



Dipl.-Ing. Peter Sturm

**Maßnahmenoptimierung im untergeordneten Straßennetz
basierend auf
automatisiert bewerteter Straßenbedeutungen**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der technischen Wissenschaften

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Dissertation identisch.

Datum

Unterschrift

Danksagung

Allen voran danke ich dem Leiter des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf für die Möglichkeit an dieser Dissertation zu arbeiten, um mich in den Bereichen Verkehrsplanung und -modellierung zu vertiefen. Ganz besonders bedanke ich mich auch für die Unterstützung in der Ideenfindung und der anschließenden umfassenden Betreuung samt wertvollen Inputs für die Dissertation. Bei meinen langjährigen KollegInnen (Alex v. D., Alex M., Birgit, Cornelia, Gertrud, Karl, Manuel, Michael C., Michael H., Mohsin, Peter, Robert, Stefan) des Institutes bedanke ich mich für die Zusammenarbeit, die interessanten Gespräche und vor allem dafür, dass sie mich als externen Dissertanten so gut in ihre Runde aufgenommen haben. Ein großes Dankeschön gilt auch DI Dr. Nikolaus Furian (Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik, TU Graz) für die Programmierung eines Auswertungstools. Des Weiteren gebührt Univ.-Prof. Dr.-Ing Christian Lippold (Institut für die Gestaltung von Verkehrsanlagen, TU Dresden) großer Dank für zusätzliche Anregungen und die Zweitbegutachtung der Arbeit.

Ganz besonderen Dank möchte ich an meinen langjährigen Chef FH-Prof. DI Dr. Rainer Stempkowski, der mir die nebenberufliche, wissenschaftliche Tätigkeit ermöglicht hat, richten. Durch die jahrelange Zusammenarbeit in spannenden Aufgabengebieten sowie zahlreichen Diskussionen hat er auch maßgeblich zu meinem persönlichen Reifungsprozess und zu meinem Verständnis für Organisationen, Prozesse, Systeme und Strategien beigetragen. Stellvertretend für alle langjährigen KollegInnen im Büro Stempkowski bedanke ich mich bei den „GrazerInnen“ (Christoph, Daniela, Evelin, Lisa, Maria, Mark, Patrick, Theresa) für die laufende Unterstützung, ihr aufgebrachtes Interesse sowie Verständnis für die nebenberufliche Tätigkeit und für unglaublich viele schöne gemeinsame Tage.

Ich bedanke mich bei allen VertreterInnen des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, denen ich meine Dissertation vorstellen und mit denen ich anregende, praxisbezogene Diskussionen führen durfte. Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei: Ing. Herbert Stern, der mich von Beginn an mit ausgezeichneten Datengrundlagen und großartigem Know-How unterstützt hat; DI Klaus Sauermoser für viele lohnende Gespräche und dafür, dass mir die Türen des Referates „Kommunale Infrastruktur“ jederzeit offen standen; MMag. Fritz Bernhard für viele horizonterweiternde und durchaus kritische Exkurse in unglaublich viele spannende Themenfelder; DI Franz Reiterer für wertvolle, erweiternde Blickwinkel sowie die gemeinsame Pilotstudie innerhalb des Referates „Bauausführung ländlicher Wegebau“; DI Gunther Hasewend für zahlreiche inhaltliche Diskurse und die übergeordnete Koordination der Schnittstellen innerhalb des Landes und zu den Gemeinden.

Ein großes Dankeschön gilt auch Mag. Thomas Iraschko, stellvertretend für die Stadtgemeinde Eisenerz, sowie Reinhold Elsnig, stellvertretend für die Marktgemeinde Leutschach, die mit großem Engagement die Pilotprojekte in den jeweiligen Gemeinden unterstützt haben.

Abschließend möchte ich mich noch meinen privaten Kraftquellen widmen. Ganz besonders herzlich bedanken möchte ich mich bei meiner Lebensgefährtin Christina, die während der letzten Jahre großes Verständnis für meinen Weg aufgebracht hat und auch stets ein offenes Ohr für mich hatte. Meinen Eltern Heribert und Helga und meinen Geschwistern Martin und Sabrina danke ich ganz besonders für die, in so vielerlei Hinsicht, bedingungslose Unterstützung. Großer Dank gilt auch allen Freunden, die dafür gesorgt haben, dass auch in arbeitsintensiven Phasen viele schöne Freizeitmomente Platz fanden.

