



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 Sauer Moser 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 Els nig, 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 Wirkungsdauern.....	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

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Strategische Straßenerhaltung unter Berücksichtigung der verschiedenen Interessen	5
Abbildung 2: Gliederung der Straßenerhaltung	13
Abbildung 3: Bausteine VIA-PMS nach Weninger-Vycudil	15
Abbildung 4: „Fläche unter der Kurve“- Prinzip	22
Abbildung 5: Effektivitätsdiagramm.....	23
Abbildung 6: Zustandsbasierte und bedarfsorientierte Erhaltung im Vergleich.....	28
Abbildung 7: Unterschied zwischen funktionaler und nachfrageorientierter Bewertung.....	35
Abbildung 8: Einflussparameter Streckenbedeutung – Quell- und Zielpotentiale	49
Abbildung 9: Einflussparameter Streckenbedeutung – Gemeinwohlaspekte	50
Abbildung 10: Einflussparameter Streckenbedeutung – Zukünftige Entwicklung.....	51
Abbildung 11: Fallbeispiel Streckenbedeutung a) ohne und b) mit Alternativroute	52
Abbildung 12: Fallbeispiel Auffassung a) ohne und b) mit Alternativroute	52
Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Zustand, Alternativrouten und Routenwahl.....	53
Abbildung 14: Systemskizze zur Methodik: Straßenbedeutung und Maßnahmenableitung.....	55
Abbildung 15: Systemüberblick – Methodik Teil 1: Streckenbedeutung.....	58
Abbildung 16: Verkehrsmodell in 3 Schritten: Erzeugung-Verteilung-Umlegung.....	59
Abbildung 17: Netzmodell GUARD mit traditionellen Verkehrszellen.....	60
Abbildung 18: Netzmodell mit georeferenzierten Strukturdaten (Wohnstandorte und POIs).....	61
Abbildung 19: Netzmodell mit Strukturdaten und punktuellen Verkehrszellen.....	61
Abbildung 20: Netzmodell mit Strukturdaten, punktuellen Verkehrseinspeisungspunkten und Voronoi-Zellen	62
Abbildung 21: Verkehrsmodell mit feingliedrigen Verkehrsaufkommenspotentialen aus Strukturdaten und prioritären Einrichtungen	63
Abbildung 22: Darstellung der Streckenbedeutung mit Quell- und Zielpotential	67
Abbildung 23: Systemüberblick – Methodik Teil 2: Strategische Maßnahmen	69
Abbildung 24: Definitionen zu Einzelmaßnahmen und Strategien	70
Abbildung 25: Schematischer Vergleich unterschiedlicher Erhaltungsstrategien	72
Abbildung 26: Schematischer Vergleich unterschiedlicher Erhaltungsstrategien, bedarfsorientierter Ansatz	74
Abbildung 27: Standardmaßnahmen in makroskopischer Sichtweise	76
Abbildung 28: Basisszenario und Szenario „Instandsetzungsmaßnahme“	80
Abbildung 29: Szenarien „Schotterbelag“ und „Sperre“	81
Abbildung 30: Nutzenkomponenten: Einflüsse und Wechselwirkungen.....	83
Abbildung 31: Ergebnis der Streckenbedeutungen im Projektgebiet Eisenerz	102
Abbildung 32: Auswahl schadhafter Straßensegmente - Eisenerz.....	103
Abbildung 33: Kumulierte Strategiekosten für eine Straße höherer Bedeutung - Eisenerz	107
Abbildung 34: Kumulierte Strategiekosten für eine Straße niedriger Bedeutung - Eisenerz.....	108
Abbildung 35: Ergebnis der Streckenbedeutungen im Projektgebiet Leutschach.....	112
Abbildung 36: Auswahl schadhafter Straßensegmente - Leutschach	113
Abbildung 37: Kumulierte Strategiekosten für eine Straße höherer Bedeutung - Leutschach.....	117
Abbildung 38: Kumulierte Strategiekosten für eine Straße niedriger Bedeutung - Leutschach	118

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Straßennetzlängen je Einwohner im österreichweiten Vergleich	1
Tabelle 2: Bevölkerungszahlen und -entwicklung für einzelne ausgewählte Bezirke auf Basis der kleinräumigen Bevölkerungsprognose	2
Tabelle 3: Zustandsklassen kommunaler Straßen, Land Steiermark	16
Tabelle 4: Kostenkennwerte für vier übergeordnete Maßnahmenkategorien, Preisbasis 2005	19
Tabelle 5: Vergleich Autobahnen und Gemeindestraßen – Kennwerte und Eigenschaften	26
Tabelle 6: Kategorisierung nach der Richtlinie RVS 03.01.13	30
Tabelle 7: Vergleich mit anderen RVS in Anlehnung an die Richtlinie RVS 03.01.13	30
Tabelle 8: Kategorisierung der Verkehrsbedeutung nach der Richtlinie RVS 03.03.81	31
Tabelle 9: Verkehrswegekategorien für den KFZ-Verkehr nach der Richtlinie für integrierte Netzgestaltung	32
Tabelle 10: Zweidimensionale Fahrtenmatrix nach Ortúzar & Willumsen	38
Tabelle 11: Zweidimensionale Fahrtenmatrix angelehnt an Tabelle 10	65
Tabelle 12: Maßnahmen konventionell und bedarfsorientiert.....	73
Tabelle 13: Maßnahmenkostenplan für einzelne Straßenabschnitte	75
Tabelle 14: Qualitative Einschätzung der Maßnahmen in Bezug auf Auswirkungen	77
Tabelle 15: Kostenplan für die Ausgangsvariante 0	85
Tabelle 16: Kostenplan Investitionskosten (Instandsetzung und Erneuerung).....	86
Tabelle 17: Kostenplan Instandhaltungskosten	86
Tabelle 18: Kostenplan monetarisierter Nutzeraufwand.....	86
Tabelle 19: Zielfunktion und Nebenbedingungen als Python Code	94
Tabelle 20: Gemeindestruktur im Vergleich (Auskunft Gemeinden Eisenerz und Leutschach)	96
Tabelle 21: Gegenüberstellung der Streckenbedeutungen (Bewertung Land und Methodik Sturm)	99
Tabelle 22: Auswertungstabelle der Gegenüberstellung (Bewertung Land und Methodik Sturm).....	99
Tabelle 23: Ursachen und Verbesserungsmöglichkeiten für mangelhafte Ergebnisse	101
Tabelle 24: Bestandsbeschreibung schadhafter Straßensegmente - Eisenerz	104
Tabelle 25: Geschwindigkeitenmatrix für Maßnahmen - Eisenerz	105
Tabelle 26: Gesamtreisezeiten und Differenzen Basisfall/Prognosefälle - Eisenerz	106
Tabelle 27: Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnis Kaiserschildstraße	108
Tabelle 28: Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnis Galleitenweg	108
Tabelle 29: Verfügbare Budgetmittel für die kommenden fünf Jahre bei Standardbudget - Eisenerz.....	109
Tabelle 30: Verfügbare Budgetmittel für die kommenden fünf Jahre bei Eventualbudget - Eisenerz	109
Tabelle 31: Ergebnis: Maßnahmen – Standard- und Eventualbudget - Eisenerz	110
Tabelle 32: Ergebnis: Investitionsplan für das Szenario Standardbudget - Eisenerz	110
Tabelle 33: Ergebnis: Investitionsplan für das Szenario Eventualbudget - Eisenerz	111
Tabelle 34: Bestandsbeschreibung schadhafter Straßensegmente - Leutschach.....	113
Tabelle 35: Geschwindigkeitenmatrix für Maßnahmen - Leutschach.....	115
Tabelle 36: Gesamtreisezeiten und Differenzen Basisfall/Prognosefälle - Leutschach	116
Tabelle 37: Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnis Glanzer Klapotetzstraße.....	118
Tabelle 38: Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnis Werwitschweg	118
Tabelle 39: Verfügbare Budgetmittel für die kommenden fünf Jahre bei Standardbudget - Leutschach	119
Tabelle 40: Verfügbare Budgetmittel für die kommenden fünf Jahre bei Eventualbudget - Leutschach.....	119
Tabelle 41: Ergebnis: Maßnahmen – Standard- und Eventualbudget - Leutschach	120
Tabelle 42: Ergebnis: Investitionsplan für das Szenario Standardbudget - Leutschach	120
Tabelle 43: Ergebnis: Investitionsplan für das Szenario Eventualbudget - Leutschach	121

Abkürzungen

€	Euro
%	Prozent
ABGB	Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch
ASFINAG	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft
A	Autobahnen
B	Ehemalige Bundesstraße, auch Landesstraße B
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
EDM	Economic Decision Model
EMS	Erhaltungsmanagementsystem
EW	Einwohner
G	Gemeindestraßen
GIS	Geographisches Informationssystem
h	Stunde
HDM	Highway Development & Management
IP	Integer Programming (Ganzzahlige diskrete Programmierung)
IRI	International Roughness Index (Internationaler Index für Ebenheit)
JDTV	Jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr
KFZ	Kraftfahrzeuge
km	Kilometer
L	Landesstraßen
LCC	Life Cycle Costs
LP	Linear Programming (Lineare Programmierung)
LOS	Level of Service
lt.	laut

LStVG	Landesstraßenverwaltungsgesetz
MIV	Motorisierter Individualverkehr
m	Meter
Nr.	Nummer
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OR	Operations Research
ÖROK	Österreichische Raumordnungskonferenz
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PKW	Personenkraftwagen
PMS	Pavement Management System
POI	Points of Interest
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
SV	Schwerverkehr
u.a.	unter anderem
VTEH	Verkehrsteilnehmereinheiten

1 Einleitung und Problemstellung

Mit rund 13 m/EW besitzt Österreich, wie in Tabelle 1 ersichtlich, im Verhältnis zu anderen europäischen Ländern große Straßennetzlängen je Einwohner. 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 bei kommunalen Straßen gegenüber der Schweiz (rund 9 m/EW), die topografisch, strukturell und auch größenordnungsmäßig durchaus mit Österreich vergleichbar ist, verdeutlicht, dass die kommunalen Siedlungsstrukturen in der Schweiz kompakter sind und es in Österreich verhältnismäßig viele und ausgeprägte Siedlungssplitter gibt (Sturm & Fellendorf, 2015).

Die Ursachen für eine voranschreitende Zersiedelung liegen nicht nur in geänderten Bedürfnissen der Bevölkerung, sondern unter anderem auch in der Flächenwidmungsplanung der einzelnen Gemeinden sowie im verbesserten Verkehrsangebot (Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, 2011). Eine ÖROK-Studie zeigt, dass eine aktive Flächenwidmungspolitik zu einer vergleichsweise kompakten Siedlungsstruktur führt und dass in den 60er und 70er Jahren in Österreich häufig auf eine aktive Bodenpolitik verzichtet wurde. Mittlerweile werden durch viele Gemeindevertreter jedoch die „Planungssünden“ der Vergangenheit angesprochen (Doubek & Zanetti, 1999). Das Umweltbundesamt hat durch Lexer (2004) auf die Wechselwirkungen zwischen Siedlungs- und Verkehrsstruktur hingewiesen: *„Zersplitterte Siedlungsformen sind vom motorisierten Individualverkehr abhängig („Zwangsmobilität“), der seinerseits wiederum weitere Zersiedelung begünstigt. Zersiedelung und Verkehrswachstum bilden somit einen selbstverstärkenden Ursache-Wirkungs-Kreislauf“* (Lexer, 2004).

Tabelle 1: 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	13.6	20.2	5'813
Kärnten	0.44	2.08	2.89	11.7	17.1	9'508
Niederösterr.	0.22	1.91	6.54	16.6	25.3	41'091
Oberösterr.	0.21	1.11	3.09	14.4	18.8	26'845
Salzburg	0.27	1.31	1.26	6.9	9.8	5'219
Steiermark	0.25	1.42	2.76	10.6	15.0	18'286
Tirol	0.26	1.39	1.76	12.0	15.4	11'110
Vorarlberg	0.17	0.87	1.34	8.0	10.4	3'891
Wien	0.02	0.13	0.00	1.4	1.6	2'826
Österreich	0.20	1.22	2.77	8.7	12.9	110'205
Deutschland	0.15	0.49	2.18	5.1	7.9	644'288
Schweiz	0.17	0.05	2.25	6.4	8.9	71'384
Niederlande	0.16	0.14	0.47	7.4	8.2	136'135

1.1 Herausforderungen für die Erhaltung untergeordneter Straßen

Das dichte ländliche Straßennetz stellt große Herausforderungen an die Finanzierbarkeit der Straßenerhaltung, was sich bei Landesstraßen bereits im Zustand niederschlägt. Der Straßenzustand wird als mangelhaft beschrieben, die Substanz scheint bereits gefährdet zu sein (Rechnungshof, 2014). Der Landesrechnungshof (2015) berichtet, dass sich im Jahr 2012 bei steigender Tendenz 42,6% der steirischen Landesstraßen in der Zustandsklasse „Nicht genügend“ befanden.

Für den Bereich der Gemeindestraßen hat beispielsweise Sauer Moser (2010) auf die laufende Verschlechterung trotz Bemühungen und Investitionen seitens der Gemeinden und Länder hingewiesen. Häufig fehlt für strukturverbessernde Maßnahmen das Geld.

Zusätzlich kann der demografische Wandel in Form von Zu- und Abwanderungstendenzen, der in den meisten Ländern statistisch erheb- und darstellbar ist, die Probleme der Finanzierung von Erhaltungsmaßnahmen verstärken. Tabelle 2 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 (Sturm & Fellendorf, 2015).

Tabelle 2: Bevölkerungszahlen und -entwicklung für einzelne ausgewählte Bezirke auf Basis der kleinräumigen Bevölkerungsprognose (Daten von STATISTIK AUSTRIA, 2009)

Ausgewählte Bezirke	Einwohner				
	Dichte	Anzahl	Prognose		
	[EW/km ²]	absolut	relative Veränderung in [%]		
	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 (27km von Wien)	106	69'479	9.8%	18.6%	26.3%
Baden (25km von Wien)	181	136'283	11.2%	20.4%	28.4%

Da die Höhe der Budgetmittel aus dem Finanzausgleich für Gemeinden im Wesentlichen von Einwohnerzahlen abhängig ist, kommt es in Gemeinden mit Abwanderungstendenzen zu geringen Einnahmen und somit u.a. zu Schwierigkeiten in der Finanzierung der Infrastruktur. Vor besonderen Herausforderungen stehen die Bundesländer und Gemeinden, die aufgrund der Zersiedelung über ein überdurchschnittlich langes Straßennetz verfügen und zudem von Abwanderung betroffen sind (Sturm & Fellendorf, 2015).

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. Nach Bernhard (2016) scheint der Trend zur Abwanderung aus

hauptsächlich strukturschwachen Regionen kaum reversibel zu sein. Dujmovits (2016) weist darauf hin, dass die Agglomerationsvorteile des städtischen Raumes mittels Betriebsansiedlungen und Verkehrserschließung im ländlichen Raum häufig nicht kompensiert werden können. Aus diesem Grund gilt es, dem Schrumpfungsprozess angemessen zu begegnen, anstatt sich weiterhin erfolglos der Schrumpfung entgegenzustellen (Weber, 2016). Im Sinne der Nachhaltigkeit gilt es nach Sturm & Fellendorf (2015) eine Infrastruktur aufrechtzuerhalten, die auf die aktuellen und zukünftigen Bedürfnisse der Allgemeinheit ausgelegt und auch für nachfolgende Generationen finanzierbar ist. Wichtig dabei ist es die sogenannten „Lebensadern“ des ländlichen Raumes entsprechend ihrer Wichtigkeit zu stärken. Durch argumentierbare Bündelung der finanziellen Ressourcen und Fokussierung auf die wesentlichen Elemente eines Straßennetzes kann neuer Freiraum und somit eine Unterstützung für von Abwanderung betroffene Gemeinden entstehen. In Eisenerz wurden derartige Überlegungen bereits angestellt. Unter dem Projekt „Redesign Eisenerz 2021“ soll eine Siedlungskonzentration mit ansprechender Wohn- und Lebensqualität durch Sanierung, Stadtbelebung, aber auch Umsiedlung/Umnutzung und Rückbau verwirklicht werden (Stadtgemeinde Eisenerz, 2011).

Aus bautechnischer Sicht sind Infrastrukturanpassungen an sich wandelnde Situationen durch entsprechende Änderung von Belagsart, Ausbaugrad und Aufbau der Straßen sowie durch einzelne Redimensionierungsmaßnahmen 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 (Sturm & Fellendorf, 2015).

1.2 Lösungsansatz für eine nachhaltige Entwicklung des untergeordneten Straßennetzes

Die budgetäre Situation einzelner Länder und Gemeinden erfordert zukünftig neben belebenden und strukturstärkenden Konzepten für den ländlichen Raum eine Konzentration auf ein zukunftsfähiges Kernnetz an Straßen und Wegen, wobei auch im Ergänzungsnetz die Grundversorgung gewährleistet und der Wegeerhaltungspflicht des § 1319a ABGB (Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch) nachgekommen werden muss. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass laufende Instandhaltungsmaßnahmen flächendeckend durchzuführen sind und Substanzverlust durch „Vernachlässigung“ intakter Straßen auszuschließen ist. Unter Einhaltung dieser Prämissen kann auf Straßen geringerer Bedeutung über Einschränkungen nachgedacht werden. Wie bereits durch Hoffmann (2006) beschrieben, ist bei Straßen mit schwerwiegenden Substanzschäden 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 (bei geringem Gefälle und entsprechenden Witterungsbedingungen) oder (temporäre) Sperren einzelner Straßensegmente ebenfalls zur Verringerung der gesamten Lebenszykluskosten und zur langfristigen Anpassung des Erhaltungsaufwandes an ein bewältigbares Maß bei (Sturm & Fellendorf, 2015).

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 (Sturm & Fellendorf, 2015).

In dieser Dissertation wird eine Lösung vorgestellt, die es ermöglicht, auf Basis von Grundlagendaten aus geografischen 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 (Sturm & Fellendorf, 2015). Die Ergebnisse sollen dabei nicht nur als Entscheidungshilfe, sondern auch als Argumentationsgrundlage dienen. Mit dieser Arbeit wird auch dem Umstand Rechnung getragen, dass Transparenz zunehmend an Bedeutung gewinnt. Beispielhaft dafür wurde durch den Gemeindebund (2016) mit 01.01.2016 die Plattform „Gemeindefinanzen“ online gestellt.

1.3 Ziele der Arbeit

Zielsetzung vorliegender Arbeit ist es, eine Methodik zu entwickeln, die in der Finanzierung der Straßeninfrastruktur ein differenziertes Vorgehen im öffentlichen Interesse und somit die Konzentration auf Kernnetze argumentierbar und somit möglich macht. Während es in der gelebten Praxis üblich ist, bestehende Straßennetze in der vorliegenden Form als gegeben anzunehmen, beleuchtet diese Arbeit die Frage nach dem aktuellen und zukünftigen Bedarf an Straßen. Über die Ermittlung der „Bedeutung“ von Straßen sollen wesentliche von unwesentlichen Straßen unterscheidbar sein. Aufbauend darauf können Einsparungen an Straßen geringerer Bedeutung und zusätzliche Finanzmittel für Straßen mit größerer Bedeutung unter vorgegebenen Gesamtausgaben argumentiert werden. Unter Einhaltung rechtlicher Vorgaben soll eine langfristige Anpassung an den zukünftigen Bedarf und somit ein Schrumpfungsprozess ermöglicht werden. Aus diesem Grund sind auch Redimensionierungen und Rückbauten Teil der Überlegungen.

Um die bestehende Substanz in ausreichendem Maße zu berücksichtigen, ist es zweckmäßig, die vorliegende Methodik mit Ansätzen aus dem Bereich der Straßenerhaltung zu koppeln. Somit soll sichergestellt werden, dass entwickelte Ansätze nicht im Widerspruch zu den Erhaltungsstrategien (Kap. 2.2.4) stehen. Anpassungen an den zukünftigen Bedarf, wie z.B. Redimensionierungen oder Belagsänderungen, werden daher nur für Straßensegmente mit erreichter Lebensdauer evaluiert.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es nicht, Detailmaßnahmen im Sinne des operativen Erhaltungsmanagements für einzelne Straßensegmente abzuleiten, sondern im Falle von strukturellen Straßenschäden übergeordnete Maßnahmen, darunter auch mögliche Redimensionierungsmaßnahmen und Einschränkungen, für Straßennutzer zu überprüfen. Der Fokus liegt entsprechend der Definition nach RVS 13.01.41 auf der baulichen Erhaltung. Arbeiten wie Winterdienst, Grünpflege und Reinigung wurden in vorliegender Arbeit nicht explizit behandelt. Instandhaltungsmaßnahmen, wie z.B. Risse verfügen oder Schlaglöcher ausbessern, tragen zur Verlängerung der Nutzungsdauer bei, sind nach Erkennen des Schadens zeitnah durchzuführen und werden in vorliegender Arbeit daher nicht als mögliche strategische Maßnahmen in Betracht gezogen. Auch Sicherungsmaßnahmen, wie z.B. Absicherungen und Absperrungen, sind unverzüglich durchzuführen und daher nicht innerhalb der planbaren strategischen Maßnahmen der vorliegenden Methodik zu berücksichtigen. Die planmäßige Beibehaltung von Warnhinweisen und Absicherungen auf Straßen geringer Bedeutung sind jedoch Teil der Analysen.

Gemäß Abbildung 1 gilt es im Rahmen einer strategischen Erhaltung Straßenerhaltungsbudgets für Maßnahmen entsprechend der Bedeutung einzelner Straßensegmente im Sinne der Allgemeinheit zuzuordnen. Damit soll eine Konzentration auf ein Kernnetz und die langfristige Anpassung an den Bedarf ermöglicht werden. Da im Gegenzug dazu Einschränkungen im Ergänzungsnetz erforderlich sind, ist die Berücksichtigung objektiver Daten von entscheidender Bedeutung. Die entwickelte Methodik soll auf diese Weise als Argumentationsgrundlage dienen.

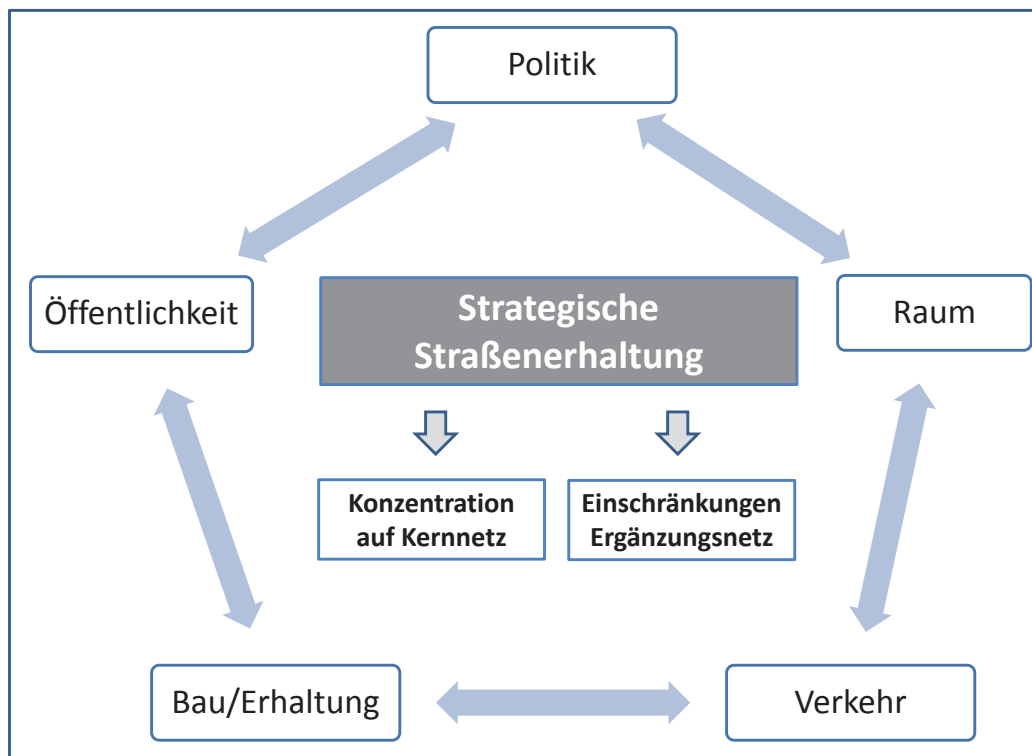


Abbildung 1: Strategische Straßenerhaltung unter Berücksichtigung der verschiedenen Interessen

Für die Umsetzung einer strategischen Straßenerhaltung und somit strategischer Maßnahmen sind folgende Interessen zu berücksichtigen:

- Politik: Strategische Maßnahmen sollen nicht im Widerspruch zu politischen Strategien (z.B. Stärkung des ländlichen Raumes) stehen, sondern diese stützen.
- Raumplanung: Strategische Maßnahmen sollen die Umsetzung raumplanerischer Ziele (z.B. kompakte Siedlungsstrukturen) forcieren.
- Verkehr: Strategische Maßnahmen sollen verkehrsplanerische Ziele (z.B. möglichst geringe Gesamtreisezeiten) berücksichtigen.
- Bauwesen und Erhaltungsmanagement: Die technische Umsetzbarkeit strategischer Maßnahmen muss gegeben sein. Ebenso sind Strategien des Erhaltungsmanagements (z.B. möglichst geringe Lebenszykluskosten) zu berücksichtigen.
- Öffentlichkeit: Sicherheit muss gegeben sein und Nutzerinteressen (z.B. möglichst großer Komfort) sollen soweit möglich gewahrt werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Interessen ist eine Optimierung für alle Teilbereiche unmöglich. Gesamtoptimierungen erfordern daher einzelne Kompromisse. Jedenfalls sind alle angeführten Interessen zu berücksichtigen.

