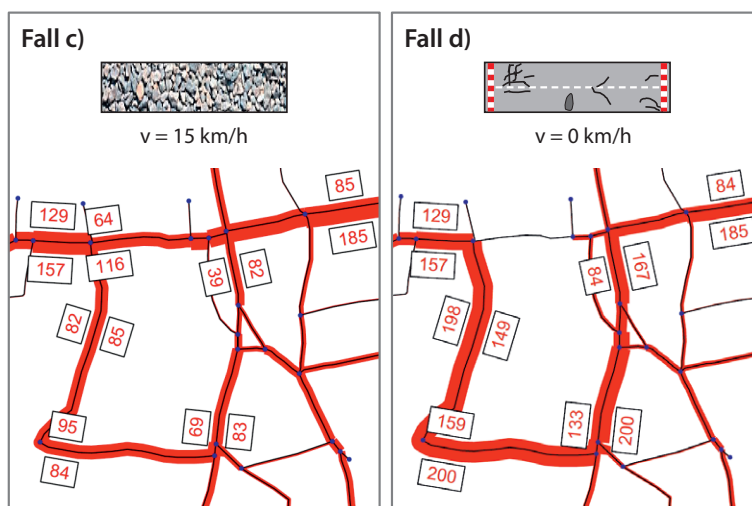


Abb. 8: Szenarien »Schotterbelag« und »Sperre«

Tab. 3: Netzeffekte in Zeit [min] und Weg [km]

absolut (relativ)	Fall a)	Fall b)	Fall c)	Fall d)
Zeit [min]	1.268	1.228 (-40)	1.351 (+83)	1.409 (+141)
Weg [km]	1.052	1.037 (-15)	1.084 (+32)	1.252 (+200)

Die vorgestellte Methodik ermöglicht es, dadurch im ersten Schritt die Bedeutung einzelner Straßensegmente unter vertretbarem Aufwand zu ermitteln und somit die Prioritätenreihungen innerhalb eines Netzes automatisiert und unter Berücksichtigung raumplanerischer und gemeinwirtschaftlicher Aspekte vorzunehmen. Im zweiten Schritt werden dann Aussagen über die Priorität einzelner strategischer Maßnahmen im Sinne der Allgemeinheit getroffen.

Mit dieser Funktionalität kann die Methodik nicht nur als Instrument zur langfristigen und nachhaltigen Anpassung der Infrastruktur an demografische Veränderungen eingesetzt werden, sondern auch als Grundlage für zukünftige Finanzmittelverteilungen in der Straßen-

erhaltung entsprechend des aktuellen und zukünftigen Bedarfs.

Weitere Arbeiten, in denen reale Kostenkennwerte als Grundlage für Maßnahmenpriorisierungen berücksichtigt werden, folgen.

Literatur

- Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch (ABGB) vom 01.06.1811, JGS 946/1811, i. d. F. vom 21.01.2015, BGBl I 29/2015.
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT): Statistik Straße und Verkehr: Österreich in Zahlen. Wien, 2015.
- Cascetta, E.: Transportation Systems Analysis – Models and Applications. Springer, New York, 2nd Edition, 2009.
- European Union Road Federation (ERF): European Road Statistics. Brussels, 10th Edition, 2011.
- Fellendorf, M., Marauli, A., Hansmann, F., Berger, M., Bergmann, U., Frewein, M.: GUARD-Verkehrsmodell aus IWN-Daten. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Forschungsbericht, Wien, 2011.
- Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV): Richtlinie RVS 02.01.22 Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen. Wien, 2010.
- Friesecke, F.: Stadtbau als Gemeinschaftsaufgabe – Argumente für ein neues Planungsverständnis unter Schrumpfungsbedingungen. zfv 135, Heft 3, S. 160–172, 2010.
- Hillenbrand, T., Niederste-Hollenberg, J., Menger-Krug, E., Klug, S., Holländer, R., Lautenschläger, S., Geisler, S.: Demografischer Wandel als Herausforderung für die Sicherung und Entwicklung einer kosten- und ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur. Abschlussbericht zum Vorhaben FKZ 3708 16 305, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2010.
- Hoffmann, M.: Instandsetzung von Straßen – Ein Beitrag zur Lebenszykluskostenrechnung und effizienten Instandsetzungsstrategien für Landes- und Gemeindestraßen. Dissertation, Technische Universität Graz – Fakultät für Bauingenieurwesen, 2006.
- Müller, K., Axhausen, K.W.: Multi-level fitting algorithms for population synthesis. Working paper, 821, Institute for Transport Planning and Systems (IVT), ETH Zurich, 2012.
- Schnabel, W., Lohse, D.: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung: Band 2 – Verkehrsplanung. Beuth Verlag, Berlin, 2011.
- STATISTIK AUSTRIA: Kleinräumige ÖROK-Bevölkerungsprognose 2009–2050. Wien, 2009.
- Wermuth, M., Sommer, C., Wulff, S.: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen. Wirtschaftsverlag N.W. Verlag für neue Wissenschaft, Bremerhaven, 2006.

Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. Peter Sturm
Technische Universität Graz – Institut für Straßen- und Verkehrswesen,
Dissertant, Rechbauerstraße 12, 8010 Graz, Österreich
peter.sturm@student.tugraz.at
und
Dipl.-Ing. Peter Sturm
Stempkowski BBC GmbH, Consultant, Andreas Hofer Platz 5/3,
8010 Graz, Österreich, peter.sturm@stempkowski.at

Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf
Technische Universität Graz – Institut für Straßen- und Verkehrswesen,
Institutsvorstand, Rechbauerstraße 12, 8010 Graz, Österreich
martin.fellendorf@tugraz.at

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaesie.info.