Kurzfassung

Maßnahmenoptimierung im untergeordneten Straßennetz basierend auf automatisiert bewerteter Straßenbedeutungen

Dichte Straßennetze, knapper werdende Budgetmittel und Abwanderungstendenzen erschweren den Gemeinden und Ländern, die Finanzierung der Infrastruktur langfristig sicherzustellen. Eine Verschlechterung des Straßenzustandes ist daher bereits sichtbar. Neben gezielten Investitionen und raumplanerischen Akzenten zur Aufwertung von Regionen mit Abwanderungstendenzen werden in vielen Gemeinden vermehrt punktuelle Einsparungen und die Konzentration auf ein Kernnetz erforderlich sein. Um Einsparungen sachlich argumentieren zu können, ist die Beurteilung der Bedeutung einzelner Straßen im Sinne der Allgemeinheit Grundvoraussetzung. Zwar gibt es Klassifizierungen des Straßennetzes, jedoch keine automatisierten Methoden zur bedarfsorientierten Priorisierung von Straßen für den kommunalen Bereich. Die vorliegende Arbeit präsentiert eine GIS-basierte Methodik zur Bewertung der Bedeutung von Straßen und die darauf aufbauende Ableitung strategischer Maßnahmen (z.B. Erneuerung, „Liegenlassen“, Redimensionierung).

Die Straßenbedeutung wird als Funktion der Verkehrsbelastung, Aspekten des Gemeinwohls und der zukünftigen Entwicklung definiert. Für die Bewertung einzelner Segmente als Teil des Gesamtnetzes ist der Aufbau kommunaler Verkehrsmodelle erforderlich. Dazu muss von der traditionellen Definition von Verkehrszellen abgewichen werden. In der vorliegenden Methodik werden adressscharfe GIS-Daten punktuellen Einspeisungspunkten zugeordnet. Durch Verschneidung von Struktur- und Netzdaten sowie den Aufbau von Verkehrsnachfragemodellen kann die Bedeutung einzelner Straßensegmente bewertet werden. Für die Beurteilung des Nutzens einzelner strategischer Maßnahmen ist neben der Berücksichtigung des jeweiligen Zustandes samt fahrbaren Komfortgeschwindigkeiten auch die Generierung der Maßnahmenvorschläge pro schadhaftem Segment und die Bewertung der Investitions- und Folgekosten je Maßnahme erforderlich. Über Kosten und Nutzen einzelner Strategien und unter Vorgabe eines Maximalbudgets wird der Gesamtnutzen maximiert. Die optimale Gesamtstrategie wird durch die Auswahl einer singulären Maßnahme je schadhaftem Straßensegment eingeleitet. Die kombinatorische Optimierung wird dabei als „Rucksackproblem“ mathematisch beschrieben, mittels „Linear Programming (LP)“ modelliert und mittels „Solver“ gelöst.

Zur Überprüfung der Funktionalität der Methodik wurden Studien in der Steiermark durchgeführt. Dabei konnte bestätigt werden, dass Straßenbedeutungen GIS-basiert und automatisiert ermittelbar sind. Die Ergebnisse sind im Abgleich mit vorhandenen Bewertungen durch Experten des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung plausibel und weisen überdies einen verbesserten Detaillierungsgrad auf. Anwendungen zur Beurteilung der Straßenbedeutungen sind somit nicht nur für die Neubewertung nach Gemeinde- und Standortzusammenlegungen, sondern auch für die generelle Definition von Kernnetzen und als Entscheidungsbasis in der Finanzmittelverteilung geeignet. Mit der Ableitung strategischer Maßnahmen im Zuge der Straßenerhaltung wird ein Beitrag zur Anpassung der Straßeninfrastruktur an demografische Entwicklungen unter Beachtung gesamtwirtschaftlicher Gesichtspunkte geleistet. Dabei finden rechtliche Pflichten, raumplanerische Ziele und der Substanzerhalt übergeordnete Beachtung. Ebenfalls eignet sich die Methodik zur Argumentation einzelner Erneuerungs- und Umbaumaßnahmen unter begrenztem Budget.