Die Pfeile zwischen den einzelnen Themenbereichen stellen die Zusammenhänge dar (Abbildung 1). Zur Berücksichtigung der verschiedenen Interessen ist eine Zusammenarbeit in diesen Schnittstellen erforderlich. Vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten die Zusammenhänge zwischen den Teilbereichen und dabei insbesondere die Verbindung zwischen Raum- und Verkehrsplanung mit Straßenerhaltung und Bauausführung zu stärken.

Auf diese Weise kann die in Kap. 1 beschriebene Zersiedelung eingedämmt werden. Weiters können Straßenerhaltungsbudgets unter Berücksichtigung der Nutzeransprüche, Straßenbaulastträgerkosten sowie politischer und raumplanerischer Ziele eingesetzt werden.

Nachstehend sind weitere Abgrenzungen und Spezifizierungen für die Systementwicklung vorliegender Arbeit angeführt:

- Da in der gängigen Praxis keine Verkehrsmodelle für die ländlichen Gemeindestraßen existieren und aufgrund der großen Straßennetzlänge auch regelmäßige Verkehrszählungen in diesem Netz wirtschaftlich nicht vertretbar sind, liegt der Fokus vorliegender Arbeit im ländlichen Gemeindestraßennetz. Die Methodik ist jedoch in ihren Grundzügen auch für höherrangige und urbane Straßen anwendbar.
- Eine gesamtwirtschaftliche Sichtweise wird eingenommen; d.h. es werden nicht nur Kosten für den Straßenerhalter, sondern insbesondere auch Auswirkungen auf die Nutzer berücksichtigt. Um Analysen anhand der zu entwickelnden Methodik unter vertretbarem Aufwand und auf Basis der vorhandenen Datengrundlage zu ermöglichen, werden keine volkswirtschaftlichen Vollkostenrechnungen angestellt.
- Fahrzeugbetriebskosten und externe „Kosten“ für Lärm, Schadstoffe und Klimabelastungen werden in den Berechnungen nicht berücksichtigt, da aufgrund der tendenziell geringen Verkehrsbelastungen im niederrangigen Straßennetz das Ausmaß der jeweiligen Kostenbereiche gering ist. Für höherrangige Straßen und stärker besiedelte Räume sind die erwähnten Kostenbestandteile analog zur Berücksichtigung des monetären Nutzeraufwandes vorliegender Arbeit unter Annahme von Kostenkennwerten (z.B. RVS 02.01.22) einbeziehbar.
- Netzoptimierungsalgorithmen, wie z.B. „Kürzeste-Wege-Algorithmen“ sind nicht Teil vorliegender Arbeit, da Lösungen in diesem Bereich bestehende Infrastrukturen i.d.R. nicht in ausreichendem Ausmaß berücksichtigen (Kap. 3.5, Heuristische Verfahren zur Netzoptimierung). Ziel der Arbeit ist es hingegen, bei beschränktem Budget kontrollierte Einschränkungen in bestehenden Netzen unter Berücksichtigung der Auswirkungen vorzunehmen und bei demografischen Entwicklungen langfristige Schrumpfungsprozesse zu ermöglichen.
- Eine netzweite Bewertung bestehender Anlageverhältnisse gemäß RVS 03.01.11 ist nicht Teil der Arbeit. Im Falle schadhafter Stellen ist im Zuge der Maßnahmenableitung die Bewertung vorhandener und erforderlicher Anlageverhältnisse von besonderer Bedeutung.
- Negative Auswirkungen der Baustellen strategischer Maßnahmen für Straßennutzer sind ermittelbar, werden in vorliegenden Berechnungen jedoch vernachlässigt, da sie im untergeordneten Straßennetz eine geringe Rolle spielen. Der Fokus liegt somit auf den Betriebsphasen.
- Entgegen der Arbeiten zu Erhaltungsmanagementsystemen liegt der Fokus in vorliegender Arbeit auf der gesamtheitlichen Sichtweise und im Speziellen auf der Beurteilung der Bedeutung von Straßen im untergeordneten Netz. Es ist nicht Ziel der Arbeit

Zustandserfassungssysteme, Zustandsprognosemodelle und Lebenszykluskostenmodelle im kommunalen Netz weiterzuentwickeln. Bezüglich dieser Themen wird auf bestehende wissenschaftliche Arbeiten verwiesen. Aufgrund des Fokus der Arbeit werden Maßnahmenkosten aus Gründen der Anschaulichkeit statisch ermittelt. Unter Berücksichtigung entsprechender Diskontsätze sind alle Berechnungen auch als dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung durchführbar.

- Die Entwicklung eines Programmcodes zur Vollautomatisierung der Methodik ist nicht Teil der Arbeit. Aufgrund spezifischer Einschätzungen technisch möglicher Maßnahmen und dazugehöriger Kosten sowie der erforderlichen Abstimmung mit Leitungsträgern, wie z.B. Wasser und Kanal, ist eine vollautomatische Herangehensweise derzeit auch nicht zweckmäßig. Teile der Methodik werden jedoch automatisiert anwendbar sein.

2 Grundlagen der Straßenerhaltung

In diesem Abschnitt wird der Stand der Technik im Bereich der Straßenerhaltung als Teilergebnis der Literaturrecherche zusammengefasst dargestellt. In Bezug auf die Zielsetzung des Kap. 1.3 kann das Ergebnis der Literaturrecherche im Bereich der Straßenerhaltung im Wesentlichen folgenden zwei Fragen zugeordnet werden:

- Gibt es für Straßenerhalter aus rechtlicher Sicht die Möglichkeit sich auf ein Kernnetz zu konzentrieren und punktuell Einsparungen im Sinne der Allgemeinheit vorzunehmen und ist es zulässig Redimensionierungen bis hin zum Rückbau vorzunehmen?
- Wie erfolgt die Straßenerhaltung in der Praxis und welche Erhaltungsstrategien bestehen aus wissenschaftlicher Sicht?

2.1 Rechtliche Grundlagen der Straßenerhaltung

2.1.1 Haftung für Schäden

Da die Erhaltung der Straßen im Rahmen der Privatwirtschaftsverwaltung besorgt wird, kommen die allgemeinen zivilrechtlichen Bestimmungen des Schadenersatzrechtes zur Anwendung. Die Haftung für Schäden durch mangelhafte Wege regelt daher §1319a ABGB (Dworak & Eisenberger, 2010):

- (1) Wird durch den mangelhaften Zustand eines Weges ein Mensch getötet, an seinem Körper oder an seiner Gesundheit verletzt oder eine Sache beschädigt, so haftet derjenige für den Ersatz des Schadens, der für den ordnungsgemäßen Zustand des Weges als Halter verantwortlich ist, sofern er oder einer seiner Leute den Mangel vorsätzlich oder grobfahrlässig verschuldet hat. Ist der Schaden bei einer unerlaubten, besonders auch widmungswidrigen Benützung des Weges entstanden und ist die Unerlaubtheit dem Benützer entweder nach der Art des Weges oder durch entsprechende Verbotsschilder, eine Abschränkung oder eine sonstige Absperrung des Weges erkennbar gewesen, so kann sich der Geschädigte auf den mangelhaften Zustand des Weges nicht berufen.*
- (2) Ein Weg im Sinn des Abs. 1 ist eine Landfläche, die von jedermann unter den gleichen Bedingungen für den Verkehr jeder Art oder für bestimmte Arten des Verkehrs benützt werden darf, auch wenn sie nur für einen eingeschränkten Benützerkreis bestimmt ist; zu einem Weg gehören auch die in seinem Zug befindlichen und dem Verkehr dienenden Anlagen, wie besonders Brücken, Stützmauern, Futtermauern, Durchlässe, Gräben und Pflanzungen. Ob der Zustand eines Weges mangelhaft ist, richtet sich danach, was nach der Art des Weges, besonders nach seiner Widmung, für seine Anlage und Betreuung angemessen und zumutbar ist.*
- (3) Ist der mangelhafte Zustand durch Leute des Haftpflichtigen verschuldet worden, so haften auch sie nur bei Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit.*

Der im Gesetzestext enthaltene Begriff „Zustand“ umfasst sowohl den betrieblichen, als auch den baulichen Zustand. Während Hatbauer (2012) im Rahmen einer Diplomarbeit die rechtlichen Aspekte zum Winterdienst näher beleuchtet hat, behandelt dieses Kapitel der vorliegenden Dissertation die Haftung für den baulichen Zustand.

Bei den mautpflichtigen Straßen gibt es eine, für den Geschädigten vorteilhafte, Vertragshaftung und den Vorteil der Beweislastumkehr nach §1298 ABGB (u.a. Dworak & Eisenberger, 2010; Schwimann, 2006).

Ohne die Einhebung von Entgelt hat der Geschädigte hingegen den mangelhaften Zustand der Straße (1 Ob 768/78) sowie das Vorliegen eines Sachverhalts, der zumindest als grob fahrlässig im objektiven Sinn zu bezeichnen ist, zu behaupten und zu beweisen (Koziol et al., 2014).

Auch wenn daher in Österreich auf Bundes- und Landesstraßen sowie Gemeindestraßen die Beweislast in der Regel beim Geschädigten liegt, hat der Straßenerhalter aufgrund der oben angeführten rechtlichen Situation Interesse daran den Zustand der Straßen aufrechtzuerhalten, soweit dies nach der Art des Weges zumutbar ist. Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit muss jedenfalls ausgeschlossen werden. Lt. Schwimann (2013) kann nach anderen Normen die Einstandspflicht auch bei leichter Fahrlässigkeit gegeben sein. Dies ist beispielsweise bei Sonderbeziehungen (vertragliche oder vorvertragliche Haftungen) der Fall. In der Regel jedoch ist eine Gemeinde damit erst bei grober Fahrlässigkeit haftbar.

Nun stellt sich die Frage, was für den Straßenerhalter als „zumutbar“ gilt und wann Versäumnisse unter „grobe Fahrlässigkeit“ fallen. Diese Begriffe werden anhand verschiedener Kommentare, die sich wiederum auf einzelne Gerichtsurteile stützen, nachstehend näher erläutert.

Zumutbarkeit

Die Mangelhaftigkeit des Weges sowie der Sorgfaltswidrigkeit wird anhand eines Maßstabes mit den Determinanten Verkehrsbedürfnis und Zumutbarkeit gemessen. Dabei sind die Begriffe so allgemein, dass beinahe alle Ergebnisse begründbar sind. Klar ist, dass an eine Autobahn im Vergleich zu einem Klettersteig entsprechend der jeweiligen Widmung andere Anforderungen zu stellen sind. Der lokalen Ausprägung ist jedenfalls Rechnung zu tragen. Gewisse Anforderungen dürfen auch an das Kopfsteinpflaster einer historischen Altstadt gestellt werden, wobei auf die Benutzbarkeit mit Stöckelschuhen beispielsweise keine Rücksicht genommen werden muss. Auf die geografische Lage ist in der Beurteilung jedenfalls Rücksicht zu nehmen. Beispielsweise ist bei extremen Hanglagen oder Steilabhängen neben der Straße (Gefahr durch Steinschlag) mit Restrisiken zu rechnen. Auch auf das Leistungsvermögen des jeweiligen Wegehalters ist Rücksicht zu nehmen. Daher ist kleineren Gemeinden weniger zuzumuten als großen (Schwimann, 2013). Während das Unterlassen kleinerer Maßnahmen, wie das Anbringen von Gefahrenzeichen, nicht mit zu hohem finanziellen Aufwand begründbar ist, kann dies bei größeren Maßnahmen durchaus der Fall sein. Nach dem rational zwingenden Rechtssatz „ultra posse nemo tenetur“ kann von Straßenhaltern nicht mehr verlangt werden, als ihnen möglich ist (Bydlinski, 1998).

Leichte oder grobe Fahrlässigkeit

Durch Schwimann (2013) wird darauf hingewiesen, dass der OGH einen beträchtlichen Ermessungsspielraum bei der Abgrenzung zwischen leichter und grober Fahrlässigkeit hat.

Bei auffallender Sorglosigkeit, bei welcher die gebotene Sorgfalt nach den Umständen des Falles in ungewöhnlichem Maße verletzt wird und der Schadenseintritt nicht nur als möglich, sondern als wahrscheinlich vorauszusehen ist, liegt grobe Fahrlässigkeit vor (2 Ob 298/00p; 2Ob 26/06x) (Schwimann, 2013).

„Grob fahrlässig handelt, wer „ganz einfache und naheliegende Überlegungen“, um eine Schädigung zu vermeiden, nicht anstellt (ZVR 1984/142). Es handelt sich um ein extremes Abweichen von der objektiv gebotenen Sorgfalt, das auch subjektiv schwer anzulasten ist. Soweit der Halter ein Fachmann ist, kommt es nach §1299 auf die individuelle Vorwerfbarkeit nicht an. Zwei ganz zentrale Bezugspunkte sind das gravierende Defizit an sich sowie die Zeitdauer, in der der Wegehalter auf ein Defizit nicht reagiert hat.“ (Schwimann, 2013).

Ein Schaden durch das Heben einer Asphaltdecke um 10cm wurde in 4 Ob 72/01 v EvBl 2001/183 = RdW 2002/20 als grobe Fahrlässigkeit beurteilt. Ebenso liegt grobe Fahrlässigkeit vor, wenn ein Kanaldeckel auf einer für den Verkehr freigegebenen Straße so hoch über den Fahrbahnbelag hinausragt, dass es zu einem Kontakt zwischen Deckel und Fahrzeugunterseite kommen kann (2 Ob 153/83) (Kletecka & Schauer, 2010). Auch aufgrund der zeitlichen Länge der Untätigkeit trotz Kenntnis eines Gebrechens können Versäumnisse als grob fahrlässig beurteilt werden.

Verneint wurde grobe Fahrlässigkeit hingegen, wenn ein sorgfältiger Fahrer den Gefahren leicht begegnen kann oder wenn mit geringfügigen Anstrengungen auf ein Hindernis reagiert werden kann. Ebenfalls liegt keine grobe Fahrlässigkeit vor, wenn eine 10 cm tiefe Vertiefung auf einem Gehsteig für 2-3 Wochen besteht und der Halter eine Gefahrenquelle dargestellt hat (2 Ob 657/85 = JBl 1986, 523). Selbiges gilt, wenn der für jedermann erkennbare Niveauunterschied zwischen Fahrbahn und Bankett nicht behoben wird (2 Ob 19/06 t = Zak 2006/582) (Kletecka & Schauer, 2010). Wenn der Geschädigte einen Weg nicht benutzen hätte dürfen, kann er sich auf dessen Mangelhaftigkeit ebenfalls nicht berufen. Es ist daher ein Handeln auf eigene Gefahr gegeben und der Halter haftet nicht, wenn die Unerlaubtheit aufgrund von entsprechenden Verbotsschildern oder Absperrungen für den Geschädigten klar erkennbar war (Kletecka & Schauer, 2010). Es werden jedoch strenge Anforderungen an die Erkennbarkeit des Benutzungsverbotes gestellt: JBl 1998, 715 (Schlecht sichtbare Kette – Motorradfahrer auf Forstweg); 2 Ob 23/94 (fast unsichtbarer Weidedraht auf Forststraße – Radfahrer kommt zu Sturz); 2 Ob 59/05y (Schnee auf Geschäftsareal einer Tankstelle nach Geschäftsschluss; stRspr) (Schwimann, 2013). Es reicht daher keinesfalls aus eine schlecht sichtbare Kette über die Straße hinweg zu spannen. Auch müssen nicht befahrbare Flächen von ausreichender Entfernung kenntlich gemacht werden.

Mögliche Maßnahmen

Mögliche Maßnahmen zur Sicherung sind bloße Warnhinweise, Schutzvorkehrungen bis hin zur Straßensperre. Die Verkehrssicherheit muss im weitesten Sinne gegeben sein. Wobei das Ausmaß der Verkehrssicherheit an die Wahrscheinlichkeit und das mögliche Ausmaß des Schadenseintrittes anzupassen ist (Bydlinski, 1998). Bei Beachtung der Straßenverkehrsvorschriften muss eine Straße somit gefahrlos benutzbar sein. Der Halter hat vor Gefahren zu warnen und Absicherungen vorzunehmen. Für das Aufstellen von den dazu erforderlichen Verkehrszeichen ist der Halter verantwortlich. Es wird aber auch darauf hingewiesen, dass das Aufstellen von Warnschildern nicht immer ausreichend ist, wenn eine Gefahrenbeseitigung zumutbar ist: SZ 60/189 (Klettersteig durch alpinen Verein) (u. a. Kletecka & Schauer, 2010; Koziol et al., 2014; Schwimann, 2013). Wenn beispielsweise davon ausgegangen werden muss, dass möglicherweise eine Verbotstafel aufgrund

schlechter Sicht nicht gesehen werden kann oder Kinder die Straße trotz Verbotstafel betreten könnten, reicht für bestimmte Gefahren eine Verbotstafel nicht aus. In Verbindung dazu wird auf den § 1295 ABGB hingewiesen. Dort ist festgelegt, dass weitergehende Maßnahmen in Betracht zu ziehen sind, wenn die Möglichkeit besteht, dass Personen versehentlich in den Gefahrenbereich gelangen. Andererseits wird diese Verpflichtung für weitergehende Maßnahmen wieder abgeschwächt, da im Falle von Baustellen trotz zahlreicher Verletzungsrisiken die üblichen Absperrvorrichtungen ausreichend sind. Zweifelsfrei ist sicherzustellen, dass „unnötige“ Gefahrenquellen beseitigt werden (Schwimann, 2006).

Zusammenfassung Haftung

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass sich lediglich eine geringe Anzahl an Gerichtsurteilen auf den jeweils baulichen Zustand bezieht, während ein vernachlässigter Winterdienst und Schäden aufgrund der eingeschränkten Winterbefahrbarkeit häufiger Gegenstand von Gerichtsverhandlungen sind.

Aufgrund der vielen möglichen Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer und unterschiedlichen Herangehensweisen sowie budgetären Situationen der Straßenhalter ist die Haftungsfrage bei Schäden aus rechtlicher Sicht in Einzelfällen zu beurteilen. Auf Basis der vorliegenden Kommentare zu verschiedensten Gerichtsurteilen kann jedoch im Allgemeinen ein „Recht“ auf gefahrlose Benützung von Wegen abgeleitet werden. Ein „Recht“ auf einen guten Straßenzustand sowie eine „komfortable“ Fortbewegung konnte aus den vorliegenden Gerichtsurteilen und den darauf stützenden Kommentaren hingegen nicht abgeleitet werden. Für Gemeinden ist es daher aus rechtlicher Sicht ausreichend, schadhafte Abschnitte abzusichern und Maßnahmen zur Gefahrenvermeidung umzusetzen, soweit es den Gemeinden zumutbar ist. Um Gefahren überhaupt im Vorfeld abwenden zu können, ergibt sich die vorgelagerte Pflicht, entsprechende Erhebungen durchzuführen (2 Ob 62/91) (Schwimann, 2013). Die Beobachtung der Zustandsentwicklung mit darauf aufbauender Maßnahmenplanung und -umsetzung ist daher unabhängig vom Detaillierungsgrad und der jeweiligen Organisation erforderlich. Von besonderer Bedeutung für Gemeinden ist auch eine umfassende Dokumentation der Vorgehensweise, um zu belegen, dass alles Zumutbare unternommen wurde (Mitterer, 2007).

2.1.2 Rechtsgrundlage für Redimensionierungen

Des Weiteren stellt sich die Frage, ob es prinzipiell erlaubt ist, Straßen zu redimensionieren oder sogar aufzulassen, wenn sie die Bedeutung für die Allgemeinheit verlieren. Der §8 LStVG beinhaltet dazu folgenden Text:

- (1) Die Einreihung (Erklärung) und Neuanlage, sowie die **Auflassung einer Straße als Landesstraße (§ 7 Abs. 1 Z 1) beschließt der Landtag über Antrag der Landesregierung**. Die Einreihung (Erklärung) und Neuanlage sowie die Auflassung einer Eisenbahn-Zufahrt- oder Konkurrenzstraße (§ 7 Abs. 1 Z 2 u. 3) beschließt die Landesregierung.
- (3) Die Einreihung, Neuanlage, Verlegung, der Umbau, die Verbreiterung und wesentliche Verbesserung sowie die **Auflassung einer Gemeindestraße (§ 7 Abs. 1 Z 4) sowie eines öffentlichen Interessentenweges (§ 7 Abs. 1 Z 5) erfolgt durch Verordnung der Gemeinde**.

- (4) Landes-, Eisenbahn-Zufahrt- und Konkurrenzstraßen oder Teile dieser Straßen sind, wenn sie als solche entbehrlich geworden sind, aufzulassen. Sie können aber im Verhandlungsweg auch anderen Zwecken zugeführt oder jenen Gemeinden entschädigungslos als Gemeindestraßen überlassen werden, auf deren Gebiet sie liegen.
- (5) **Durch die Auflassung von Gemeindestraßen darf das Recht der Anlieger auf Wahrung des Zuganges nicht beeinträchtigt werden.**

Nach dem Landesstraßenverwaltungsgesetz sind Landesstraßen, die nicht mehr erforderlich sind, aufzulassen. Ebenso ist es möglich Landesstraßen als Gemeindestraße an die jeweilige Gemeinde zu übergeben. Auch wenn das Landesstraßenverwaltungsgesetz keine Bestimmungen zur Auflassung von Gemeindestraßen enthält, kann anhand des §8 Abs. 3 sowie Abs. 5 abgeleitet werden, dass dies möglich ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass wie bei den Landesstraßen die Voraussetzung des Bedeutungsverlustes für eine Auflassung gegeben sein muss. Nach §8 Abs. 5 ist dabei der Zugang zu allen Liegenschaften sicherzustellen. Es ist daher auf alle Liegenschaftseigentümer Rücksicht zu nehmen, die ihre Grundstücke ausschließlich über die aufzulassende Gemeindestraße erreichen. Ein subjektiv-öffentliches Recht auf Beibehaltung des Gemeingebrauches steht nach Rechtsprechung der Gerichtshöfe jedenfalls niemandem zu. Bei Vorliegen von Sonderrechten kann es jedoch zu Rechtsverletzungen kommen. Ein derartiger Fall liegt vor, wenn beispielsweise ein Fahrverbot auf der einzigen Zufahrtsstraße die Wirkung einer Betriebseinstellung hat. Die Auflassung einer öffentlichen Straße ist daher zulässig, wenn die Zu- und Abfahrtsmöglichkeit für anrainende Liegenschaften gewahrt bleibt. Dabei ist es nicht von Bedeutung, ob diese Zu- oder Abfahrt länger ist als die aufgelassene Straße. Ob das Recht auf Zugang auch für unbebaute Grundstücke, deren Umwidmung in Bauland nicht auszuschließen ist, gewahrt werden muss, ist derzeit noch nicht eindeutig geklärt. Die Entwicklung der Rechtsprechung in dieser Frage bleibt abzuwarten (Dworak & Eisenberger, 2010).

2.1.3 Rechtliche Möglichkeiten für eine bedarfsgerechte Entwicklung

Die Analyse der rechtlichen Situation (Kap. 2.1.1 und 2.1.2) hat gezeigt, dass es auf Basis der geltenden rechtlichen Bestimmungen zulässig ist, Finanzmittel im Sinne der Allgemeinheit einzusetzen. Solange die Sicherheit gewährleistet wird, sind punktuelle Einsparungen (ohne Gefahrenpotential) auf Straßen geringer Bedeutung und Konzentration auf ein Kernnetz rechtlich unproblematisch. Ein Recht auf einen möglichst hohen Fahrkomfort oder einen möglichst guten Straßenzustand konnte nicht abgeleitet werden. Um Aussagen über Gefahren zu ermöglichen sind Zustandskontrollen erforderlich.

Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass es sogar zulässig ist, Straßen, deren Bedeutung verloren geht, aufzulassen. Erreichbarkeiten müssen jedenfalls flächendeckend gewährleistet sein, wobei keine Vorgaben zu Maximalreisezeiten bestehen.

2.2 Struktur und Entscheidungsfindung in der Straßenerhaltung

2.2.1 Definition und Einteilung

„Die Straßenerhaltung umfasst alle Maßnahmen, die der Substanzerhaltung, der Erhaltung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts (Gebrauchswertes) und ggf. auch der Verbesserung von Umweltbedingungen dienen.“ (Schmuck, 1987). Der Begriff „Straßenerhaltung“ ist somit weit gefasst und deckt im Wesentlichen alle Arbeiten an Straßen ab, die nach der Baufertigstellung entstehen. Schmuck (1987) hat bereits eine Untergliederung in betriebliche und bauliche Straßenerhaltung vorgenommen. Während die betriebliche Straßenerhaltung Arbeiten wie Reinigung, Wartung, Winterdienst, Ausrüstung und Grünpflege enthält, sind wie in Abbildung 2 dargestellt, Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung die Teilbereiche der baulichen Erhaltung (Breyer et al., 1988; Maerschalk, 1998).

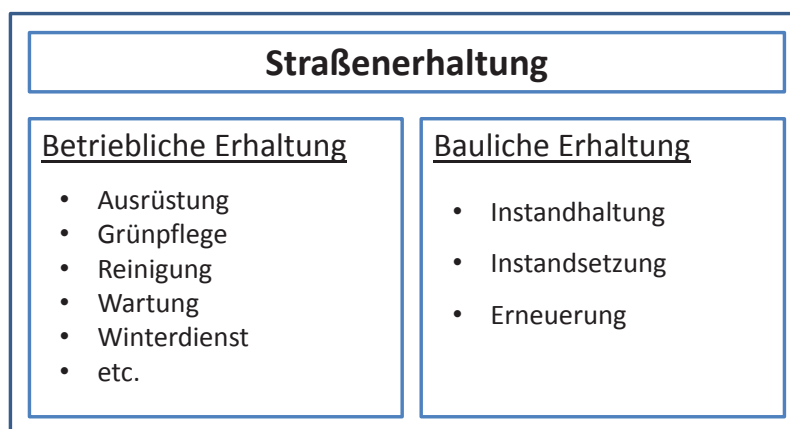


Abbildung 2: Gliederung der Straßenerhaltung (u.a. Breyer et al., 1988; Maerschalk, 1998; Weninger-Vycudil, 2001)

Die **betriebliche Straßenerhaltung** umfasst im Wesentlichen Routinetätigkeiten ohne bauliche Maßnahmen, wie laufende Kontrolle und Wartung des Bauwerks, Grünpflege oder Winterdienst (Weninger-Vycudil, 2001).

Im Vergleich dazu beinhaltet die **bauliche Straßenerhaltung** bauliche Maßnahmen, die zur Sicherung des Bestandes und der Aufrechterhaltung von Verkehrssicherheit dienen. Abhängig vom Umfang der baulichen Maßnahmen kann wiederum eine nähere Untergliederung in Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung vorgenommen werden (Maerschalk et al., 2013; Weninger-Vycudil, 2001).

Die **Instandhaltung**, in Deutschland häufig „Unterhaltung“ und in der Schweiz „Unterhalt“ genannt (Breyer et al., 1988), beinhaltet nach RVS 13.01.41 bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs, die einen Beitrag zur Erhaltung der Fahrbahnoberfläche leisten. Dazu zählen das Verfüllen von Schlaglöchern und Rissen, kleinflächige Oberflächenbehandlungen, örtliche Spurrinnenbeseitigungen oder andere Profilierungen. Durch frühzeitige Reparatur kleinflächiger Schäden kann nicht nur der Schaden selbst behoben, sondern auch ein möglicher Folgeschaden vermieden werden. Durch vorbeugende Maßnahmen kann die Lebensdauer von Anlagen verlängert werden (Li et al., 2005). Tendenziell handelt es sich um die Beseitigung plötzlich auftretender Mängel, die im Falle von z.B. Schlaglöchern auch ein Gefahrenpotential beinhalten können und daher i.d.R. zeitnah zu beheben sind. Aufgrund der erschwerten Planbarkeit werden diese Maßnahmen üblicherweise aus einem Globalbudget finanziert (Maerschalk et al., 2013; Weninger-Vycudil, 2001).

Im Vergleich dazu sind nach der Richtlinie RVS 13.01.41 unter **Instandsetzung** Maßnahmen größeren Umfanges zu verstehen. Diese großflächigeren Maßnahmen leisten einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Bausubstanz. In diesen Bereich fallen flächige Oberflächenmaßnahmen, Deckschichtsanierungen oder Verstärkungen. Im Vergleich zu Instandhaltungsmaßnahmen sind Instandsetzungsmaßnahmen längerfristig planbar und erfordern zumeist besondere verkehrsbedingte Absicherungen (Weninger-Vycudil, 2001).

Die **Erneuerung** beinhaltet nach der Richtlinie RVS 13.01.41 Maßnahmen zur Wiederherstellung der Verkehrsflächenbefestigung, wobei das Endprodukt einer neuwertigen Oberbaukonstruktion entspricht. Sowohl die Planung als auch die Finanzierung erfolgt über einen längeren Zeitraum (Maerschalk et al., 2013; Weninger-Vycudil, 2001).

Redimensionierungsmaßnahmen, wie zum Beispiel Rückbau von Asphalt- zu Schotterbelag und Reduktion der Breite, oder Maßnahmen zur Beschränkung des Verkehrs (Verkehrszeichen oder Absperrungen) sind sowohl nach den gängigen deutschsprachigen Definitionen (Maerschalk, 1998; Weninger-Vycudil, 2015) nicht Teil der Straßenerhaltung und werden auch in den üblichen internationalen Erhaltungssystemen in der Maßnahmenplanung nicht berücksichtigt (Kulkarni & Miller, 2003). Im Rahmen dieser Dissertation werden sie jedoch als Maßnahmen miteinbezogen.

2.2.2 Managementsysteme

Eine Auswertung über die Jahre 2002-2008 zeigt, dass der Schwerpunkt der Ausgaben im Bereich der Gemeindestraßen nur zu 10% im Bereich von Neubaumaßnahmen liegt. Demnach werden 50% in den laufenden Betrieb und weitere 40% in die Erhaltung investiert (Hoffmann, 2012). Aufgrund dieses Verhältnisses und der in Kap. 2.1 beschriebenen rechtlichen Situation ist eine strukturierte Herangehensweise, die Beobachtung des Zustandes und in weiterer Folge die auf den Zustand basierte Maßnahmenableitung zweckmäßig (Weninger-Vycudil & Litzka, 2010). In den letzten beiden Jahrzehnten wurde durch die Implementierung eines systematischen Management- und Entscheidungsprozesses im Bereich der Straßenerhaltung eine Vielzahl an Managementsystemen (u.a. Kulkarni & Miller, 2003; PIARC & AIPCR, 2000; Weninger-Vycudil & Litzka, 2010) für eine systematische Straßenerhaltung entwickelt und als objektivierte Entscheidungsgrundlage für die Verteilung von Finanzmitteln eingesetzt. Entsprechend der Inhalte und Aussagemöglichkeiten wird innerhalb der Managementsysteme näher differenziert. Die ursprünglich aus dem angloamerikanischen Bereich stammenden „Pavement Management Systeme“ befassen sich ausschließlich mit dem Straßenoberbau (Weninger-Vycudil, 2001) und beinhalten nach Maerschalk et al. (2013) folgende drei Module:

- *Die mit einer Zustandserfassung ermittelten Zustandsdaten werden mit Hilfe definierter Verlaufsfunktionen in ihrer zeitlichen Entwicklung fortgeschrieben („Zustandsprognose“).*
- *Für alle jeweils technisch möglichen Alternativen der Erhaltungsmaßnahmenarten werden die Kosten und die qualitativen Nutzen (Wirkungen) ermittelt („Maßnahmenbewertung“).*
- *Die bewerteten Maßnahmenalternativen eines betrachteten (Teil-)Netzes werden unter Berücksichtigung vorgegebener Finanzrestriktionen oder für vorgegebene Qualitätsziele in optimaler Weise nach ihrer Dringlichkeit gereiht („Optimierung“).*

Ähnlich zählen auch für Kulkarni & Miller (2003) Datensammlung und –management, Zustandsvorhersage, wirtschaftliche Analysen und Optimierung zu den wesentlichen Elementen eines PMS.

Für das ländliche Straßennetz in Österreich wurde bereits durch Litzka & Haslehner (1999) Pavement Management in die Bereiche Inventarisierung, Zustandsbewertung, Auswahl der Erhaltungsmethode und Priorisierung untergliedert.

Nach Weninger-Vycudil (2001) werden Pavement Management Systeme, die Optimierungsverfahren beinhalten als „Moderne Pavement Management Systeme“ bezeichnet. Für die Anwendung von Optimierungsverfahren ist es erforderlich zu definieren, was Ziel der Optimierung ist:

- Möglichst geringe Kosten (Elhadidy et al., 2015; Kerali & Mannisto, 1999),
- bestmöglicher Zustand (Elhadidy et al., 2015; Kerali & Mannisto, 1999) oder
- maximaler wirtschaftlicher Nutzen (Kerali & Mannisto, 1999).

Damit ist es möglich Erhaltungsprogramme zu erstellen. Die einzelnen Bausteine und Zusammenhänge im VIA-PMS werden durch Weninger-Vycudil (2001) wie in Abbildung 3 ersichtlich beschrieben. Auf Basis von Zustandsprognosen werden Lebenszyklusanalysen verschiedener Erhaltungsmaßnahmenvorschläge durchgeführt. Die Auswahl der optimalen Varianten kann dabei auch unter zusätzlicher Berücksichtigung der Lärmauswirkungen erfolgen (Weninger-Vycudil, 2009).

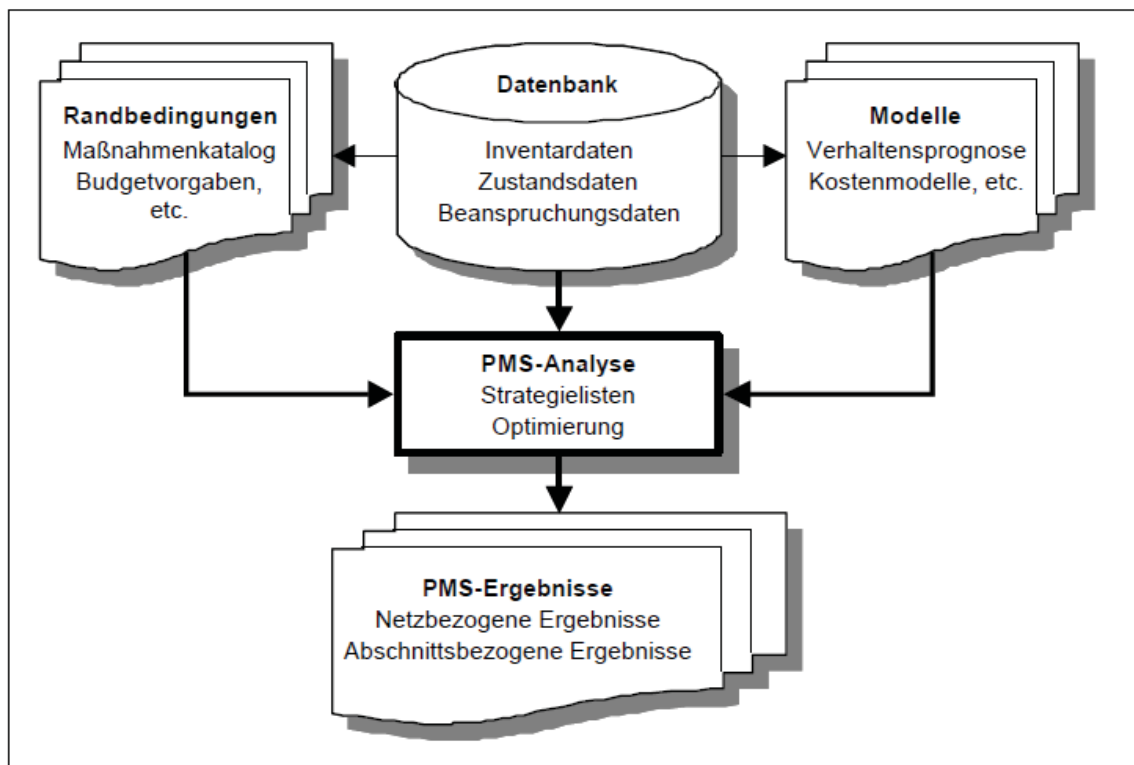


Abbildung 3: Bausteine VIA-PMS nach Weninger-Vycudil (2001)

Werden zusätzlich zum Straßenoberbau auch alle anderen Anlageteile (z.B. Erdbauwerke oder konstruktive Ingenieurbauwerke wie Tunnels, Brücken, Unter- und Überführungen) in der Erhaltungsplanung berücksichtigt, spricht man in der Regel von Erhaltungsmanagementsystemen (EMS). Im Vergleich zu PMS können hier Synergien genutzt und Doppelgleisigkeiten vermieden

werden. Unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus, der Standorterfordernisse sowie der Nutzerbedürfnisse ist der aus der Vermögensverwaltung stammende Begriff „Asset Management“ in Verwendung (Hoffmann, 2010).

Ein international weit verbreitetes Managementsystem für Straßenmanagement, Erstellung von Bauprogrammen, Abschätzung des Mittelbedarfs oder die Vorhersage der Netzwerk-Performance ist das sogenannte „Highway Development and Management System“ (Henry & Kerali, 2002). Dieses System wurde von der Weltbank ursprünglich für die Anwendung in Entwicklungsländern konzipiert (Jusi et al., 2003; Reddy & Veeraragavan, 2011). Darauf aufbauend wurden auch Anwendungen für Industrienationen generiert (Li et al., 2005). Für niederrangige Straßennetze wird das ursprüngliche HDM als in der Datenerhebung „zu aufwändig“ bezeichnet (Mladenovic et al., 2011). Bereits durch Archondo-Callao (1999) wurde ein sogenanntes „Economic Decision Model“ (EDM) als Grundlage für wirtschaftlich optimierte Entscheidungen in niederrangigen Straßennetzen entwickelt.

In Österreich kommen vor allem im höherrangigen Straßennetz seit einigen Jahren Erhaltungsmanagementsysteme unter Verwendung von Softwarelösungen wie zum Beispiel „VIAPMS“ in der Praxis zur Anwendung. Mit Hilfe derartiger Systeme können verschiedene Szenarien unter Berücksichtigung der Zustandsentwicklung und auf Basis von Lebenszykluskostenrechnungen betrachtet und in weiterer Folge optimierte Bauprogramme erstellt werden (Weninger-Vycudil & Litzka, 2010). Auf Ebene der Gemeindestraßen werden meist einfachere auf Datenbankbasis entwickelte Systeme verwendet (Hoffmann, 2006). Nach Maerschalk et al. (2013) wird die grundsätzliche Struktur des PMS für höherrangige Straßennetze vereinzelt auch im kommunalen Bereich umgesetzt und erfolgreich angewandt. Die Vielfalt im Verkehr (Schwerverkehrsrouten bis Fußgängerzonen) und die damit verbundenen Anforderungen an die Qualität aber auch die unterschiedlichen Bauweisen (u.a. Pflastersteine) erfordern spezielle Berücksichtigung im PMS für kommunale Straßen, wodurch die bestehenden PMS für höherrangige Straßen nach Maerschalk et al. (2013) nur bedingt direkt anwendbar sind. Auch wenn im kommunalen Bereich auf die grundsätzlichen Bausteine eines PMS im höherrangigen Netz aufgebaut werden kann, sind in allen Bereichen kommunenspezifische Besonderheiten zu berücksichtigen.

Das Land Steiermark erfasst den Zustand des ländlichen Straßennetzes, wie in Tabelle 3 ersichtlich, entsprechend einer dreistufigen Einteilung (Sauermoser, 2010).

Tabelle 3: Zustandsklassen kommunaler Straßen, Land Steiermark

ZK	Beschreibung
A	Nur laufende Erhaltung erforderlich (Schlaglöcher, Risse etc.), Substanz in Ordnung
B	Instandsetzung erforderlich, meist Oberfläche/Deckschichten, z.T. Entwässerung und Verstärkung des Unterbaus
C	Erneuerung erforderlich, substantielle Schäden vorhanden

In bestehenden PMS erfolgt die Maßnahmengenerierung in erster Linie auf Basis von Zustandserhebungen. Wie auf höherrangiger Ebene (Autobahnen, Schnellstraßen, Bundesstraßen und Landesstraßen), als auch in Systemen die speziell für das niederrangige Netz konzipiert sind, wird

die Verkehrsbedeutung durch Verkehrszahlen, die in der Regel aus Verkehrszählungen stammen ausgedrückt (Albuquerque & Nunez, 2011; Archondo-Callao, 2007). Diese Verkehrsdaten werden sowohl für die Prognose von Zustandsentwicklungen als auch für Nutzerkostenbewertungen (siehe auch Kap. 2.2.3) berücksichtigt. Verkehrszahlen sind für höherrangige Straßen zumindest punktuell vorhanden, werden in regionalen Verkehrskonzepten abgebildet und beispielsweise über den Verkehrsserver des Landes Steiermark (2015) online zur Verfügung gestellt. Im Bereich der Gemeindestraßen sind flächendeckende Verkehrszahlen in der Regel nicht vorhanden. Die Berücksichtigung der „Bedeutung der Straße“ erfolgt in der Praxis auf Basis einer Kategorisierung zufolge visueller Einschätzung unter dem Fokus funktionaler Aspekte (siehe dazu auch Kap. 3.3).

2.2.3 Kosten und Nutzen der Maßnahmen(-strategien)

Nach Breyer et al. (1988) können in der Straßenerhaltung für eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung grundsätzlich folgende drei Kostenformen unterschieden werden: Straßenbaulastträgerkosten (Betreibersicht), Straßennutzerkosten (Nutzersicht) und Kosten Dritter (z.B. Kosten für Anrainer). Während Straßenbaulastträgerkosten tatsächlich zu bezahlende (echte) Kosten darstellen, sind Straßennutzerkosten und Kosten Dritter monetarisierte Aufwände, die als fiktive Kosten für gesamtwirtschaftliche Bewertungen zu berücksichtigen sind (Rübensam et al., 2010). Die Straßenbaulastträgerkosten setzen sich aus den Kosten für Instandhaltung sowie Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen zusammen. Diese Kostenform findet für höher- und niederrangige Straßen sowohl in der Wissenschaft, als auch in der Praxis größte Zuwendung. Netzweite Bewertungen zum Nutzeraufwand gibt es lediglich für höherrangige Straßen. Kosten Dritter durch Lärm- oder Abgasbelastung werden in der Regel nur am Rande betrachtet. Unter Berücksichtigung der drei Sphären Straßenbaulastträger, Straßennutzer und Dritte sind daher Überlegungen zu Kosten und Nutzen von Maßnahmen anzustellen. Wesentliche Methoden dazu werden nachstehend getrennt für Kosten- und Nutzenbetrachtungen beschrieben.

Kostenbetrachtungen

Zur Beurteilung der Straßenbaulastträgerkosten durch Erhaltungsaktivitäten wird i. d. R. die Methodik der Lebenszykluskostenanalyse (siehe auch Kap. 2.2.4) für den Vergleich unterschiedlicher Erhaltungsstrategien angewandt. Dabei findet der Begriff „Erhaltungsstrategie“ für die Abfolge mehrerer Erhaltungsmaßnahmen Verwendung. Im weitesten Sinne beginnt der Lebenszyklus eines Bauwerks bei der Rohstoffherstellung für die erstmalige Errichtung und endet mit dem Abbruch und in weiterer Folge mit dem Recycling von Baustoffen (Herrmann, 2010). Da sich der Bereich der Straßenerhaltung mit dem bereits errichteten Bauwerk beschäftigt und ein möglicher Abbruchzeitpunkt unklar ist, kann der Beitrag zu den Lebenszykluskosten auf Maßnahmenkosten (Instandsetzung, Erneuerung) und laufende Instandhaltungskosten reduziert werden. In der Theorie entspricht der Lebenszyklus eines Oberbaus jener Periode für die der Straßenoberbau bemessen wurde (z.B. 30 Jahre für Asphaltstraßen lt. RVS 03.08.63). Aufgrund verschiedener Einflüsse und immer wiederkehrender Maßnahmen unterschiedlicher Art weicht die tatsächliche von der theoretischen Lebenszykluskosten ab. Die für die Strategievergleiche letztendlich herangezogene Betrachtungsperiode muss daher eigens definiert werden, wird in den gängigen PMS als Analyseperiode bezeichnet und sollte zumindest der Maßnahmenperiode entsprechen. Am Ende des Betrachtungszeitraumes muss eine Bewertung der Restsubstanz erfolgen (Rübensam, 2005; Weninger-Vycudil, 2009).

Der Kostenvergleich selbst erfolgt in PMS üblicherweise unter Anwendung der Kapitalwertmethode. Alle zukünftigen mit dem jeweiligen Zeitpunkt abschätzbaren Investitionen werden unabhängig davon, ob es sich um Instandhaltungs-, Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen handelt, berücksichtigt. Dabei wird durch auf- oder abzinsen, wie in Formel (1) dargestellt, ein sogenannter „Gegenwartswert“ ermittelt, um die verschiedenen Investitionszeitpunkte zu berücksichtigen (Brožek et al., 2009).

$$K_{0,t,m} = K_{t,m} * \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{-n} \quad \text{mit } n = t - t_0 \quad (1)$$

Mit:	$K_{0,t,m}$	Gegenwartswert zu Zeitpunkt t_0 der Maßnahme m aus dem Jahr t
	$K_{t,m}$	Kosten der Maßnahme m im Jahr t
	p	Zinsfuß [%]
	t	Zeitpunkt der Maßnahme m [Jahr]
	t_0	Beginn der Analyse [Jahr]

Um gesamte Maßnahmenstrategien zu vergleichen, müssen, wie in Formel (2) ersichtlich, alle Gegenwartswerte der einzelnen Maßnahmen aufsummiert werden.

$$K_{0,t,MS} = \sum_n K_{0,t,m} \quad \text{mit } n = t - t_0 \quad (2)$$

Mit:	$K_{0,t,MS}$	Gesamtgegenwartswert zu Zeitpunkt t_0 der Maßnahmenstrategie MS
	$K_{0,t,m}$	Gegenwartswert zu Zeitpunkt t_0 der Maßnahme m aus dem Jahr t

Durch derartige Lebenszykluskostenbetrachtungen werden Zusammenhänge zwischen Maßnahmenkosten und Folgekosten aufgezeigt und Aussagen zu unterschiedlichen Strategien getätigt. In der Berechnung der Kosten für den Straßenbaulastträger werden ausschließlich Kostenbestandteile berücksichtigt. Jedoch sind zufolge Lebenszykluskostenbetrachtungen durch die „richtige“ Auswahl der jeweiligen Maßnahme Nutzenbeiträge aufgrund geringer Erhaltungskosten für den Straßenbaulastträger zu lukrieren (siehe auch Kap. 2.2.4).