Abstract

Optimisation of measures on secondary road networks based on automated evaluation of road priorities

Dense road networks, shrinking budget and depopulation pose challenges for several communities in regard to long-term financing of road infrastructure. Deterioration of road condition is already detectable. Despite investments and certain efforts on spatial planning for the development of shrinking areas, many communities will need to take cost-saving measures and concentrate on a core network. As a support of decisions of cost-saving measures the assessment of the priority of roads considering public interest is necessary. There are systems for road classification, but currently no automatized demand-based methods for prioritisation of communal roads. This thesis presents a GIS-based methodology for the assessment of road priority and based on this the derivation of strategic measures (e.g. renewal, “doing nothing”, re-dimensioning).

Priority of roads is defined as a function of traffic volume, aspects of common welfare and future development. Evaluation of road priority of single parts of the networks requires the generation of communal traffic models. The traditional way of considering traffic potentials is thereby not appropriate. In this thesis exact located GIS-data are directly allocated to single traffic analysis points. By generating traffic demand models *via* combination of structural and network data the priority of road segments can be evaluated.

The assessment of utility of measures requires consideration of road condition with perceived comfort speeds and the generation of a set of feasible measures for each damaged road segment. Investment and follow-up costs per feasible measure have to be assessed. Considering costs and benefit of different strategies additionally to budget restriction the total utility is maximized. The optimized strategy is initiated by a single measure for each damaged road segment. Combinatorial optimization is formulated mathematically as a “knapsack problem”, modelled on “linear programming (LP)” and solved by a “solver” out of a library.

To verify the functionality of this methodology, different studies were conducted in Styria, Austria. Thereby it was verified that road priorities can be assessed GIS-based and automated. Results are plausible as was confirmed by comparison with already existing evaluations done by experts of the Styrian administration. Moreover the results generated by use of the presented methodology are more detailed.

Assessment of road priority is not only applicable for recalculations after merger of communities or locations but also for definition of core networks. Moreover it can serve as decision support for distribution of funds. Derivation of strategic measures as an element of road maintenance enables adaptation of rural infrastructure to demographic changes. The macroeconomic approach is taking into account legal duties and targets in spatial planning as well as general principles for prevention of loss of substance. Additionally, the applied methodology presents a proper decision support tool for the choice of renewals, alterations and re-dimensions considering existing budget restriction.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungen	VI
1 Einleitung und Problemstellung	1
1.1 Herausforderungen für die Erhaltung untergeordneter Straßen	2
1.2 Lösungsansatz für eine nachhaltige Entwicklung des untergeordneten Straßennetzes.....	3
1.3 Ziele der Arbeit	4
2 Grundlagen der Straßenerhaltung	8
2.1 Rechtliche Grundlagen der Straßenerhaltung	8
2.1.1 Haftung für Schäden	8
2.1.2 Rechtsgrundlage für Redimensionierungen.....	11
2.1.3 Rechtliche Möglichkeiten für eine bedarfsgerechte Entwicklung	12
2.2 Struktur und Entscheidungsfindung in der Straßenerhaltung.....	13
2.2.1 Definition und Einteilung	13
2.2.2 Managementsysteme.....	14
2.2.3 Kosten und Nutzen der Maßnahmen(-strategien).....	17
2.2.4 Erhaltungsstrategien	24
2.2.5 Entwicklung in der Straßenerhaltung und Besonderheiten im niederrangigen Netz	25
3 Planung der Straßeninfrastruktur	29
3.1 Richtlinienkonforme Gliederungen.....	29
3.2 Graphenintegrations-Plattform (GIP) und Beurteilung im Land Steiermark.....	33
3.3 Bedarfsorientierte anstatt funktionaler Gliederungen	34
3.4 Struktur von Verkehrsmodellen	36
3.4.1 Standard-4-Stufen-Algorithmus	37
3.4.2 Aktivitäten-/Agentenbasierte Verfahren	40
3.4.3 Kombination mit Raumplanung	42
3.4.4 Möglichkeiten durch und erforderliche Anpassungen an Verkehrsmodellen	43
3.5 Methoden der Verkehrsnetzanalyse.....	44
4 Modell der Streckenbedeutung im Netz	48
4.1 Definitionen der Streckenbedeutung.....	48
4.2 Modellgrundlagen.....	54
4.2.1 Strukturdaten	55
4.2.2 Netzdaten.....	56
4.2.3 Straßenzustandsinformation.....	56