Bei Vorgabe eines konstanten jährlichen Budgets findet die Annuitätenmethode häufig Anwendung. Dabei wird der Kapitalwert einer Investition auf die jeweilige Nutzungsdauer der Anlage verteilt, wodurch sich ein Wert pro Periode ergibt. Werden unabhängig von der Bewertungsmethode anstatt der Anschaffungskosten Wiederbeschaffungskosten zur Bewertung des Anlagevermögens herangezogen, ist anstatt des nominalen Zinssatzes der reale Zinssatz heranzuziehen. Dieser, auch Diskontrate genannte, reale Zinssatz wird über den jeweiligen Zinssatz über Subtraktion der Inflationsrate berechnet. Ein geringer Zinssatz oder Diskontsatz führt beispielsweise zu hoher Wertigkeit zukünftiger Investitionen und umgekehrt (Brožek et al., 2009).

Wie in Kap. 2.2.2 erläutert dient in allen gängigen PMS oder EMS ein mit Kosten hinterlegter Maßnahmenkatalog als Grundlage für die Bewertung unterschiedlicher Erhaltungsstrategien. Jeder einzelnen Maßnahme muss dabei ein aktueller Einheitspreis zugeordnet sein.

Vergleichsweise wurden Kostenkennwerte für Maßnahmen aufbauend auf die Grundlagen aus Hoffmann (2006) auf realistische Fahrbahnbreiten im kommunalen Straßenbau umgerechnet und in vier übergeordneten Kategorien mit den entsprechenden Bandbreiten für die Gesamtbreite, der Baudauer sowie der Wirkdauer zusammengefasst (Tabelle 4).

Tabelle 4: Kostenkennwerte für vier übergeordnete Maßnahmenkategorien, Preisbasis 2005 (Hoffmann, 2006)

	EH-Preis inkl. 20% UST [€/m²]	Breite [m]	Gesamtpreis [€/km]	Baudauer [Tage]	Wirkdauer [Jahre]
Deckschicht- maßnahme	5,00 - 7,80	2,5 - 5,0	12.500 - 39.000	2 - 4	6 - 12
Deck- und Tragschicht- erneuerung	20,10 - 36,24	2,5 - 5,0	50.250 - 181.200	7 - 14	8 - 20
Generelle Erneuerung	44,22 - 51,30	2,5 - 5,0	110.550 - 256.500	14 - 28	18 - 25
Neubau- maßnahme	90,00 - 120,00	2,5 - 5,0	225.000 - 600.000	70 - 84	15 - 70

Vergleichsweise wird von Experten des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung für Instandsetzungsarbeiten, wie teilweiser Unterbauverstärkung, Erneuerung der Asphaltsschichten, Wiederherstellung von Entwässerungseinrichtungen sowie Aufbringung von Dünnsschichtbelägen, in der Regel mit 70.000 bis 80.000 €/km gerechnet. Neu- und Umbauten aufgrund substantieller Schäden, wie beispielsweise zu geringe Tragfähigkeit oder ungenügenden Trassierungsanforderungen, kosten mindestens 160.000 €/km und bei einer Neuerrichtung auf einer bestehenden Trasse rund 320.000 €/km (Sauermoser, 2010).

Auch wenn die beiden Ansätze aufgrund der unterschiedlichen Clusterung nicht direkt vergleichbar sind, zeigen sich ähnliche Größenordnungen bei den Gesamtkosten sowohl für Instandsetzungsmaßnahmen, als auch für Erneuerungen.

Für die Bewertung der Folgekosten durch Maßnahmen ist zusätzlich die Ermittlung der laufenden Erhaltungskosten erforderlich. Nach Archondo-Callao (2007) ist für die Bewertung der jährlichen Erhaltungskosten jeweils auf die Erfahrung lokaler Ingenieure zurückzugreifen. Im Amt der Steiermärkischen Landesregierung wird für die laufende Erhaltung von Asphaltstraßen beispielsweise im Durchschnitt mit rund 1.700 €/km/Jahr gerechnet (Sauermoser, 2010), wobei die tatsächlichen Kosten von den zuvor getätigten Maßnahmen und deren Ausführungsqualität sowie der jeweiligen Verkehrsbelastung abhängig sind. Während der Winterdienst bei diesen Kosten nicht berücksichtigt wird, sind beispielsweise folgende Arbeiten enthalten: Pflegen von Gräben und Entwässerungseinrichtungen, Oberflächenbehandlungen (punktuell und vollflächig), Rissesanierung, Bankettpflege, Ausbessern von Schlaglöchern sowie Beratung bei Verkehrssicherheitsmaßnahmen. Für Schotterstraßen werden erfahrungsgemäß 1.000 €/km/Jahr veranschlagt.

Nutzenbetrachtungen

Für die Beurteilung der Maßnahmen ist zusätzlich zu den Kosten eine Nutzenbewertung erforderlich. Das Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten, auch bezeichnet als „makroökonomische Wirtschaftlichkeit“, liefert eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme (Schierenbeck, 2002). Drei Verfahren zur Bestimmung des Nutzens von Maßnahmen werden nachstehend näher erläutert, wobei die Betrachtung aus Betreiber- und Nutzersicht erfolgen kann:

- Nutzerkostenbewertung (Nutzersicht)

- „Fläche unter der Kurve“-Prinzip (Betreibersicht und Nutzersicht mittels Nutzerfaktor)
- Kostenminimierungsmodul (Betreibersicht)

Diese einzelnen Möglichkeiten werden untenstehend näher erläutert. Unabhängig von der gewählten Nutzenberechnungsvariante sind für detaillierte Aussagen die Kenntnis des Zeitpunktes von Maßnahmen und dazu der jeweils prognostizierte Zustand samt Zustandsverlauf erforderlich. Das Forschungsprojekt „Entwicklung von Prognosefunktionen für den Straßenzustand kommunaler Straßen“ (Oeser et al., 2014) liefert dazu erste Erkenntnisse für den innerörtlichen Bereich. Basierend auf messtechnisch erfassten Informationen zu Ebenheiten, Spurrinnen und Rissen sowie dem Alter der Deckschicht wurden in dem Forschungsprojekt Prognosefunktionen mittels Regressionsanalysen für die Städte Hamburg, Wiesbaden und Düsseldorf erstellt. Da aufgrund der Datenlage keine Ableitung eines allgemeingültigen Modells möglich war, ist eine Übertragbarkeit auf andere Städte oder Orte nicht direkt möglich. Es sind daher ortsspezifische Zustandsprognosefunktionen zu entwickeln. Häufig kann auf die dazu erforderlichen Daten im kommunalen Bereich aufgrund fehlender Aufzeichnungen nicht zurückgegriffen werden (Oeser et al., 2014).

Nutzerkostenbewertung

Das Verfahren der Nutzerkostenbewertung (Anm.: fiktive Kosten, da sie i.d.R. nicht bezahlt werden – es handelt sich um Aufwände die monetär bewertet werden) berücksichtigt ausschließlich die Nutzersicht, die Betreiberperspektive wird demnach nicht berücksichtigt. In den letzten Jahren wurden verschiedene Systeme zur Bewertung der Nutzersicht entwickelt. Batista dos Santos et al. (2011) haben beispielsweise ein vereinfachtes Modell zur Bewertung der Nutzerkosten auf portugiesischen Autobahnen unter Berücksichtigung von Fahrzeugbetriebskosten, Unfallkosten und Zeitkosten entwickelt. Vadakpat et al. (2000) haben Nutzerkosten durch Fahrbahnreduktionen aufgrund von Baustellen auf Basis mikroskopischer Verkehrsmodelle bewertet. Zur Berücksichtigung der Straßennutzerkosten, wurde auch für das hochrangige österreichische Netz der ASFINAG ein Nutzerkostenmodul als Aufsatz für das bestehende PMS entwickelt (Brožek et al., 2009). Damit ist es im Bereich der hochrangigen Straßen möglich zusätzlich zur Berücksichtigung der Straßenbaulastträgerkosten, Auswirkungen für Straßennutzer zu berücksichtigen. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um Auswirkungen des Straßenzustandes sowie die Auswirkung der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen auf den Straßennutzer (Hellmann, 2008). Neben der Verfügbarkeit und des Reisezeitbedarfs werden auch das Unfallgeschehen, der Ressourcenverbrauch (z.B. Treibstoff, Abnutzung des Fahrzeuges, Wartung) und die Umweltauswirkungen in die Bewertungen miteingebunden (Henry & Kerali, 2002). Um beispielsweise den zusätzlichen Reisezeitbedarf infolge eines schlechten Straßenzustandes bewerten zu können, ist es erforderlich den Zusammenhang zwischen dem Zustand und der jeweils fahrbaren Geschwindigkeiten zu kennen. Im von Brožek et al. (2009) beschriebenen HDM-Modell sind derartige Zusammenhänge unter anderem für die Längsunebenheit und Querunebenheit (Spurrinnen) für hochrangige Straßen dargestellt. Für untergeordnete Straßennetze wurde der Zusammenhang zwischen dem „International Roughness Index“ (IRI) und der Geschwindigkeit durch Archondo-Callao (1999) dargestellt. Der IRI bietet die Möglichkeit den Zustand indirekt quantitativ darzustellen (Albuquerque & Nunez, 2011). Die Geschwindigkeit eines Referenzfahrzeuges kann auch als Alternative zum IRI als Parameter zur direkten Beschreibung des „Level of Service“ (LOS) herangezogen werden (Archondo-Callao, 2007). Gerade im Bereich des niederrangigen Straßennetzes mit großen Unterschieden im Zustand, kommt es zu verringerten fahrbaren Geschwindigkeiten. Der zusätzliche Reisezeitbedarf

wird über die durch den Straßenzustand verursachte Differenzgeschwindigkeit und der betroffenen Länge ermittelt (Brožek et al., 2009; Krause & Maerschalk, 2010).

$$\Delta t = l_0 / \Delta V \quad (3)$$

Mit: Δt zusätzlicher Reisezeitbedarf [h]
 l_0 Länge der betrachteten Strecke [km]
 ΔV Differenz der Geschwindigkeiten [km/h]

Dieser errechnete Zeitbedarfsunterschied muss mit der Anzahl der betroffenen Fahrzeuge in einem Zeitraum multipliziert werden. Die Zeitkosten ergeben sich durch Berücksichtigung von Zeitkostensätzen, die beispielsweise der RVS 02.01.22 entnommen werden können (Brožek et al., 2009).

$$ZK = \Delta t * \#VT * ZKS \quad (4)$$

Mit: ZK Zeitkosten [€]
 Δt zusätzlicher Reisezeitbedarf [h]
 $\#VT$ Anzahl der Verkehrsteilnehmer [Anzahl]
ZKS Zeitkostensätze [€/h]

Da in den gängigen PMS für hochrangige Netze in der Regel keine Strategien der „Qualitätsverschlechterung“ verfolgt werden, kann generell mit geringen Auswirkungen des Straßenzustandes auf die fahrbare Geschwindigkeit und somit auf die Reisezeit gerechnet werden. Mittels geeigneter Kostenansätze können auch Auswirkungen auf Betriebs- und Unfallkosten monetarisiert werden und ebenso Auswirkungen verschiedener Baustellen beachtet werden.

Das gesamte Nutzerkostenmodul als PMS-Aufsatz zielt im Wesentlichen darauf ab unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit für den Straßenerhalter für Straßennutzer einen optimalen Zustand anzubieten. Da es sich bei Straßennutzerkosten nicht um reale betriebswirtschaftliche Gewinne und Verluste handelt, können diese nicht direkt dem Budget eines Straßenbetreibers zugerechnet werden (Brožek et al., 2009). Für eine gesamtwirtschaftliche Bewertung müssen jedoch nach Kulkarni & Miller (2003), Mladenovic et al. (2011) und Socina & Komma (2015) Summen aus Erhalterkosten und monetarisiertem Nutzeraufwand gebildet werden.

Die bekannten Methoden zur Berechnung der Nutzerkosten setzen Zahlen zum Verkehrsaufkommen der betrachteten Verkehrswege voraus. Aufgrund der großen Netzlänge sind diese Verkehrszahlen für das untergeordnete Straßennetz i.d.R. nicht flächendeckend und regelmäßig erhebbar.

„Fläche unter der Kurve“-Prinzip

Für den direkten Vergleich des Nutzens der Nullstrategie (ohne Maßnahmen) mit der jeweiligen Erhaltungsstrategie, kann neben der beschriebenen Nutzerkostenbewertung, nach Weninger-Vycudil et al. (2009), auch die Möglichkeit der Kostenwirksamkeitsanalysen herangezogen werden. Dieses Verfahren kann sowohl zur Bewertung des Nutzens für Straßenerhalter sowie für Straßennutzer herangezogen werden. Hierbei werden Verhältniszahlen ermittelt, die sich direkt auf den jeweiligen Straßenzustand beziehen. Für diese nicht monetäre Bewertung des Nutzens ist nach Weninger-Vycudil et al. (2009) eine entsprechend detaillierte Kenntnis des Straßenzustandsverlaufes über die

Zeit erforderlich. Monetäre Bewertungen (Nutzerkostenbewertung) hingegen erfordern nach Weninger-Vycudil et al. (2009) zusätzlich den Zusammenhang zwischen dem Straßenzustand und Kosten getrennt für Straßennutzer und -erhalter. Die nicht-monetäre Herangehensweise lässt sich wie in Abbildung 4 ersichtlich, als „Fläche unter der Kurve“-Prinzip darstellen.



Abbildung 4: „Fläche unter der Kurve“-Prinzip (Weninger-Vycudil, 2009)

Die Zustandsverläufe zufolge der Erhaltungsstrategie „Keine Maßnahmen“ und aufgrund einer Erhaltungsstrategie bestimmt durch verschiedenen Instandhaltungs-, Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen werden über die Zeit betrachtet und verglichen. Die aufgespannte Fläche zwischen den beiden Kurven beschreibt u. a. nach Weninger-Vycudil et al. (2009) und Rübensam et al. (2010) den Nutzen (auch Wirksamkeit genannt) der Maßnahme und kann als dimensionslose Verhältniszahl ausgedrückt werden. Für die Zustandsverläufe ohne und mit Maßnahmen können nach Rübensam et al. (2010) folgende Verhaltensfunktionen angesetzt werden:

$$Z_0(t) = 1 + a_0 * t^{b_0} \quad (5)$$

Mit: $Z_0(t)$ Zustandsverlauf für die jeweiligen Merkmale ohne Maßnahme
 t Zeit in Jahren
 a_0, b_0 Verlaufs-Koeffizienten für „Nichts-tun“

$$Z_m(t) = Z_r + a_m * t^{b_m} \quad (6)$$

Mit: $Z_m(t)$ Zustandsverlauf für die jeweiligen Merkmale mit Maßnahme
 Z_r zurückgesetzter Zustandswert nach der Maßnahme
 t Zeit in Jahren
 a_m, b_m Verlaufs-Koeffizienten für die Standardfunktion nach Maßnahmen

Die Verlaufscoeffizienten nehmen Zahlenwerte an und sind für die einzelnen Zustandsmerkmale sowie homogenen Abschnitte zu ermitteln. Die Flächen unter den Kurven (Zustandsverläufe) der

beiden zu vergleichenden Strategien kann nach Rübensam et al. (2010) durch Integration ermittelt werden, wobei dabei zu beachten ist, dass die Zustandswerte maximal den Wert fünf erreichen können.

Wenn im Gesamtzustandswert bereits Substanz und der für die Nutzer entscheidende Gebrauchswert beinhaltet sind, kann durch Multiplikation mit einem Nutzenfaktor (berücksichtigt Verkehrsbelastung) direkt der Nutzen für Straßennutzer ermittelt werden (Weninger-Vycudil, 2009).

$$N_i = \sum_{t=t_0}^{t_E} [(GW_{0,t} - GW_{i,t}) * NF_t] \quad (7)$$

Mit:	N_i	Nutzen der Erhaltungsstrategie i
	$GW_{0,t}$	Gesamtwert zum Zeitpunkt t der „Keine Maßnahmen Strategie“
	$GW_{i,t}$	Gesamtwert zum Zeitpunkt t der Strategie i
	NF_t	Nutzenfaktor zum Zeitpunkt t
	t_0	aktuelles Jahr
	t_E	Endjahr der Maßnahmenperiode

Der Nutzen einer Maßnahmenstrategie kann in weiterer Folge den mittels der Formeln (1) und (2) ermittelten Kosten gegenübergestellt werden. Über das Verfahren des „inkrementellen Nutzen-Kosten-Verhältnisses“ werden die einzelnen vorgeschlagenen Strategien entsprechend ihrer ermittelten Kosten und Nutzen im Effektivitätsdiagramm dargestellt (Abbildung 5) (Henning et al., 2007; Kerali & Mannisto, 1999). Diese Form der Nutzen-Kosten-Bewertung wurde auch im österreichischen VIA-PMS angewandt (Weninger-Vycudil, 2009).



Abbildung 5: Effektivitätsdiagramm (Weninger-Vycudil, 2009)

Kostenminimierungsmodul

Als Erweiterung des oben beschriebenen „Fläche unter der Kurve“ Prinzips wurde durch Rübensam et al. (2010) ein Prototyp eines technisch-wirtschaftlichen Kostenminimierungsmoduls für die Bundesfernstraßen in Deutschland entwickelt. Dieses System soll Wirtschaftlichkeitsberechnungen im PMS durchgängig in Geldeinheiten ermöglichen. Zusätzlich zu den Kosten ist es daher erforderlich den betriebswirtschaftlichen Nutzen aus Betreibersicht in Geldeinheiten auszudrücken. Das von Rübensam et al. (2010) entwickelte Konzept erfordert zu Beginn die Berechnung des Substanzpotentials aufnehmbarer Bemessungsachsen vorerst für die Gesamtkonstruktion und in weiterer Folge unter Berücksichtigung von Reduzierungsfaktoren für die einzelnen Schichten des Straßenaufbaues. Die bis dahin nach Materialart, Materialdicke und Materialalter gemittelten Substanzpotentiale werden durch einen weiteren Faktor an den jeweiligen Oberflächenzustand angepasst. Für eine Überleitung von äquivalenten Achslastübergängen zu monetären Werten können einerseits Ergebnisse der Wegekostenrechnung (Rommerskirchen et al., 2002) und andererseits der finanzielle Neubaufwand herangezogen werden. Nach Rübensam et al. (2010) ist die Variante aufbauend auf die Wegekostenrechnung die umfassendere. Unter deren Berücksichtigung können der Fahrleistung Kosten zugeordnet und die äquivalenten Achslastübergänge getrennt für die einzelnen Schichten beurteilt werden. Durch Addition der Ergebnisse der einzelnen Summen, kann das Gesamtsubstanzpotential monetär bewertet werden. Werden Maßnahmen umgesetzt, ergibt sich ein Rücksetzwert des Substanzpotentials aufnehmbarer Äquivalenzachsen. Die Höhe des Rücksetzwertes ist von der Art der Maßnahme und von der Anzahl ersetzter Schichten abhängig. Für einen Kosten-Nutzen-Vergleich werden Kosten und Nutzen der geplanten Maßnahmenstrategie mit der „Nichts-tun-Strategie“ verglichen und als Barwerte in Verhältnis gesetzt (Rübensam et al., 2010). Auch für diese Form der Nutzenbewertung sind Verkehrszahlen erforderlich, welche für das niederrangige Straßennetz i.d.R. nicht flächendeckend verfügbar sind.

2.2.4 Erhaltungsstrategien

Um Erhaltungsaktivitäten beurteilen und unterschiedliche Erhaltungsstrategien vergleichen zu können, wird in der Regel die Methodik der Lebenszykluskostenanalyse verwendet (siehe auch Kap. 2.2.3). Der Begriff „Erhaltungsstrategie“ findet hierbei für die Abfolge mehrerer Erhaltungsmaßnahmen Verwendung.

Mittels Analyseverfahren zur Berücksichtigung der Lebenszykluskosten, werden Maßnahmenstrategien verglichen und daraus auch allgemeine Grundsätze abgeleitet. Auf diese Weise kann gezeigt werden, dass der Zustandsverlauf unmittelbar von der Erhaltungsstrategie abhängt (Li et al., 2005). Bereits in den Vorschlägen von Litzka & Haslehner (1989) für ein technisches Erhaltungsmodell für ländliche Straßen wurde darauf hingewiesen, dass laufende Instandhaltung und rechtzeitige Instandsetzungen Folgeschäden reduzieren und somit aus technisch-wirtschaftlicher Sicht sinnvoll sind. Solange die Substanz des Straßenaufbaus in Ordnung ist, können durch frühzeitige, regelmäßige Maßnahmen die Nutzungsdauer und somit die Lebenszykluskosten gesenkt werden. Auch der Gebrauchswert kann unter Berücksichtigung dieser beschriebenen Strategie über einen langen Zeitraum, im Vergleich zu einer Strategie ohne „vorbeugende“ Maßnahmen auf hohem Niveau gehalten werden (Litzka & Haslehner, 1989).

Wie durch Hoffmann (2006) beispielsweise angeführt, sind kleine Sanierungsmaßnahmen aus Sicht des Straßenerhalters nicht sinnvoll, wenn die Schadensursache unter den asphaltgebundenen Deck- und Tragschichten (Untergrund, Entwässerung, Frostkoffer) liegt. Während Deckschichtmaßnahmen

im Falle von Unebenheiten, Spurrinnen, Abplatzungen und Griffigkeitsmängeln im Sinne der Lebenszykluskosten als geeignet angesehen werden können, ist die Wirkdauer bei tieferliegenden Schadensursachen gering, was sich negativ auf die gesamten Lebenszykluskosten auswirkt. Aus diesem Zusammenhang ist erkennbar, dass es wichtig ist Maßnahmen auf die Schadensursache abzustimmen. Da Unterdimensionierungen bei (Re)-Investition zu überproportional hohen Folgekosten führen, ist eine ausreichende Dimensionierung gemeinsam mit einer hohen Qualität in der Ausführung anzustreben (Hoffmann, 2006).

Bereits durch Schmuck & Maerschalk (1989) wurde darauf hingewiesen, dass nachträgliche Grabungsarbeiten negative Auswirkungen auf den Zustand und den Zustandsverlauf haben. Aus diesem Grund ist eine möglichst gute Abstimmung zwischen den Leitungsträgern und Straßenerhaltern und somit eine Minimierung der Anzahl an Aufgrabungen anzustreben.

Für die Bereiche der betrieblichen und baulichen Instandhaltung ist es empfehlenswert Arbeiten wie das Vergießen von Rissen, sowie die Wartung und Pflege von Entwässerungseinrichtungen laufend und ordnungsgemäß durchzuführen, da dadurch die Lebensdauer der Anlage maßgeblich erhöht und Straßenbaulastträger sowie Nutzerkosten gesenkt werden können (Li et al., 2005; Veeraragavan & P, 2011).

Sofern kein Strukturversagen vorliegt, gilt die möglichst lange Aufrechterhaltung eines guten Zustandes mit der jeweils geringsten erforderlichen Instandsetzung als günstigste Strategie (Hoffmann, 2006).

Aufgrund begrenzter Budgets sind optimierte Strategien nur bedingt umsetzbar. Der negative Zustandsverlauf bei zu geringem Budget kann beispielsweise über den „International Roughness Index“ (IRI) aufgezeigt werden (Li et al., 2005). In der Situation geringen Budgets bleiben im Wesentlichen nur die Möglichkeiten zusätzlicher Einnahmen oder der bestmöglichen Verteilung der vorhandenen Mittel und der Verhinderung von Gefahrenpotentialen im Sinne der gültigen Rechtsordnung. Unter diesen Restriktionen ist zu klären, welche Straßen zufolge eines Engpassmanagements erforderlich sind und auf welche am ehesten verzichtet werden kann. Für ein ausgewähltes Kernnetz ist es zweckmäßig die Netzsubstanz im Sinne geringer Lebenszykluskosten möglichst gut zu erhalten. Grundsätzlich ist es günstiger intakte Netzteile vor dem Verfall zu bewahren, als bereits ausgefallene Abschnitte zu ersetzen. Sind Abschnitte bereits ausgefallen, verringern sich die Lebenszykluskosten mit bestehender Nutzung. Demnach ist ein „Liegenlassen“ bei schlechtem Zustand möglich, wenn kein Gefahrenpotential für die Nutzer besteht (Hoffmann, 2006).

2.2.5 Entwicklung in der Straßenerhaltung und Besonderheiten im niederrangigen Netz

Im Allgemeinen wurde die Straßenerhaltung in den vergangenen 20 bis 30 Jahren zunehmend systematisiert. Vor allem im höherrangigen Straßennetz hat dies zur Entwicklung von Pavement Management Systemen oder Erhaltungsmanagementsystemen (siehe Kap. 2.2.2) geführt. Bei all den Unterschieden im Detail können die Inhalte in den meisten Fällen in folgende Themenbereiche zusammengefasst werden:

- Definition des Untersuchungsraumes
- Zustandserfassung und -prognose
- Kosten- und Nutzenbewertungen (häufig unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten)

- Berücksichtigung der Bedeutung der Straße (grobe Unterteilung in z.B. 3 bis 4 Kategorien, zum Teil werden Verkehrszählungen miteinbezogen)
- Maßnahmenplanung inkl. Prioritätenreihung unter Berücksichtigung von Synergien
- Ermittlung des Finanzmittelbedarfs

Die Priorisierung der Maßnahmen erfolgt in bestehenden Erhaltungsmanagementsystemen auf Basis einer Bewertung des Zustandes, wobei auch die Bedeutung von Straßen in Entscheidungen einfließt (Abbildung 6). Die Bewertung der Bedeutung von untergeordneten Straßen erfolgt beispielsweise durch das Land Steiermark entsprechend der Gliederung in Kap. 3.2. In gängigen Pavement-Management-Systemen liegt das Hauptaugenmerk in der Bewertung und Prognose des Zustandes sowie in der Ableitung operativer Maßnahmen. Raum- und verkehrsplanerische Vorgaben fließen nur am Rande ein.

Erhaltungsmanagementsysteme wurden überwiegend für höherrangige Straßennetze entwickelt und werden in der Praxis auch hauptsächlich in diesem Bereich angewandt. Gemäß Kap. 1.3 wird in vorliegender Arbeit der Fokus auf Gemeindestraßen gelegt. Für kommunale Straßen wurden Erhaltungsmanagementsysteme nur vereinzelt angewandt. Es gilt zu hinterfragen, inwieweit Überlegungen für Autobahnen auch für Gemeindestraßen zutreffen. Nachstehende Tabelle legt maßgebende Unterschiede zwischen Autobahnen und Gemeindestraßen dar.

Tabelle 5: Vergleich Autobahnen und Gemeindestraßen – Kennwerte und Eigenschaften

	Autobahnen u. Schnellstraßen	Gemeindestraßen
Netzlänge	2.192 km ¹	88.758 km ¹
Kontinuierliche Verkehrszählungen?	wirtschaftlich vertretbar	wirtschaftlich nicht vertretbar
JDTV [Fzg. / 24h]	7.213 bis 149.319 ² (Faktor 21)	1 bis 8.676 ³ (Faktor 8.676)
Beweislast	bei Straßenerhalter ⁴	bei Straßennutzer ⁴
Gefahr durch mangelhaften Zustand	groß	gering
Erforderliche Straßenqualität	hoch	niedrig
Einfluss Raumplanung auf Verkehrsentwicklung	gering	groß
Einfluss Standortentscheidungen auf Verkehrsentwicklung	gering	groß
Einfluss demografische Entwicklung auf Verkehrsentwicklung	gering	groß

¹ Daten zur Straßennetzlänge: Bericht des BMVIT - Verkehr in Zahlen (BMVIT, 2015)
² Daten zum Verkehrsaufkommen auf Autobahnen und Schnellstraßen (BMVIT & ASFINAG, 2010)
³ Daten zum Verkehrsaufkommen im Gemeindestraßennetz: Auswertung Bezirk Leibnitz (Kap. 7.3)
⁴ Erläuterung der rechtlichen Situation (Kap. 2.1.1)

Da das Netz der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen nur 1/40 der Länge der Gemeindestraßen umfasst, sind kontinuierliche Verkehrszählungen für das hochrangige Netz wirtschaftlich vertretbar, für das Netz der Gemeindestraßen jedoch nicht. Da der Einfluss durch Raumplanung, einzelne Standortentscheidungen und demografischen Entwicklungen auf hochrangigen Straßen gering ist, kann die Bedeutung der Straßen im Bereich der Autobahnen und Schnellstraßen in ausreichendem Maße durch Verkehrsaufkommen ausgedrückt werden. Diese Verkehrsdaten sind i.d.R. auch verfügbar. Abgesehen davon, dass kontinuierliche Verkehrszählungen für knapp 90.000 km Gemeindestraßen in Österreich wirtschaftlich nicht vertretbar sind, ist im Bereich der niederrangigen Straßen die Abhängigkeit vom durchzogenen Raum größer. Zusätzlich führen Standortentscheidungen und demografische Phänomene kleinräumig zu großen Auswirkungen. Aus diesen Gründen ist die Entwicklung von Methoden zur flächendeckenden und umfassenden Bewertung der Bedeutung von Straßen des untergeordneten Netzes erforderlich.

Die isolierte Betrachtung der verkehrlichen Bedeutung zeigt zudem einen deutlichen Unterschied in der Relation der Mindest- und Maximumverkehrsaufkommen. Während österreichweit die meistbefahrene Autobahn (A2, Ast Mödling – Ast Wr. Neudorf) einen 21-mal höheren JDTV im Vergleich zur Schnellstraße (S31, Weppersdorf-St. Martin - Neutal) mit dem niedrigsten JDTV aufweist (BMVIT & ASFINAG, 2010), gibt es allein im Gemeindestraßennetz des Bezirks Leibnitz Gemeindestraßen, deren verkehrliche Bedeutung ein 8.000-faches im Vergleich zu anderen Gemeindestraßen aufweisen (siehe Tabelle 5). Umso wichtiger ist es daher hinsichtlich der Bedeutung zu unterscheiden.

In Erhaltungsmanagementsystemen für das hochrangige Netz wurden Verfahren zur Monetarisierung des fiktiven Nutzeraufwandes aufgrund schlechten Straßenzustandes oder baustellenbedingter Änderungen implementiert. Als Datengrundlage werden Verkehrszählungen oder Verkehrsmodelle herangezogen. Diese Informationen zum Verkehrsaufkommen sind im niederrangigen Straßennetz i.d.R. nicht flächendeckend verfügbar.

Die Auswirkungen auf den Nutzeraufwand nehmen im Gemeindestraßennetz aufgrund folgenden Sachverhaltes jedoch eine übergeordnete Rolle ein: Wie in Kap. 2.1.1 erläutert gilt in Österreich für das Autobahnen- und Schnellstraßennetz die sogenannte Beweislastumkehr, wodurch diese Straßen in besonders gutem Zustand erhalten werden müssen. Auch ist die Gefahr durch mögliche Schäden an höherrangigen Straßen, aufgrund der höheren erlaubten Geschwindigkeit, größer als im Gemeindestraßennetz. Aus diesem Grund ist die Straßenqualität auf niederrangigen Straßen im Vergleich zu höherrangigen Straßen von geringerer Bedeutung. Wie in Kap. 2.2.4 beschrieben, kann das Beibehalten einer geringen Qualität bei Strukturschäden zur Senkung der Lebenszykluskosten beitragen. Daraus abgeleitet, wird auch durch Redimensionierungen eine Reduktion der Lebenszykluskosten erreicht. Im Gegensatz zu gängigen Maßnahmen (Kap. 2.2.1) der baulichen Erhaltung können bei „destruktiven“ Maßnahmen negative Effekte für Nutzer entstehen, wodurch Nutzerbedürfnisse in der Bewertung der Maßnahmen eine vergleichsweise große Rolle einnehmen. Die „Straßenqualität zufolge Zustand“ unterliegt im Gemeindestraßennetz vergleichsweise großen Schwankungen. Aus diesem Grund spielen Reisezeitveränderungen und somit Auswirkungen auf die Straßennutzer eine übergeordnete Rolle. Während im Netz der Autobahnen Reisezeitveränderungen zum Großteil aus reduzierter Geschwindigkeit entstehen, gibt es im Netz der Gemeindestraßen, aufgrund „günstiger“ Alternativrouten einen zusätzlichen Effekt durch Verlagerung des Verkehrs, wodurch einfache Verkehrszählungen im Zusammenhang mit Redimensionierungen nicht ausreichend sind. In der Entwicklung vorliegender Arbeit ist dieser Umstand zu berücksichtigen.

Da Rückbaumaßnahmen sowie geplante Einschränkungen für den Verkehr üblicherweise nicht Teil der Straßenerhaltung sind, muss das gängige Maßnahmenspektrum erweitert werden.

Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass die bestehenden „zustandsorientierten“ Ansätze für höherrangige Straßen mit geringen Bedeutungsunterschieden und hohem erforderlichen Zustandsniveau sehr gut geeignet sind. Für niederrangige Straßen jedoch ist aufgrund der Beschreibung in Tabelle 5 eine stärkere Berücksichtigung der Straßenbedeutung erforderlich. Ziel vorliegender Arbeit ist es daher im Speziellen für niederrangige Straßen mit großen Bedeutungsunterschieden und knappen Budgetmitteln einen bedarfsorientierten Ansatz zu entwickeln. Dieser Ansatz soll im Gegensatz zu bestehenden Systemen auch Schrumpfungprozesse zulassen (Abbildung 6) und raumplanerische Ziele sowie Aspekte des Gemeinwohls verstärkt miteinbeziehen. Jedenfalls sind rechtliche Prämissen einzuhalten und Substanzverluste zu vermeiden.

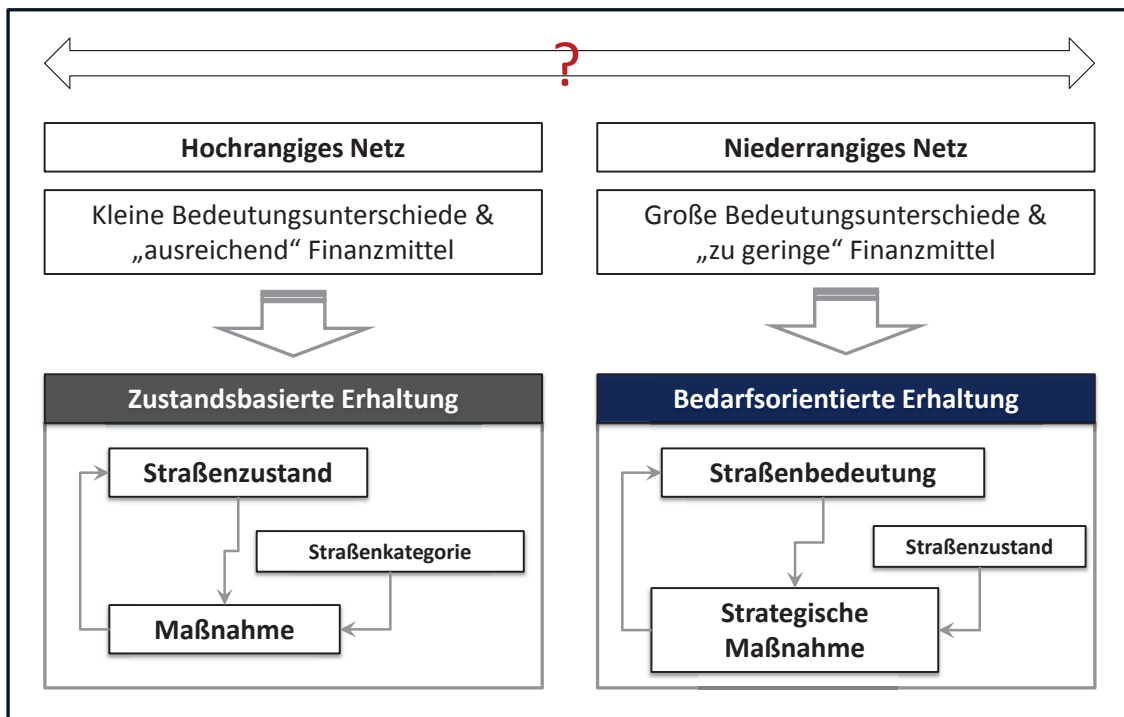


Abbildung 6: Zustandsbasierte und bedarfsorientierte Erhaltung im Vergleich

3 Planung der Straßeninfrastruktur

Ein weiterer wesentlicher Teil der Literaturrecherche widmete sich der Frage, welche Gliederungsmöglichkeiten für die Einteilung eines Straßennetzes entsprechend der Bedeutung einzelner Straßen bestehen.

In den verfügbaren Regelwerken sind funktionale Kategorisierungen für Straßen vorhanden. Abgesehen vom Bereich der Straßenerhaltung sind Untergliederungen von Straßen erforderlich, um Anlageverhältnisse entsprechend der jeweiligen Kategorie zu überprüfen und anzupassen. In den folgenden Kapiteln wird auf Gliederungsmöglichkeiten entsprechend der österreichischen Richtlinien RVS 03.01.13 und RVS 03.03.81 sowie der deutschen RIN näher eingegangen. Auch die verwendete Unterteilung in der Graphenintegrationsplattform (GIP) sowie die Einteilung durch das Land Steiermark werden beschrieben.

Kap. 3.4 und 3.5 geben Aufschluss über bestehende wissenschaftliche Arbeiten zu Modellen für die Beurteilung des Verkehrs sowie Methoden zur Anpassung von Infrastrukturen an demographische Entwicklungen. Die Inhalte können folgenden drei Fragestellungen zugeordnet werden:

- Inwieweit können Verkehrsmodelle einen Beitrag zur Bewertung der Bedeutung von Straßen leisten?
- Stehen Methoden oder Verfahren für Verkehrsnetzanalysen unter Berücksichtigung der Bedeutung zur Verfügung?
- Gibt es bereits Überlegungen zu Anpassungsmaßnahmen an demografische Entwicklungen?

3.1 Richtlinienkonforme Gliederungen

RVS 03.01.13 und RVS 03.03.81

Die Kategorisierung nach der Richtlinie RVS 03.01.13 umfasst die Gruppierung der einzelnen Netzelemente nach unterschiedlichen Funktionen. Der Anwendungsbereich wird auf Autobahnen, Freilandstraßen und Ortsdurchfahrten eingeschränkt. Für die Umsetzung der Kategorisierung ist die jeweilige Straßenverwaltung zuständig. Zur Beurteilung der verkehrlichen Funktion werden bestehende oder prognostizierte Verkehrsstärken herangezogen.

Als Standorträume werden zur Beurteilung der Verbindungen neben den maßgeblichen benachbarten Wirtschaftsräumen, die österreichischen Zentral- und Wirtschaftsräume sowie Bezirkshauptorte, Arbeits-, Versorgungs- und Tourismuszentren, Gemeinden und Gemeindeteile unterschieden. Unter Berücksichtigung dieser Standorte können nach der Richtlinie RVS 03.01.13 die in Tabelle 6 angeführten Kategorien differenziert werden.

Tabelle 6: Kategorisierung nach der Richtlinie RVS 03.01.13

KATEGORIE	BESCHREIBUNG
I	Transnationales Netz Großräumige Verbindungen von den neun österreichischen Zentral- und Wirtschaftsräumen zu den sieben für Österreich maßgeblichen benachbarten europäischen Wirtschaftsräumen einschließlich der österreichischen TEN-Strecken
Ia	Transnationaler Netzabschnitt im Ballungsraum
II	Transregionales Netz Großräumige Verbindungen zwischen den neun österreichischen Zentral- und Wirtschaftsräumen oder grenzüberschreitend zu bedeutenden benachbarten Regionen
Ila	Transregionaler Netzabschnitt im Ballungsraum
III	Zentralörtliches Netz Überregionale Verbindungen zwischen Bezirkshauptorten untereinander oder von Bezirkshauptorten zur Landeshauptstadt Verbindungen von Bezirkshauptorten zu weiteren Arbeits-, Versorgungs- und Tourismuszentren
IV	Regionales Netz Regionale Verbindungen von Gemeinden oder Gemeindeteilen zu Bezirkshauptorten Regionale Verbindungen von Gemeinden oder Gemeindeteilen zu weiteren Arbeits-, Versorgungs- und Tourismuszentren
V	Gemeindeverbindungen Kleinräumige und lokale Verbindungen zwischen Gemeinden oder Gemeindeteilen
VI	Innerörtliches Netz Weitere lokale Verbindungsfunktion

Neben der in diesem Kapitel hauptsächlich thematisierten Richtlinie RVS 03.01.13 finden sich unter anderem in folgenden Richtlinien ebenfalls Kategorisierungen: RVS 03.03.23 und RVS 03.03.31 sowie 03.04.12. Während die Kategorien I bis III üblicherweise Autobahnen und Schnellstraßen sowie Landesstraßen sind, können Gemeindestraßen durchaus den Kategorien IV bis VI zugeordnet werden. Für einen Blick auf das Wesentliche wurde der Vergleich mit den oben angeführten RVS in Tabelle 7 nur für die Kategorien IV, V und VI, die für Gemeindestraßen in Frage kommen abgebildet.

Tabelle 7: Vergleich mit anderen RVS in Anlehnung an die Richtlinie RVS 03.01.13

KATEGORIE RVS 03.01.13	BESCHREIBUNG	RVS 03.03.23 RVS 03.03.31	RVS 03.04.12
IV	Regionales Netz Regionale Verbindungen von Gemeinden oder Gemeindeteilen zu Bezirkshauptorten Regionale Verbindungen von Gemeinden oder Gemeindeteilen zu weiteren Arbeits-, Versorgungs- und Tourismuszentren	Regionale Straßen mit größerer Verkehrsbedeutung	Hauptstraße

V	Gemeindeverbindungen Kleinräumige und lokale Verbindungen zwischen Gemeinden oder Gemeindeteilen	Regionale Straßen mit geringerer Verkehrsbedeutung	Hauptstraße Sammelstraße
VI	Innerörtliches Netz Weitere lokale Verbindungsfunktion	-	Sammelstraße Anliegerstraße

Mittels Erreichbarkeitsstandards können die unterschiedlichen Verbindungsfunktionen ergänzt werden, indem festgelegt wird, wie lange eine Fahrt zwischen zwei Standorten in einem bestimmten Funktionsbereich dauern darf. Entsprechend der räumlich-verkehrlichen Funktion können einzelnen Straßenabschnitten Merkmale, wie zum Beispiel Querschnittsform, Fahrzeugartbeschränkung, Knotenform, zulässige Höchstgeschwindigkeit oder Verkehrsstärken und Anforderungen wie zum Beispiel Auslastungsgrad, Verkehrsgeschwindigkeit oder Reisezeit zugeordnet werden.

Der Anwendungsbereich der RVS 03.01.13 ist im Zusammenhang mit der RVS 03.01.11 zu verstehen und dient als Hilfestellung zur Feststellung der Anforderungsprofile und für die Beurteilung des Verkehrsablaufes auf einzelnen Straßen. In der Anwendung kann festgestellt werden, ob die Anlageverhältnisse einer Straße ihrer räumlich-verkehrlichen Funktion entspricht. Aus diesem Grund werden, wie oben beschrieben, Anforderungen an die Ausgestaltung und den Verkehrsablauf der jeweiligen Kategorie zugeordnet.

Eine weitere Untergliederung im Speziellen für ländliche Straßennetze erfolgt in der RVS 03.03.81 „Ländliche Straßen und Güterwege“. Diese RVS dient der Planung von ländlichen Straßen. In den Begriffsbestimmungen wird für weitere Planungsschritte die in Tabelle 8 ersichtliche Unterscheidung zwischen ländlichen Straßen mit größerer Verkehrsbedeutung und ländlichen Straßen mit geringerer Verkehrsbedeutung unterschieden.

Tabelle 8: Kategorisierung der Verkehrsbedeutung nach der Richtlinie RVS 03.03.81

BESCHREIBUNG
<p>Ländliche Straßen mit größerer Verkehrsbedeutung Straßen, welche Ortschaften und Siedlungsgebiete mit dem übergeordneten Straßennetz bzw. übergeordnete Straßen untereinander verbinden.</p>
<p>Ländliche Straßen mit geringerer Verkehrsbedeutung Bei diesen ist von der Funktion her zu unterscheiden nach:</p> <p>a) der Erschließung von Dauersiedlungen. Derartige Straßen verbinden Weiler und Einzelhöfe samt den anschließenden Grundflächen mit dem übergeordneten Straßennetz. Sie müssen ganzjährig befahrbar sein. Das maßgebende Verkehrsaufkommen ist gering, neben landwirtschaftlichen Fahrzeugen verkehren PKW und LKW auf diesen Anlagen</p>
<p>b) der Erschließung land- oder forstwirtschaftlicher Flächen (Wirtschaftswege). Es werden darunter sowohl Haupt- und Nebenwege zur Grundstückserschließung und Parallelwege entlang von Hauptverkehrsstraßen als auch Erschließungsstraßen, die nicht zu Dauersiedlungen führen (z.B. Almwege), verstanden. Auf diesen Wegen verkehren hauptsächlich landwirtschaftliche Fahrzeuge und Arbeitsgeräte, wobei das Verkehrsaufkommen von der Bewirtschaftungsform und der Jahreszeit abhängt. Die Anlagen müssen aber auch für PKW-Verkehr und fallweise auftretenden LKW-Verkehr geeignet sein.</p>

Richtlinie für integrierte Netzgestaltung

Die deutsche Richtlinie für integrierte Netzgestaltung (RIN) leistet einen Beitrag zur Abstimmung der fachplanerischen Ziele mit den übergeordneten räumlichen Planungen. Dabei werden Ziele der Raumordnung und Landesplanung in Bezug auf Erreichbarkeiten berücksichtigt und eine funktionale Gliederung abgeleitet. Über eine Verknüpfungsmatrix, die unterschiedliche Kategoriengruppen mit Verbindungsstufen kombiniert, werden letztendlich die in Tabelle 9 angeführten Verkehrswegekategorien festgelegt. Die funktionale Gliederung nach Verkehrswegekategorien dient in weiterer Folge der Bewertung der verbindungsbezogenen Angebotsqualität und zur Bestimmung von Qualitätsvorgaben zur Gestaltung von Verkehrsnetzen (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsausschuß Netzgestaltung, 2008).