4.2.4	Instandhaltungskosten für schadhafte Straßensegmente	57
4.2.5	Technische Maßnahmen mit Kosten und Wirkungsauern	57
4.3	Modellstruktur/-aufbau	57
4.3.1	Verkehrserzeugung	59
4.3.2	Verkehrsverteilung	65
4.3.3	Verkehrsumlegung	66
4.4	Ermittlung der Streckenbedeutung	67
5	Maßnahmen im einzelnen Streckensegment	68
5.1	Struktur der Maßnahmenbewertung	69
5.2	Maßnahmenalternativen	71
5.3	Vergleich unterschiedlicher Strategien	74
5.4	Kosten- und Nutzenquantifizierung	78
5.4.1	Investitionskosten der Maßnahme	78
5.4.2	Folgekosten für den Straßenerhalter	78
5.4.3	Nutzeraufwand	79
5.4.4	Kosten für Dritte	82
5.4.5	EXKURS: Wechselwirkungen ausgewählter Maßnahmen im Netz	82
5.5	Aggregation einzelner Nutzenkomponenten	84
6	Maßnahmenoptimierung auf Netzebene	88
6.1	Mathematische Problemformulierung	89
6.1.1	Einmalige Betrachtung	89
6.1.2	Mehrjährige Betrachtung	90
6.2	Problemklassifizierung	91
6.3	Problemlösung	93
7	Anwendung der Methodik	96
7.1	Ausgewählte Beispiele im Überblick	96
7.2	Datengrundlagen	96
7.2.1	Strukturdaten	97
7.2.2	Netzdaten	98
7.3	Anwendungsbeispiel Leibnitz	98
7.3.1	Zielsetzung des Anwendungsbeispiels	98
7.3.2	Aufbau des Verkehrsmodells Leibnitz	98
7.3.3	Streckenbedeutungen und Abgleich mit vorhandener Bewertung	98
7.3.4	Ergebnisinterpretation und Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung	100
7.4	Anwendungsbeispiel Eisenerz	102
7.4.1	Ergebnis der Streckenbedeutung	102
7.4.2	Auswahl der Abschnitte und Definition von Maßnahmenalternativen	102

7.4.3 Maßnahmenbewertung	105
7.4.4 Aggregation und Gegenüberstellung der bewerteten Maßnahmen	106
7.4.5 Optimierung und Ergebnisse	109
7.5 Anwendungsbeispiel Leutschach	112
7.5.1 Ergebnis der Streckenbedeutung	112
7.5.2 Auswahl der Abschnitte und Definition von Maßnahmenalternativen	112
7.5.3 Maßnahmenbewertung	115
7.5.4 Aggregation und Gegenüberstellung der bewerteten Maßnahmen	117
7.5.5 Optimierung und Ergebnisse	119
8 Diskussion und Empfehlungen	122
8.1 Zusammenfassung	122
8.2 Ergebnisse und Anwendbarkeit	124
8.3 Forschungspotential	126
Literaturverzeichnis	127
Anhang	136
A Funktionale Gliederung	136
B GIS-Grundlagedaten	137
C Bewertungsgrundlagen	139
D Gemeindespezifische Grundlagedaten	140
E Maßnahmenbewertung	146
E.1 Auswertung Reisezeiten	146
E.2 Bewertung Einzelmaßnahmen	154
F Ergebnisse	161
F.1 Übersicht Straßenbedeutungen Leibnitz	161
F.2 Auszüge Straßenbedeutung	162
F.3 Optimierungsergebnis Eisenerz	165
F.4 Optimierungsergebnis Leutschach	167