Tabelle 9: Verkehrswegekategorien für den KFZ-Verkehr nach der Richtlinie für integrierte Netzgestaltung (RIN) (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsausschuß Netzgestaltung, 2008)

Kategorie	BESCHREIBUNG
AS 0/1	Fernautobahn
AS II	Überregionalautobahn, Stadtautobahn
LS I	Fernstraße
LS II	Überregionalstraße
LS III	Regionalstraße
LS IV	Nahbereichsstraße
LS V	Anbindungsstraße
VS II	Ortsdurchfahrt, anbaufreie Hauptverkehrsstraße
VS III	Ortsdurchfahrt, anbaufreie Hauptverkehrsstraße
HS III	Ortsdurchfahrt, innergemeindliche Hauptverkehrsstraße
HS IV	Ortsdurchfahrt, innergemeindliche Hauptverkehrsstraße
ES IV	Sammelstraße
ES V	Anliegerstraße

Von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FSV) Arbeitsausschuss Netzgestaltung (2008) wird darauf hingewiesen, dass in der funktionalen Gliederung des Verkehrsnetzes aufgrund verkehrlicher oder angebotsbezogener Detailinformation von definierten Kategorien abgewichen werden kann: „Bei der Festlegung einer Verbindungsfunktionsstufe kann die Stärke der **Verkehrsbeziehung** zwischen zwei Zentren von **Einfluss** sein. Stark ausgeprägte verkehrliche Verflechtungen oder ein hoher Anteil an Transitverkehr können dafür sprechen, die sich aus der Raumordnung ergebende Verbindungsfunktionsstufe **um eine Stufe aufzuwerten**. Schwach ausgeprägte verkehrliche Verflechtungen oder ein bestehendes bzw. geplantes gutes Angebot anderer Verkehrssysteme können Gründe darstellen, die Verbindung **um eine Stufe abzuwerten**“

3.2 Graphenintegrations-Plattform (GIP) und Beurteilung im Land Steiermark

Graphenintegrations-Plattform (GIP)

Die Graphenintegrations-Plattform (GIP) dient der Erstellung eines gemeinsamen österreichweiten Verkehrsgraphen. Die laufende Aktualisierung der GIP soll mittels geeigneter Werkzeuge durch die Behörden erfolgen. U.a. beinhaltet die GIP Gliederungen des Straßennetzes entsprechend der Bedeutung. Diese Informationen werden durch die einzelnen Bundesländer und Organisationen bereitgestellt und basieren im Falle des steirischen Gemeindestraßennetzes auf augenscheinlichen Bewertungen. Diese landesspezifische dreiteilige Einteilung wird entsprechend den unterschiedlichen FRC-Stufen zugeordnet, wobei FRC für „Functional Road Class steht“.

Das Netz der Gemeindestraßen wird demzufolge folgenden drei Kategorien zugeordnet (GIP 2016):

FRC 5 (GIP 2016)

Kategorie V Gemeindeverbindungen

Kleinräumige und lokale Verbindungen zwischen Gemeinden oder Gemeindeteilen, die auch eine Sammelfunktion aufweisen.

Kategorie V Innerörtliches Netz

Weitere lokale Verbindungsfunktionen

Darunter fallen weitere Verbindungen, welche die Gemeinden bzw. größere Gemeindeteile miteinander verbinden.

In Städten werden in dieser Kategorie Straßen erfasst, die Stadtteilzentren verbinden und den Netzzusammenhang herstellen, sofern sie nicht schon höher eingestuft wurden. In Wien fallen darunter etwa auch Eisenbahn- und Autobahnunter- bzw. -überführungen, die Verbindungen zwischen verschiedenen Stadtteilen herstellen. In kleineren Städten kann auf diese Kategorie verzichtet werden.

FRC 6 (GIP 2016)

Sammelstraßen, welche einzelne Weiler erschließen. (Ein Weiler ist eine Wohnsiedlung, die aus wenigen Gebäuden besteht. Ein Weiler ist kleiner als ein Dorf, aber größer als eine Einzelsiedlung.)

In Städten fällt darunter das niederrangige Netz innerhalb von Stadtteilen, das für den MIV befahrbar ist, und in keiner der höheren Kategorien erfasst wurde.

FRC 7 (GIP 2016)

Interne Erschließung von Siedlungen. (z.B.: Anrainerstraßen, Einfahrten, Zufahrten, Sackgassen)

Die vollständige Auflistung aller FRC-Kategorien befindet sich im Anhang A.

Funktionale Gliederung der Gemeindestraßen in der Steiermark

Das Amt der Steiermärkischen Landesregierung hat flächendeckend funktionale Bewertungen der Straßenbedeutung vorgenommen. Die Einschätzung in drei Kategorien wurde durch Befahrungen

von Experten des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung (Abteilung 17) durchgeführt. Dabei wurden u.a. folgende Kriterien berücksichtigt (Auskunft Stern, 2012):

- Straßenbreite
- Siedlungsstruktur entlang der bewerteten Straße (augenscheinlich)
- Verbindungsfunktion (Einschätzung durch Befahrung; z.B. Verbindungsstraße zwischen zwei Landesstraßen besitzt höhere Priorität)
- Regionale Bedeutung (augenscheinlich)

3.3 Bedarfsorientierte anstatt funktionaler Gliederungen

Die in Kap. 3.1 und 3.2 beschriebenen Kategorisierungssysteme gliedern Straßen in der Regel nach ihrer Verbindungsfunktion. Beispielsweise werden hier Verbindungsfunktionsstufen von „kontinental“ bis „kleinräumig“ vergeben.

Nach den bestehenden Systemen sind der Großteil an Gemeindestraßen in Österreich demnach als nahräumige (Gemeinde-Gemeinde oder Gemeinde-Grundzentrum) oder kleinräumige (Gemeinde-Grundstück) Verbindungen einzustufen. Eine derartig grobe Unterteilung ist für die Umsetzung des Ziels der vorliegenden Arbeit nicht ausreichend. Um Finanzmittel entsprechend der Straßenpriorität zu verteilen und Grundlagen für Einzelmaßnahmen zu schaffen, ist eine detailliertere Kategorisierung erforderlich.

Die in Kap. 3.1 und 3.2 angeführten, bestehenden Systeme dienen häufig als Grundlage für Entscheidungen zur Herstellung adäquater Verbindungen. In der Regel werden sie zur Überprüfung der Angebotsqualität und zur Beurteilung der Erreichbarkeit zentraler Orte herangezogen. Da die Einteilung der Straßen über ihre Funktion (z.B. Verbindung zweier Gemeinden) erfolgt, können die in Kap. 3.1 und 3.2 erwähnten Klassifizierungen als funktionale Systeme bezeichnet werden.

Wenn in rechtlichen Grundlagen (siehe Kap. 2.1) im Zusammenhang mit Haftungen von der nicht näher spezifizierten „Bedeutung der Straßen“ als Grundlage für Investitionsentscheidungen die Rede ist, kann damit nicht die funktionale Bedeutung gemeint sein. Schließlich können aus einer Funktion alleine niemals Haftungen entstehen. Vielmehr geht es um mögliche Auswirkungen auf Verkehrsteilnehmer und die Bedeutung für die Bevölkerung.

Ziel vorliegender Arbeit ist es daher, eine nachfrageorientierte Methodik zur Klassifizierung niederrangiger Straßennetze zu entwickeln. Dabei geht es im Gegensatz zu funktionalen Konzepten nicht um die Beurteilung der Netzqualität und möglicher Anpassungen, sondern um die Finanzmittelverteilung im bestehenden Netz.

Auch wenn in Vorschriften (siehe Kap. 3.1) darauf hingewiesen wird, dass spezifische verkehrliche Situationen Änderungen in der Bedeutungskategorie herbeiführen können, ist diese Einschätzung in der Praxis ohne automatisierte Systeme schwierig.

Der Unterschied zwischen der praktischen manuellen Anwendung funktionaler Bewertungen und der nachfrageorientierten Herangehensweise soll mittels Abbildung 7 anhand zweier Beispiele verdeutlicht werden.

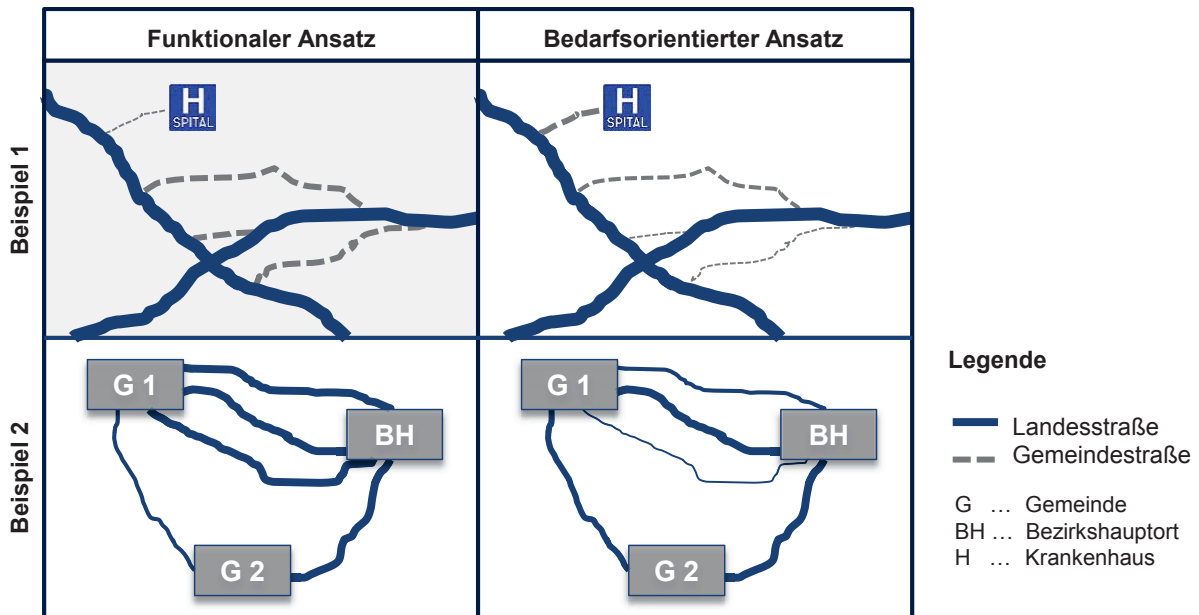


Abbildung 7: Unterschied zwischen funktionaler und nachfrageorientierter Bewertung

Beispiel 1 zeigt, dass in funktionalen Systemen Verbindungsstraßen (hier zwischen zwei höherrangigen Straßen) stets eine größere Bedeutung besitzen als Erschließungsstraßen. In vorliegender Dissertation soll Erschließungsstraßen, die für die Allgemeinheit relevante Einrichtungen, wie z.B. Schulen, Betriebe oder Krankenhäuser zugänglich machen eine höhere Bedeutung zukommen können als Verbindungsstraßen. Auch soll das System es ermöglichen zwischen Straßen näher zu unterscheiden (anhand der unterschiedlichen Strichstärke ersichtlich) die aus rein funktionaler Sicht die gleiche Aufgabe (z.B. Verbindung zweier Landesstraßen) erfüllen. Zu berücksichtigen ist nicht nur die in Kap. 3.1 erwähnte verkehrliche Rolle, sondern auch die Rolle für die Gesellschaft. Ein Feuerwehrrüsthaus verursacht i.d.R. geringen Verkehr, die qualitativ hochwertige Erreichbarkeit hat aber einen wichtigen, auch symbolischen, Stellenwert.

Beispiel 2 (Abbildung 7) stellt eine Situation mit mehreren Verbindungsstraßen zwischen Gemeinden sowie einer Bezirkshauptstadt dar. Unter Anwendung funktionaler Konzepte wäre die Bedeutung von Verbindungsstraßen zwischen Gemeinden und der Bezirkshauptstadt als höher einzustufen als Verbindungsstraßen zwischen zwei Gemeinden. Die Priorität innerhalb einer Bedeutungsklasse ist hierbei ident (gleiche Strichstärken). In dem in dieser Arbeit zu entwickelnden Konzept sollen einerseits Bedeutungsunterschiede von parallellaufenden Verbindungsstraßen objektiv sichtbar gemacht werden können und andererseits soll nicht davon ausgegangen werden, dass Straßen zwischen zwei Gemeinden automatisch eine geringere Bedeutung haben, als Straßen zwischen Gemeinden und Bezirkshauptstädten. Gerade wenn, wie in Beispiel 2 der Abbildung 7 ersichtlich, nur eine einzige Verbindungsstraße zwischen zwei Gemeinden besteht, kann dies eine höhere Bedeutung nach sich ziehen. Diese Anforderungen sollen innerhalb der Methodik automatisiert erfüllt werden.

3.4 Struktur von Verkehrsmodellen

Ein Modell ist nach Ortúzar & Willumsen (2011) eine vereinfachte Darstellung eines Teiles der realen Welt aus einer bestimmten Perspektive und kann sowohl physisch (z.B. Modell eines Bauwerkes aus Holz) als auch abstrakt (z.B. Gedankenmodell) sein. Nach Hensher & Button (2002) sind Modelle zusätzlich ein wichtiger Baustein der meisten Entscheidungsprozesse. Aufgabe von Verkehrsmodellen ist nach Lohse (2011) die qualitative und quantitative Beschreibung des Verkehrs.

Für Entscheidungen im Verkehrswesen, häufig auch für Prognosen, werden Verkehrsmodelle, deren Grundstein in den 1950er-Jahren in den USA gelegt wurde, generiert (Hensher & Button, 2002). In dieser Zeit wurden die ersten wegebasierten Verkehrsmodelle zur langfristigen Beurteilung der Verkehrsnachfrage entwickelt. In diesen ersten Verkehrsmodellen wird Verkehr als Ergebnis von vier aufeinanderfolgenden Schritten (Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl) in aggregierter, makroskopischer Art und Weise ermittelt. Verkehrsteilnehmer werden in diesen Modellen als Kollektiv und nicht als einzelne Individuen betrachtet. Von den 70er-Jahren bis in die 90er-Jahre nahm der Fokus auf einzelne Verkehrsteilnehmer in den Modellen zu (Cools et al., 2010). In den Kap. 3.4.1 bis 3.4.2 wird auf die unterschiedlichen Generationen an Verkehrsmodellen näher eingegangen.

Angebot und Nachfrage haben ihren Ursprung in der Wirtschaftstheorie und sind wesentliche Begriffe innerhalb der Verkehrsmodellierung (Hensher & Button, 2002). Während die Verkehrsinfrastruktur als wesentliches Element des Verkehrsangebotes bezeichnet werden kann, entsteht Verkehrsnachfrage durch die Befriedigung des Bedarfs an z.B. Arbeit, Freizeit, Gesundheit durch dementsprechende Aktivitäten an verschiedenen Orten (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Verkehr entsteht durch die Erfüllung von Bedürfnissen an verschiedenen Orten. Das Leben eines Menschen kann auch als Aneinanderreihung verschiedenster Aktivitäten an verschiedenen Orten beschrieben werden. Um diese Aktivitäten ausüben zu können, müssen „trips“ (Wege oder Fahrten) durchgeführt werden (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Durch die Berücksichtigung des Verkehrsangebotes sowie der Verkehrsnachfrage, kann das Entscheidungsverhalten der Verkehrsnutzer modelliert werden. Es kann dabei grundsätzlich zwischen mikro- und makroskopischen Verkehrsmodellen unterschieden werden. Während in makroskopischen Modellen die durchschnittliche Quelle-Zielwahl und die durchschnittliche Verkehrsmittelwahl aller Ortsveränderungsobjekte oder einzelner Gruppen berechnet werden, beziehen sich Quelle-Zielwahl und Verkehrsmittelwahl bei mikroskopischen Verkehrsmodellen auf einzelne Ortsveränderungsobjekte (Individuen) (Schnabel & Lohse, 2011).

Die einzelnen Schritte der Verkehrsmodellierung wurden nach Ortúzar & Willumsen (2011) in den 1960er Jahren entwickelt und haben sich in den Grundzügen nicht wesentlich geändert. Die Modellierung startet jeweils mit einer Einteilung des Verkehrsnetzes in Verkehrsbezirke (Ortúzar & Willumsen, 2011). Die Verkehrsbezirke können, wie beispielsweise im Verkehrsmodell GUARD (Fellendorf et al., 2011), politischen Bezirken oder Gemeinden entsprechen. Einen weiteren Schritt stellt die Sammlung von Daten zu zukünftigen Planungen und Daten als Grundlage für die Kalibrierung und Validierung des Modells dar. Auf diese Datengrundlage basierend können vier „Teilmodelle“ generiert werden (Ortúzar & Willumsen, 2011). Diese vier Teilmodelle werden häufig zusammengefasst als „4-Stufen-Algorithmus“, mit den Schritten Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl und Verkehrsumlegung bezeichnet und beispielsweise bereits durch Sheffi (1985) in dieser Art in Verkehrsmodellen angewandt. Nachstehend werden unterschiedliche Verfahren als Grundlage für Verkehrsnachfragemodelle erläutert.

3.4.1 Standard-4-Stufen-Algorithmus

Im Standard-4-Stufen-Algorithmus laufen die Schritte Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl und Verkehrsumlegung sequentiell ab. Diese Art der Modellierung ist gängige Praxis (Ortúzar & Willumsen, 2011). Nachstehend werden die einzelnen Schritte kurz erläutert. Die Grundprinzipien des 4-Stufen Algorithmus gelten auch für nachfolgend beschriebene aktivitätenbasierte Modelle.

Verkehrserzeugung

Nach Schnabel & Lohse (2011) sowie Ortúzar & Willumsen (2011) ermöglichen Verkehrserzeugungsmodelle die Vorhersage der Anzahl an Gesamtwegen V , sowie die Anzahl an Wegen Q_i , und Z_i erzeugt von und angezogen durch die einzelnen Verkehrsbezirke des Untersuchungsgebietes. Dabei ist das Verkehrsaufkommen von der jeweiligen Flächennutzung sowie der Lage des Verkehrsbezirkes abhängig (Schnabel & Lohse, 2011):

$$V = f(S, L) \quad Q_i = f(SQ_i, LQ_i) \quad Z_j = f(SZ_j, LZ_j) \quad (8)$$

Mit:	V	Gesamtverkehrsaufkommen des Gebiets
	Q_i	Quellverkehrsaufkommen des Verkehrsbezirks i
	Z_j	Zielverkehrsaufkommen des Verkehrsbezirks j
	S	maßgebende Strukturgröße
	SQ_i	maßgebende Strukturgröße des Quellverkehrsbezirks i
	SZ_j	maßgebende Strukturgröße des Zielverkehrsbezirks j
	L	Lagekriterium
	LQ_i	Lagekriterium des Quellverkehrsbezirks i
	LZ_j	Lagekriterium des Zielverkehrsbezirks j

Verkehrserzeugungsmodelle können nach Wermuth (2005) als Raumaggregatmodell oder Individualverhaltensmodell aufgebaut sein. In Raumaggregatmodellen wird der Quellverkehr jeder Verkehrszelle mittels Regressionsanalysen in Abhängigkeit der Siedlungsstrukturgrößen (z.B. Zahl der Einwohner, Beschäftigten) ermittelt.

Bei Individualverhaltensmodellen ergibt sich der Verkehr über Aktivitätenketten einzelner Personen oder Personengruppen. Strukturgrößen ergeben sich in diesem Fall aus der Definition von Quelle-Ziel-Gruppen und können beispielsweise in Berufstätige, Kleinkinder, Einwohner, Schüler und Studenten unterteilt werden. Zur Bestimmung der Verkehrspotentiale werden für diese verhaltenshomogene Personengruppen spezifische Verkehrsaufkommen und die mittlere Anzahl von Ortsveränderungen einer Person nach Zeit, berücksichtigt (Schnabel & Lohse, 2011; Wermuth, 2005).

Verkehrsverteilung

Der zweite Schritt des 4-Stufen-Algorithmus beschreibt die Verteilung der Zuordnung eines Quellverkehrsaufkommen Q_i des Verkehrsbezirks i auf die vorhandenen Zielverkehrsbezirke j und umgekehrt. Nach der Berechnung der einzelnen Verkehrsströme liegt eine vollständige Verkehrsstrommatrix (Tabelle 10, Beziehung zwischen allen Quell- und Zielbezirken), auch Quelle-Ziel-Matrix genannt, mit zugeordneter Anzahl an Fahrten vor (Ortúzar & Willumsen, 2011; Schnabel & Lohse, 2011).

Tabelle 10: Zweidimensionale Fahrtenmatrix nach Ortúzar & Willumsen (2011)

		Zielbezirke					$Q_i = \sum_j v_{ij}$
		1	2	3	... j	... n	
Quellbezirke	1	v_{11}	v_{12}	v_{13}	... v_{1j}	... v_{1n}	Q_1
	2	v_{21}	v_{22}	v_{23}	... v_{2j}	... v_{2n}	Q_2
	3	v_{31}	v_{32}	v_{33}	... v_{3j}	... v_{3n}	Q_3
	...						
	i	v_{i1}	v_{i2}	v_{i3}	... v_{ij}	... v_{in}	Q_i
	...						
m	v_{m1}	v_{m2}	v_{m3}	... v_{mj}	... v_{mn}	Q_m	
	$Z_j = \sum_i v_{ij}$	Z_1	Z_2	Z_3	... Z_j	... Z_n	$\sum_{ij} v_{ij} = V$

Sind Gesamtsummen der Verkehrspotentiale je Verkehrsbezirk aus Erhebungen bekannt oder werden durch die Berechnung der Verkehrserzeugung über Strukturgrößen und spezifische Verkehrsaufkommen abgeschätzt, spricht man von harten Randsummenbedingungen. Die Randsummen Q_i und Z_j der Verkehrsstrommatrix stehen für die Summe aller Fahrten eines Quell- oder Zielbezirkes. Im Falle von harten Randsummen kann der Schritt der Verkehrsverteilung mathematisch durch die Lösung folgendes Gleichungssystems mit m Zeilensummengleichungen und n Spaltensummengleichungen erfolgen, wobei alle Verkehrsströme v_{ij} die unbekanntenen Elemente darstellen (Schnabel & Lohse, 2011):

$$Q_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad Z_j = \sum_{i=1}^m v_{ij} \quad (9)$$

Mit: Q_i Quellverkehrsaufkommen des Bezirkes i
 Z_j Zielverkehrsaufkommen des Bezirkes j
 m Anzahl der Zielverkehrsbezirke
 n Anzahl der Quellverkehrsbezirke
 v_{ij} Verkehrsströme (Wege) von Bezirk i nach Bezirk j

Da die Anzahl an unbekanntenen v_{ij} größer als die Anzahl an Gleichungen ist, müssen über eine Bewertung der generalisierten Kosten (z.B. Reisezeit und Entfernung) der Verkehrsbeziehungen i - j zusätzliche Bedingungen aufgestellt werden. Die Abhängigkeiten des Verkehrsstromes können demnach als Funktion des Quell- und Zielverkehrsaufkommens sowie der zusätzlichen Bewertung der generalisierten Kosten dargestellt werden (Schnabel & Lohse, 2011):

$$v_{ij} = f(Q_i, Z_j, u_{ij}) \quad (10)$$

Mit: u_{ij} Widerstand zwischen Bezirk i und Bezirk j (Distanz, Reisezeit, generalisierte Kosten)

Nach Fellendorf et al. (1997) lässt sich die Anzahl an Fahrten aus Quellaufkommen und die Wahrscheinlichkeit der Wahl eines Zieles ermitteln:

$$F_{ij} = Q_i * P_{ij} \quad (11)$$

Wobei die Auswahlwahrscheinlichkeit eines Zieles nach Fellendorf et al. (1997) folgendermaßen zu ermitteln ist:

$$P_{ij} = \frac{Z_j * f(u_{ij})}{\sum_{k=1}^B (Z_k * f(u_{ik}))} \quad (12)$$

Mit:	F_{ij}	Anzahl der Wege von Bezirk i nach j
	P_{ij}	Auswahlwahrscheinlichkeit des Ziels j für den Quellbezirk i
	Q_i	Quellaufkommen in Bezirk i
	Z_j	Zielpotential in Bezirk j
	$f(u_{ij})$	Nutzenfunktion
	k	Index der Bezirke (von 1 bis B)

Für die Nutzenfunktion gilt nach Fellendorf et al. (1997):

$$f(u_{ij}) = e^{\alpha * u_{ij}} * u_{ij}^{\beta} \quad (13)$$

Mit:	u_{ij}	Widerstand zwischen Bezirk i und Bezirk j (Distanz, Reisezeit, generalisierte Kosten)
	α, β	Parameter

Verkehrsmittelwahl

Im dritten Schritt des 4-Stufen-Algorithmus werden die ermittelten Fahrten auf die verfügbaren Verkehrsmittel aufgeteilt, wobei die Verkehrsmittelwahl von Faktoren der Verkehrsmittel (z.B. Reisezeit, Komfort), Faktoren des Verkehrsteilnehmers (z.B. Einkommen, Alter) sowie Faktoren der Ortsveränderung (Zweck, Personengruppe, Lagegunst) abhängig ist (Schnabel & Lohse, 2011).

Nach Fellendorf et al. (1997) stehen Verkehrsteilnehmer vor einem Entscheidungsproblem, in dem die Auswahlwahrscheinlichkeit eines Verkehrsmittels durch ein LOGIT-Modell wie folgt formuliert wird:

$$P_{ij}(m) = \frac{e^{N_{ij}(m)}}{\sum_{l=1}^M e^{N_{ij}(l)}} \quad (14)$$

Mit:	m	Index für ein Verkehrsmittel (M=Gesamtanzahl der Verkehrsmittel)
	$P_{ij}(m)$	Wahrscheinlichkeit ein Verkehrsmittel m für den Weg von i nach j auszuwählen
	$N_{ij}(m)$	Nutzen, wenn Verkehrsmittel m gewählt wird um von i nach j zu gelangen
	l	Index der Verkehrsmittel mit M als Gesamtanzahl der Verkehrsmittel

Verkehrsumlegung/ Routenwahl

Aus einem Alternativenset an jeweils vorhandenen Routen zwischen zwei Orten, werden im letzten Schritt des 4-Stufen-Algorithmus die Routenwahl der Individuen (Verkehrsteilnehmer) zwischen zwei Orten abgebildet (Cascetta, 2009). Dadurch können die Verkehrsströme aus der Verkehrsverteilung und Verkehrsmittelwahl den einzelnen Wegen im Verkehrsnetz zugeordnet und in weiterer Folge Verkehrsstärken für die einzelnen Strecken ermittelt werden. Die Wahrscheinlichkeit der Auswahl eines Weges durch die Verkehrsteilnehmer ist vom jeweiligen Streckenwiderstand abhängig. Häufig wird auf die Reisezeit als bestimmender Streckenwiderstand zurückgegriffen. Neben der Möglichkeit konstante Streckenwiderstände zu berücksichtigen, können auch variable Streckenwiderstände zur Anwendung kommen; d.h. die Ermittlung der Widerstände erfolgt auf Basis der ermittelten Verkehrsstärken, zu Beginn der Berechnung muss eine fiktive Verkehrsstärke angenommen werden. Über sogenannte Kapazitätsbeschränkungsfunktionen wird eine aktuelle Reisezeit auf Basis der ursprünglichen Reisezeit sowie der Verkehrsstärke und der Kapazität entsprechend nachfolgender Formel bestimmt (Schnabel & Lohse, 2011):

$$t_m = t_0 * (1 + a * \left(\frac{m}{c}\right)^b) \quad (15)$$

Mit:	t_m	Reisezeit unter der Verkehrsstärke m (belastetes Netz)
	t_0	Reisezeit unter der Verkehrsstärke 0 (unbelastetes Netz)
	m	Verkehrsstärke
	c	Kapazität
	a, b	Parameter

Zur Berechnung der Verkehrsumlegung für gesamte Netze werden in der Regel Mehr-Weg-Verfahren angewandt; d.h. es wird nicht angenommen, dass alle Individuen letztendlich den „besten“ (z.B. zeitkürzesten) Weg wählen.

3.4.2 Aktivitäten-/Agentenbasierte Verfahren

In den letzten Jahren wurden Forschungsarbeiten im Bereich der aktivitätenbasierten Verkehrsnachfragemodelle (Feil, 2010) verstärkt. Im Vergleich zu obenstehend beschriebenen klassischen 4-Stufenalgorithmus rückten Nutzenmaximierung und Entscheidungsverhalten einzelner Individuen zunehmend in den Vordergrund. Auf diese Weise gewannen so genannte aktivitätenbasierte Verkehrsmodelle an Bedeutung. Verkehrsverhalten ist darin eine Ableitung von Aktivitäten durch Individuen (Cools et al., 2010).

Für eine detailliertere Verkehrserzeugung können nach Fellendorf et al. (1997) folgende verhaltenshomogene Gruppen untergliedert werden:

- Erwerbstätiger mit Auto
- Erwerbstätiger ohne Auto
- Nichterwerbstätiger mit Auto
- Nichterwerbstätiger ohne Auto
- Auszubildende

- Studierende
- Schulkinder

Den einzelnen verhaltenshomogenen Gruppen werden Aktivitäten, wie z.B. Arbeiten, und in weiterer Folge Aktivitätenketten, wie z.B. Freizeit-Arbeiten-Einkaufen-Freizeit, unter Berücksichtigung entsprechender Wahlwahrscheinlichkeiten zugeordnet. Verkehrsverteilung und Verkehrsmittelwahl aus Kap. 3.4.1 können getrennt für verhaltenshomogene Gruppen ermittelt werden (Fellendorf et al., 1997).

Als neueste Generation können selbstlernende agentenbasierte Verfahren, wie z.B. MATSim, als mikroskopisches Modellierungsverfahren (Gao et al., 2010) angesehen werden. Während im Standard-4-Schritte-Algorithmus die Vielfalt einzelner Individuen ignoriert wird, werden in agentenbasierten Verfahren disaggregierte Verkehrsentscheidungen einzelner Individuen berücksichtigt, wodurch disaggregierte Ergebnisse erzielt werden können (Zhang & Levinson, 2004).

Disaggregierte Verkehrsmodelle behandeln jeden Reisenden individuell und basieren nach Feil (2010) im Wesentlichen auf der

- Erzeugung einer synthetischen Bevölkerung aus individuellen Agenten
- Erzeugung von Aktivitäten-Reiseplänen für jedes Individuum der synthetischen Bevölkerung.

Wie im „MATSim book“ erläutert, kann die synthetische Bevölkerung direkt von einer aktuellen und vollständigen Volkszählung übersetzt und übernommen werden oder mit Informationen aus Verkehrsuntersuchungen eigens erstellt werden. In einem belgischen Beispiel wurden dazu soziodemographische Daten, Wegetagebücher mit detaillierter Beschreibung der Start- und Endzeiten herangezogen. Danach werden Aktivitätenarten, -zeiten und -orte generiert und mit den einzelnen Agenten der synthetischen Bevölkerung verbunden (Horni et al., 2016).

Die disaggregierte Herangehensweise gilt als größter Vorteil moderner Verfahren, trotzdem dominieren konventionelle Systeme weiterhin die Praxis (Cools et al., 2010). Ein Vergleich Trip-basierter, aggregierter Verfahren mit Tour-basierten, disaggregierten Verfahren hat gezeigt, dass moderne, Tour-basierte Modelle Vorteile im Bereich Fahrzeugbesitz, Verkehrsflussverteilung und in durchschnittlichen Reisezeiten mit sich bringen (Ferdous et al., 2012). Auch nach Gao et al. (2010) könnten agentenbasierte Verfahren aggregierte Modelle in Zukunft ablösen. Wobei ein Vergleich aggregierter Systeme mit disaggregierten Systemen nach Gao et al. (2010) gezeigt hat, dass Abweichungen in der Verkehrsbelastung zwischen den beiden Systemen geringer sind, als die Abweichungen zu realen Verkehrszählungen. Ein wesentlicher Vorteil von MATSim konnte in der realistischen Berücksichtigung von Staus nachgewiesen werden (Gao et al., 2010). Nach Zhang & Levinson (2004) ist es schwierig und unnötig Grenzen zwischen aktivitätenbasierten und agentenbasierten Modellen zu ziehen.

Die Zuordnung zum Verkehrsnetz erfolgt nach Balmer et al. (2007) für die verschiedenen Infrastrukturen in denen Aktivitäten ausgeübt werden im agentenbasierten MATSim-T auf Basis von Koordinaten. Einzelne Gebäude werden demnach einzelnen Kanten des Netzes zugeordnet.

3.4.3 Kombination mit Raumplanung

Wie in Kap. 1.3 erläutert ist es zweckmäßig Aspekte der Raumplanung in Entscheidungen der Infrastrukturentwicklung einfließen zu lassen.

Nach Schiller (2007) besteht bereits eine hohe Anzahl an Systemen, die Standortwahlentscheidungen, Raumstrukturentwicklungen und das sich daraus entwickelnde Verkehrsgeschehen abbilden.

Durch Fellendorf et al. (1997) wurde beispielsweise ein Flächennutzungsmodell unter Berücksichtigung von Flächennutzungsplänen und Flächen mit Entwicklungspotentialen (Wohnen und Gewerbe) in der Verkehrsmodellierung miteingebunden.

Als Modelle mit Einbeziehung von Flächennutzungsdaten können auch die Modelle nach McNally (1997) und Wang et al. (2011) angeführt werden.

Die praktische Anwendung dieser integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsmodelle war begrenzt, da sie nach Schiller (2007) die lokale Flächennutzungsentwicklung, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Flächennutzungsentwicklung und Verkehrsgeschehen auf Basis der „*real wirkenden gesellschaftspolitischen und wirtschaftlichen Macht- und Entscheidungsstrukturen*“ nicht in ausreichendem Maß darstellen konnten. Neben fehlender volkswirtschaftlicher Sichtweise und der vordergründigen „*partiellen Maximierung von Interessen*“ ist auch die nicht ausreichende Datengrundlage ein Grund für die Nichtnutzung der ursprünglichen integrierten Flächennutzungs- und Verkehrsmodelle. Die Komplexität der Ansprüche und Wirkungen sowie die Vielschichtigkeit der Ziele aus den interdisziplinären Prozessen sei nach Schiller (2007) mittels mathematischen Flächennutzungs- und Verkehrssystemen nicht ausreichend valide modellierbar.

Aus diesem Grund wurde durch Schiller (2007) ein Optimierungsmodul der Flächennutzung aus verkehrlicher Sicht erarbeitet, wobei der Optimierungsraum durch die Raum- und Stadtplanung vorgegeben wird. Beispielsweise sollen Ausweisungen von Siedlungsflächen, Festlegungen von Mindestdichten, Nachverdichtungen abhängig vom Verkehrsangebot vorgeschlagen werden. Der Ansatz dient Verkehrsplanern dazu ihre Ziele in der Raumplanung unter Wahrung verschiedenster Interessen besser verankern zu können. Dabei sollen nicht alle Bereiche einer integrierten Raum-, Stadt- und Verkehrsplanung mathematisch modelliert werden, sondern lediglich die Wechselwirkungen zwischen Flächennutzung, Lagegunst und Verkehr (Schiller, 2007).

Für die Umsetzung wurde auf Verkehrsangebots- und Verkehrsnachfragemodelle zurückgegriffen, wobei neue Randsummenbedingungen aufgestellt wurden. Aufbauend darauf findet eine Rückkopplung zur Verteilung der Strukturgrößen (z.B. Arbeitsplätze) statt. Dazu wird folgende Zielfunktion für die minimale Verkehrsarbeit optimiert (Schiller, 2007):

$$A_U = \sum_i \sum_j \sum_k A_{ijk} * \left(\sum_g (v_{gijk}(SG_j)) \right) \rightarrow Min! \quad (16)$$

Mit:	A	Aufwand
	SG	Strukturgröße
	U	Untersuchungsgebiet
	g	Laufindex Quelle-Ziel-Gruppe
	i	Laufindex Quellverkehrsbezirke
	j	Laufindex Zielverkehrsbezirke
	k	Laufindex Verkehrsmittel

Die minimalen und maximalen Werte für die Strukturgrößen werden anhand folgender Nebenbedingungen berücksichtigt (2007):

$$SG_j^{min} \leq SG_j \leq SG_j^{max}$$

$$\sum_j SG_j = SG_U \quad (17)$$

Mit: SG Strukturgröße
U Untersuchungsgebiet

Durch Schiller (2007) werden heuristische Prinzipien für den Optimierungsalgorithmus verwendet, da mathematisch beweisbare Methoden in der nichtlinearen Optimierung kaum formuliert werden können. Die Freiheitsgrade werden durch Raum- und Stadtplanung definiert, wodurch eine städtebauliche Verträglichkeit erreicht wird. Mithilfe des Modells nach Schiller (2007) werden Strukturgrößenverteilungen, z.B. Verteilung der Arbeitsplätze, aus verkehrsplanerischer Sicht optimiert.

3.4.4 Möglichkeiten durch und erforderliche Anpassung der Verkehrsmodelle

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass Verkehrsmodelle im herkömmlichen Sinn jedenfalls zur Ermittlung der Verkehrsbelastung und somit zur Bewertung der verkehrlichen Bedeutung von Straßen für höherrangige Netze verwendbar sind. Durch den Wandel von kollektiven zu individuellen Betrachtungen kann der Detaillierungsgrad in für Individuen spezifische Ergebnisse gesteigert werden.

Zur Ermittlung und Prognose des Verkehrsaufkommens werden Verkehrsmodelle in der Praxis vorwiegend von großen Gemeinden und Verkehrsministerien für die strategische Ausbauplanung in höherrangigen Verkehrsnetzen eingesetzt. Dazu werden Simulationsszenarien auf Basis von Verkehrsnachfrage- und Umlegungsmodellen herangezogen. Durch Vrtic et al. (2005) wurde beispielsweise ein nationales Personenverkehrsmodell für den öffentlichen und privaten Verkehr für die Schweiz entwickelt. Ebenfalls existiert ein derartiges Verkehrsmodell mit aktivitätenorientierter Verkehrsnachfrage 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 & 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 in der Ableitung von Maßnahmen im kommunalen Straßenbau einsetzbar, wie anhand der vorliegenden Arbeit gezeigt wird.

Ziel vorliegender Arbeit ist es, eine Methodik zu entwickeln, die eine Bewertung der Verkehrsbedeutung für den kommunalen Bereich zulässt. Um trotz dichter Straßennetze Projektgebiete in zumindest der Größe von Gemeinden analysieren zu können, gilt es durch Vereinfachungen annehmbare Rechenzeiten zu gewährleisten. Es gilt auch zu beachten, dass der

durchzogene Raum selbst und auch kleinräumige Veränderungen auf niederrangige Straßen im Vergleich zu höherrangigen Straßen einen größeren Einfluss haben.

3.5 Methoden der Verkehrsnetzanalyse

Dieses Kapitel widmet sich verschiedenen Verfahren zur Analyse von Verkehrsnetzen. Das Spektrum reicht von der Verletzlichkeitsanalyse im Falle von Störfällen, über Algorithmen zur Definition eines Allwetterstraßennetzes in Entwicklungsländern bis hin zur Überprüfung der Angebotsqualität der Straßen, um Neu-, Aus- oder Umbaumaßnahmen bewerten zu können.

Analyse der Verletzlichkeit des Netzes

Aufgrund einiger Zwischenfälle in höherrangigen Verkehrsnetzen mit teils gravierenden Auswirkungen für Verkehrsteilnehmer und der gesamten Volkswirtschaft, hat es in den letzten Jahren Forschungsaktivitäten im Bereich der Verletzlichkeitsanalyse von Verkehrsnetzen gegeben. Im Wesentlichen geht es darum, Streckenabschnitte eines Gesamtnetzes entsprechend ihrer Auswirkungen im Falle von Störfällen zu bewerten. Aus den Ergebnissen soll die Priorisierung von Sicherungsmaßnahmen ableitbar sein.

Nach Erath (2011) reichen bestehende Ansätze von szenarienbasierten bis hin zu simulationsbasierten Verfahren. Angebot und Nachfrage werden darin jedoch nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt. Der Nachteil szenarienbasierter Verfahren liegt in der Abhängigkeit von Expertenbeurteilungen von Wahrscheinlichkeiten und Auswirkungen von Zwischenfällen. Des Weiteren gibt es Effizienzsteigerungspotential in der Vereinfachung der Modellierung, der Berechnung der Auswirkungen und der Automatisierung der Berechnung (Erath, 2011). Simulationsbasierte Ansätze sind daten- und zeitintensiv, was die zusätzliche Anwendung statistischer Verfahren erfordert.

Im Falle von Naturkatastrophen können mehrere Straßensegmente gleichermaßen betroffen sein. Es ist daher nicht ausreichend die Auswirkungen einzelner Ausfälle aufzusummieren. Nach Erath (2011) stellt in der Berücksichtigung von Wechselwirkungen die große Zahl an möglichen Kombinationen die größte Herausforderung dar. Neben dem Einsatz leistungsstarker Hardware wurden daher folgende wesentliche Maßnahmen getroffen, um die Laufzeit zu reduzieren:

- Das Gesamtnetz wurde in Teilnetze unterteilt.
- Segmente mit geringer Verkehrsbelastung wurden in der Verletzlichkeitsanalyse nicht berücksichtigt, da kein großes Potential für netzweite Störfälle besteht.
- An Knoten die nur 2 Segmente verbinden, wurden die Auswirkungen nur für eines der beiden Segmente ermittelt, da die Ergebnisse ident sind.
- Die Anzahl an gleichzeitig eintretenden Fehlern wurde mit zwei beschränkt. Es wird davon ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit einer größeren Anzahl an betroffenen Segmenten gering ist.
- Ausschluss aller Kombinationen ohne Wechselwirkungen.

Im Rahmen einer Fallstudie wurde die Methodik für 551 Links, letztendlich 46.612 Szenarien, angewandt (Erath, 2011).

Durch Erath (2011) konnten unter anderem folgende bis dahin existierende Schwachpunkte in bestehenden Modellen behoben werden. Dabei wurde auf verkehrsnachfragemodellbasierte Simulationen zurückgegriffen:

- Fehlende Berücksichtigung der Effekte durch mögliche Änderung der Verkehrsmittelwahl sowie Zielwahl
- Fehlende Berücksichtigung gleichzeitiger Ausfälle von Netzen

Aufgrund der langen Rechenzeiten wurden durch Erath (2011) vorgeschaltete Clusterungen des Netzes vorgenommen und die Analysen an Teilnetzen durchgeführt. Die Teilnetze wurden dabei auf die wesentlichen Streckensegmente reduziert. Um die Rechenzeit der Verkehrsumlegungen einsparen zu können, wurden auch Lösungsvorschläge über statistische Modelle mit Verkehrsbelastung oder Länge möglicher Umwege als unabhängige Variable und der indirekten Kosten als abhängige Variable erarbeitet.

Zwischen der, auf Verkehrsmodellen basierenden Methode zur Analyse der Verletzlichkeit von Netzen können Parallelen zur vorliegenden Arbeit gezogen werden. In beiden Fällen geht es darum Entscheidungen für einzelne Straßensegmente zu treffen, die letztendlich vom Verkehrsnetz abhängig sind. Während es in der Verletzlichkeitsanalyse möglich ist, wenig belastete Straßensegmente in den Analysen für annehmbare Rechenzeiten außer Acht zu lassen, ist das Ziel der vorliegenden Arbeit gerade im untergeordneten Netz mit geringem Bedarf eine Differenzierung entsprechend der Nachfrage vorzunehmen und die Auswirkungen von Maßnahmen dementsprechend zu berücksichtigen.

In vorliegender Methodik werden an allen schadhafte Stellen jedenfalls Maßnahmen durchgeführt. Da „Liegenlassen“ ebenfalls als Maßnahme betrachtet wird, fallen nicht zwingend Maßnahmenkosten an. In der langfristigen Betrachtung sind jedenfalls alle Kombinationen von möglichen Maßnahmen in der Analyse und Definition strategischer Maßnahmen zu berücksichtigen.

Bewertungen im Zuge der Verletzlichkeitsanalyse sind von Eintrittswahrscheinlichkeiten von z.B. Naturereignissen abhängig, während in vorliegender Arbeit die Auswirkungen planbarer Maßnahmen bewertet werden.

Durch die grundlegende Erarbeitung von vereinfachten Verkehrsmodellen besteht in der vorliegenden Methodik der Vorteil, dass alle real bestehenden Alternativrouten Teil des Netzes sind, aus diesem Grund kann im Gegensatz zur Verletzlichkeitsanalyse die Gesamtheit der Aufwendungen durch Umwege über die Verkehrsmodelle erfasst werden.

Heuristische Verfahren zur Netzoptimierung

Netzwerkoptimierungsmethoden (Kumar & Kumar, 1999) mit dem Ziel Gesamttransportkosten zu minimieren, können zur Identifikation von Kernnetzen verwendet werden. Das von Kumar & Kumar (1999) für Indien entwickelte Modell dient als Grundlage zur Entwicklung eines „Allwetterstraßennetzes“, wobei die Lage von Dörfern sowie Markt- und Ausbildungszentren berücksichtigt werden. Auf Basis heuristischer Ansätze kann der Bedarf an Straßenerneuerungen, Ausbauten und Ergänzungen im bestehenden Netz analysiert werden.

Heuristische Verfahren zur Netzwerkoptimierung unter Berücksichtigung der minimalen Nutzerkosten können zur Identifikation eines Kernnetzes und in weiterer Folge als Grundlage für Entscheidungen verwendet werden. In Entwicklungsländern, wo es darum geht ein Netz befestigter Straßen zu erstellen, ist es zweckmäßig ein Netz „kurzer Wege“ unter Berücksichtigung der grundlegenden Erreichbarkeit sicherzustellen. In Industrienationen wie Österreich gibt es bereits ein dichtes, gut ausgebautes Straßennetz (siehe auch Kap. 1) und gleichzeitig demographische Veränderungen, die die ordnungsgemäße Erhaltung des Straßennetzes erschweren. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es über bedarfsgerechte Erhaltungsmaßnahmen das bestehende Straßennetz im Sinne der Allgemeinheit zu erhalten. Demnach kann es an Straßen mit geringer Verkehrsnachfrage auch zu Einschränkungen (Geschwindigkeitsreduktionen bis hin zu Sperren oder Rückbauten) kommen. In mittels Netzwerkoptimierungsmethoden (Kumar & Kumar, 1999) optimierten Netzen werden Erschließungsstraßen hinsichtlich der Priorität prinzipiell über Verbindungsstraßen gestellt, da Erschließungsstraßen für die Erreichbarkeit unerlässlich sind. In der Straßenerhaltung wird die Zweckmäßigkeit der grundlegenden Existenz einzelner Straßensegmente nur am Rande betrachtet. Vorrangig ist die vorausschauende Finanzmittelverteilung im Sinne der Allgemeinheit (siehe Kap. 1). In der in dieser Arbeit zu entwickelnden Methodik gilt es daher in der Beurteilung einzelner Maßnahmen einen starken Bezug zur Verkehrsnachfrage und zu zukünftigen Entwicklungen herzustellen. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass in entwickelten Industrienationen die bestehende Substanz in gesamtheitlichen Bewertungen zu betrachten ist. Entscheidungen zur Vernachlässigung einzelner Verbindungsstraßen, die beispielsweise aufgrund einer vorangegangenen Erneuerung eine sehr gute Qualität aufweisen, jedoch in einer Optimierung beispielsweise nach Kumar & Kumar (1999) möglicherweise nicht Teil des Kernnetzes sind, wären gesamtwirtschaftlich nicht argumentierbar.

Überprüfung der Anlageverhältnisse von Straßen

Die RVS 03.01.11 dient der Bewertung der Verkehrsabläufe auf bestehenden Straßen und in weiterer Folge der Überprüfung, ob die Anlageverhältnisse der jeweiligen Funktion entsprechen. Einzelnen Beurteilungsabschnitten werden hierfür der jeweiligen Kategorie entsprechende Verbindungsfunktionen zugeordnet. Aus der daraus resultierenden funktionalen Bedeutung des Beurteilungsabschnittes wird eine angestrebte Verkehrsgeschwindigkeit abgeleitet. Zur Überprüfung der Anlageverhältnisse wird die angestrebte Verkehrsgeschwindigkeit mit der berechneten Verkehrsgeschwindigkeit verglichen. Letztere ergibt sich unter anderem aus der Leistungsfähigkeit und der Verkehrsstärke und soll die angestrebte Verkehrsgeschwindigkeit übersteigen. Das Verfahren zur Überprüfung der Anlagenverhältnisse wird in der RVS 03.01.11 für mehrstreifige Richtungsfahrbahnen und zweistreifige Freilandstraßen getrennt beschrieben.

Die Methodik zur Überprüfung der Anlageverhältnisse ist prinzipiell in der Lage durch den Vergleich berechneter und angestrebter Verkehrsgeschwindigkeiten Ausbauerfordernisse für Straßen mit einer Breite von mindestens 5,5m aufzuzeigen. Für eine unmittelbare netzweite Anwendung zur Anpassung der niederrangigen Straßeninfrastruktur an den zukünftigen Bedarf ist die Idee der Überprüfung der Anlageverhältnisse für die Entwicklungen in vorliegender Arbeit aus folgenden Gründen nur bedingt einsetzbar:

- Die Methodik baut auf Verkehrszahlen auf, die für das Gemeindestraßennetz nicht flächendeckend verfügbar sind.

- Die Methodik setzt eine funktionale Gliederung voraus, die es derzeit nur in grober, manuell bewerteter Unterteilung gibt (z.B. 3-Teilung des Landes Steiermark). Zudem können Schließungen zentraler Einrichtung auf Ebene der Gemeindestraßen große Auswirkungen auf die funktionale Bedeutung der Gemeindestraßen haben. Eine laufende manuelle Aktualisierung ist aufgrund der Netzlängen nicht möglich.

Anpassungsstrategien an demographische Veränderungen

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 Finanzierungsstrukturen bis hin zu Rückbau- und Stilllegungsstrategien (Hillenbrand et al., 2010). Auch in städtischen Gebieten führen demografische Entwicklungen zu Handlungserfordernissen für den Wohnungs- und Städtebau. Es kommt hier zu Wohnungsleerständen – ganze Stadtteile sind als gefährdet anzusehen. Als Beitrag zu möglichen Lösungen werden hier beispielsweise die Kooperation und Zusammenarbeit zwischen den Akteuren verschiedener Sphären und vertragliche Vereinbarungen zur Durchführung von Aufwertungs- und Rückbaumaßnahmen angeführt (Friesecke, 2010).

Auch im Bereich der Straßeninfrastruktur gibt es Überlegungen zur Reaktionen auf die Urbanisierung. Für die finnischen niederrangigen Straßen wurde durch Parantainen & Meriläinen (2003) beispielsweise die verstärkte Anwendung von „Just-for-need“-Management für niederrangige Straßen vorgeschlagen. Ziel soll es demnach sein unter Berücksichtigung einer entsprechenden Erreichbarkeit und unter Befriedigung der Verkehrsbedürfnisse eine Verteilung der Finanzmittel entsprechend der Nachfrage zu gewährleisten. Unterschiedliche Qualitätslevels sollen für unterschiedliche Straßen im Sinne der Bürger und Unternehmen beachtet werden (Parantainen & Meriläinen, 2003).

Wie hier dargestellt, gibt es sowohl im Hochbaubereich, als auch im Bereich der Infrastruktur Überlegungen zur Redimensionierung und Anpassung an demographische Veränderungen. Zumeist handelt es sich dabei um Vorschläge im Umgang mit Einzelsituationen. Die Beachtung dieser Vorschläge in der praktischen Verwaltung der Infrastrukturen kann zweifelsfrei einen Beitrag zur Anpassung der Infrastruktur leisten. Als Grundlage für flächendeckende und systematische Entscheidungsfindungen stoßen manuelle Methoden aufgrund der großen Netzlängen und der Vielzahl an möglichen Maßnahmen an ihre Grenzen. Im Zuge der Literaturrecherche konnten jedoch keine (halb-)automatischen Ansätze zur langfristigen Anpassung der bestehenden Straßennetze an demographische Entwicklungen mittels strategischer Straßenerhaltung gefunden werden.

4 Modell der Streckenbedeutung im Netz

Aufgrund der Gesetzeslage ist die Kenntnis über den Zustand und das Verhindern von Gefahren unerlässlich (Kap. 2.1.3). Als weitere Prämisse gilt der Substanzerhalt, woraufhin kleine Sanierungsmaßnahmen (z.B. Risse verfugen) umgehend durchzuführen sind. An Straßen geringerer Bedeutung mit bereits ohnehin vorhandenen Strukturschäden kann es aus technisch-wirtschaftlicher Sicht zweckmäßig sein, die Nutzungsdauer der Straßenanlage durch „abwarten“ (und zusätzlicher Absicherung möglicher Gefahrenstellen) weiter zu verlängern. Ebenfalls können unter Einhaltung der rechtlichen Grundlagen punktuell Kosten gespart werden, indem Asphaltstraßen nicht erneuert sondern durch Asphaltrecycling mit Spritzdecke oder im Falle geringem Gefälle und geringer Verkehrsstärke durch unbefestigte Straßen ersetzt werden. Für derartige Überlegungen ist die Kenntnis der Streckenbedeutungen erforderlich.

Wie in Kap. 3.1 erläutert bestehen Kategorisierungen sowohl für hochrangige als auch für niederrangige Straßennetze. Es handelt sich dabei i. d. R. um funktionale Gliederungen, die händisch definiert werden. In der Praxis wird dabei nicht nur auf die jeweilige Funktion (z.B. Verbindung zweier höherrangiger Straßen, Verbindung zweier Ortszentren, Erschließung einzelner Höfe) eingegangen, sondern auch das bestehende Verkehrsangebot (z.B. Fahrbahnbreite, Lastklasse) berücksichtigt. Abgesehen vom großen Aufwand für Neubewertungen sind funktionale Gliederungen für die Aufgabenstellung dieser Arbeit häufig zu ungenau und aufgrund des funktionalen Ansatzes nur bedingt geeignet. Schließlich können Erschließungsstraßen wichtiger sein als die eine oder andere Verbindungsstraße und Verbindungen zwischen Ortszentren verlieren an Bedeutung, wenn es mehrere Verbindungen gibt. Aus diesem Grund ist die Definition des Begriffes „Bedeutung“ Grundvoraussetzung für die Entwicklung methodischer Ansätze (siehe Kap. 4.1).

Da wirtschaftlich schwierige Zeiten zu punktuellen Einschränkungen führen, ist zur Steigerung der Akzeptanz unpopulärer Entscheidungen eine transparente und objektivierte Beurteilung der Streckenbedeutung von besonderer Relevanz.

Während im Netz der Autobahnen Streckenbedeutungen keine große Variabilität aufweisen und zudem ausreichend genau durch kontinuierliche Verkehrszählungen beschrieben werden können, ist für das Gemeindestraßennetz die Entwicklung einer wirtschaftlich vertretbaren Methodik, die den durchzogenen Raum ausreichend genau berücksichtigt, erforderlich (siehe dazu auch Kap. 2.2.5).

Auch um die langfristige Finanzierbarkeit der kommunalen Straßeninfrastruktur sowie eine Anpassung an demografische Entwicklungen, wie in Kap. 1 dargelegt, zu ermöglichen, ist die Entwicklung einer Methodik zur Verteilung der Finanzmittel entsprechend der aktuellen und zukünftigen Bedeutung einzelner Strecken notwendig. Die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche finden dabei Berücksichtigung. Neben der Definition des Begriffes „Bedeutung“ werden in diesem Kapitel Modellabgrenzungen, Modellgrundlagen sowie die Modellstruktur samt Auswertungsmöglichkeiten behandelt.

4.1 Definitionen der Streckenbedeutung

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 die Wichtigkeit oder 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 (Sturm & Fellendorf, 2015).

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 (Sturm & Fellendorf, 2015).

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. Das Beispiel in Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10 soll die einzelnen Einflussparameter verdeutlichen. Es sei angenommen, dass zwei Gemeinden i und j durch drei Routen r_1 , r_2 und r_3 verbunden sind, wobei r_2 die Zeit- und Wegkürzeste Route darstellt. Da sich auf dieser Route auch die größte Anzahl an Quell- und Zielpotentialen (Kästchen in Abbildung 8) befinden, ist r_2 in diesem Beispiel zweifelsfrei die Route mit der größten Verkehrsbelastung und somit die Route mit der größten Bedeutung.

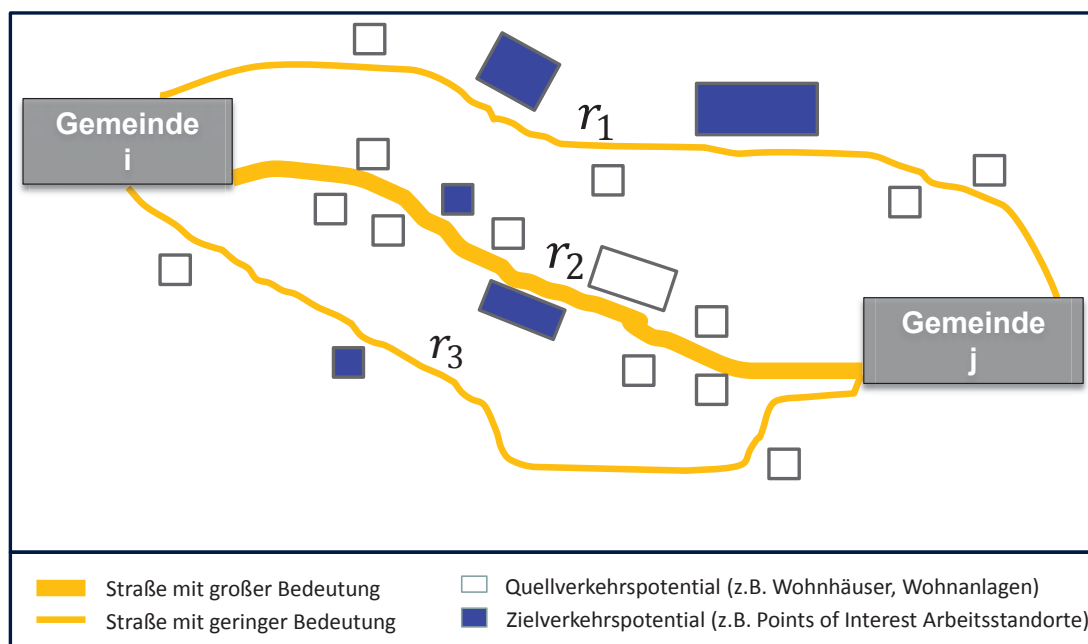


Abbildung 8: Einflussparameter Streckenbedeutung – Quell- und Zielpotentiale

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 aufweisen und somit in entsprechend guter Qualität erschlossen sein sollten. Es sei angenommen, dass die beiden Zielpotentiale an r_1 keine unwesentlichen Ziele sind, sondern für die Bevölkerung von besonderer Bedeutung (siehe Abbildung 9). Unter der Annahme, dass sich an r_1 ein Krankenhaus sowie eine Schule befinden, wird davon ausgegangen, dass r_1 als wichtigste Route in diesem Fallbeispiel angesehen wird. Unter Berücksichtigung derartiger Aspekte bei der Beurteilung der Bedeutung von Straßen ist es möglich

eine momentane Bewertung und Reihung der Straßen unter Berücksichtigung von gemeinwirtschaftlichen Aspekten durchzuführen.

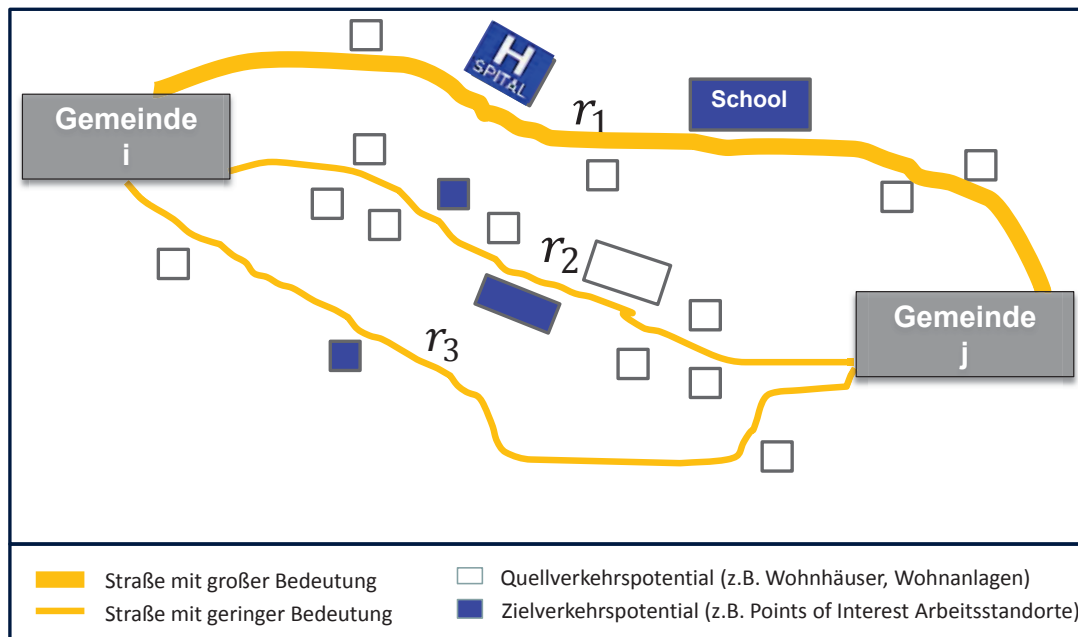


Abbildung 9: Einflussparameter Streckenbedeutung – Gemeinwohlaspekte

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 die Infrastruktur zu ermöglichen und somit unter anderem 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. Des Weiteren müssen auch zukünftige Standortplanungen soweit bekannt in Betracht gezogen werden. Im Fallbeispiel wird nun angenommen, dass sich an r₃ ein Entwicklungsgebiet für ein zukünftiges Einkaufszentrum befindet. Vor diesem Hintergrund könnte r₃ die Route mit der größten Bedeutung sein.

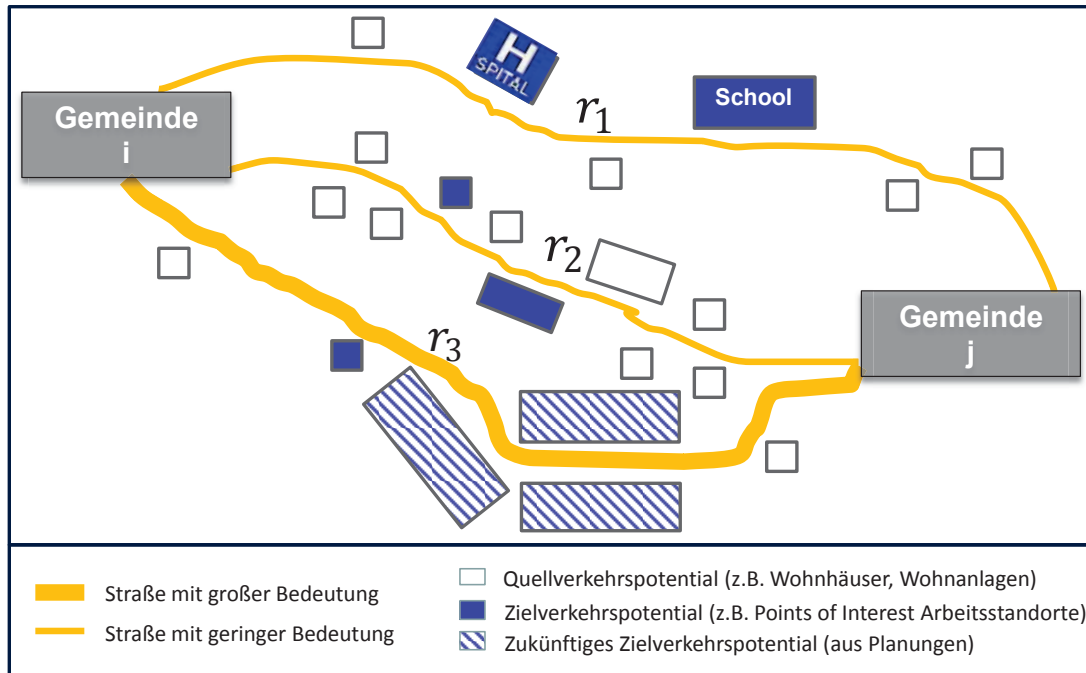


Abbildung 10: Einflussparameter Streckenbedeutung – Zukünftige Entwicklung

Durch das obenstehende Beispiel wird 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 (Sturm & Fellendorf, 2015):

$$sb(t_0, t_1) = f[q(t_0, t_1), r(t_1), g(t_0, t_1)] \quad (18)$$

Mit:

sb	Streckenbedeutung
q	Verkehrsbelastung
r	Raumplanungsziele
g	Aspekte des Gemeinwohls
t_0	Aktueller Zeitpunkt
t_1	Prognosezeitpunkt

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 $g(t_1)$ letztendlich die Streckenbedeutung zum Zeitpunkt (t_1) ermittelt.

Unter Implementierung dieser funktionalen Zusammenhänge liefert die Methodik zur nachfrageorientierten Priorisierung Verkehrsteilnehmereinheiten als Ergebnis, wobei Raumplanungsziele und Vorgaben im Sinne des Gemeinwohls darin bereits mitabgedeckt sind. Damit ist auch die Frage nach der Maßeinheit geklärt (Sturm & Fellendorf, 2015).

Im Fallbeispiel der Abbildung 11 werden die Fälle a) ohne und b) mit Routenalternative gegenüber gestellt. Es sei angenommen, dass für die Streckenbedeutungen (sb) für die Routen r_1 , r_2 und r_3 gilt:

$$sb_{r_1} = sb_{r_2} = sb_{r_3} \quad (19)$$

Mit: sb Streckenbedeutung
 r_1, r_2, r_3 Routen

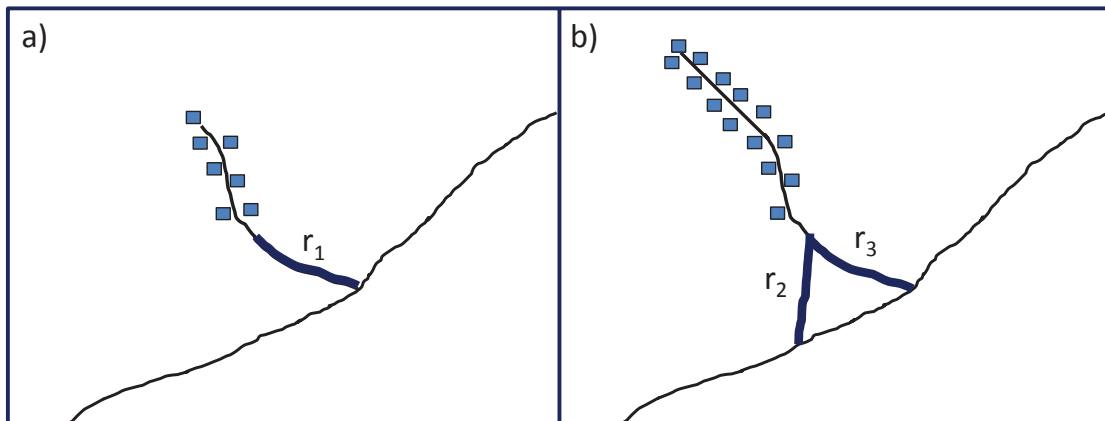


Abbildung 11: Fallbeispiel Streckenbedeutung a) ohne und b) mit Alternativroute

Entsprechend der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit sollen auch Schrumpfungsprozesse ermöglicht und strategische Maßnahmen, wie Redimensionierungen oder einfaches „Liegenlassen“, in der Erhaltung berücksichtigt werden. Trotz identer Streckenbedeutung (sb) kann es zu unterschiedlichen Auswirkungen dieser Maßnahmen kommen. Ein Auflassen des Streckensegmentes r_1 hätte zur Folge, dass den Bewohnern im Fallbeispiel a (Abbildung 12) der Zugang zum Netz genommen würde. Im Falle der Auflassung des Streckensegmentes r_3 hingegen wäre eine Verkehrsverlagerung auf die Alternativroute r_2 möglich. Auswirkungen für die Straßennutzer des ehemaligen Segmentes sind im Vergleich zum Fall a gering (Abbildung 12).

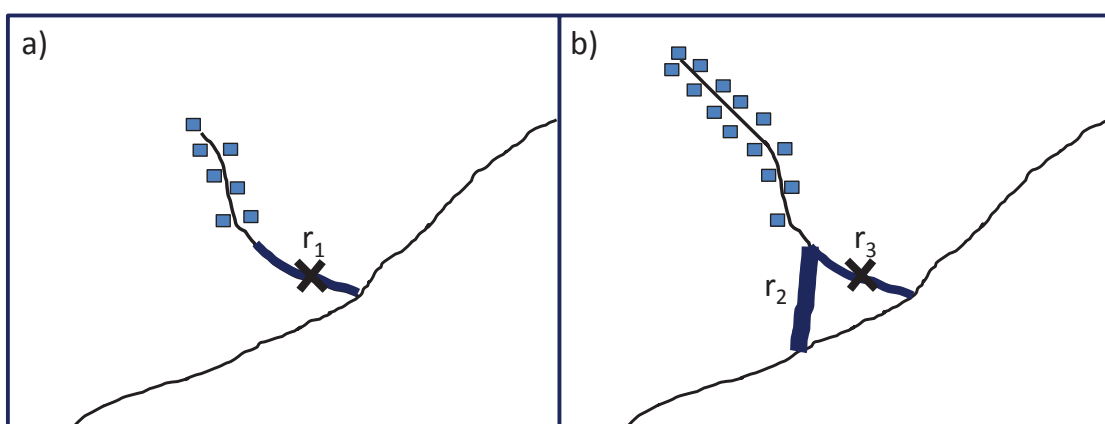


Abbildung 12: Fallbeispiel Auflassung a) ohne und b) mit Alternativroute

Dieser Vergleich zeigt, dass zusätzliche Kriterien zu berücksichtigen sind. Die einzelnen zu berücksichtigenden Kriterien resultieren hierbei aus folgendem in Abbildung 13 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 Abbildung 13 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 treten bei sehr günstigen Alternativrouten bereits bei Zustand 2 und bei sehr ungünstigen Alternativrouten erst bei einer Totalsperre (Zustand 5) Verkehrsverlagerungen auf.

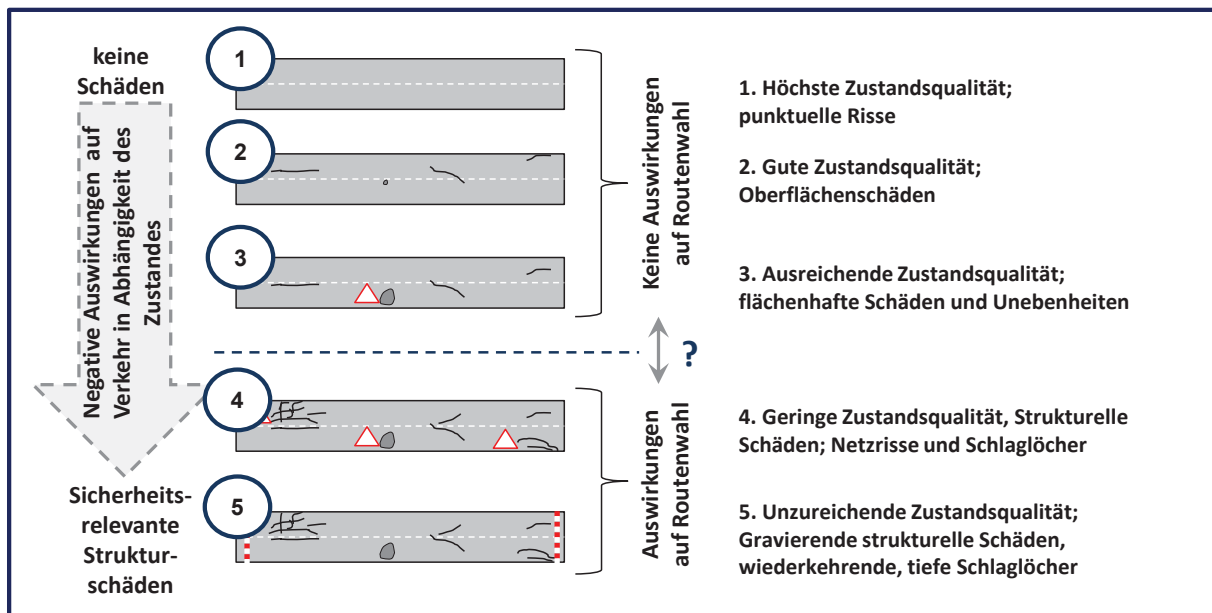


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Zustand, Alternativrouten und Routenwahl (Sturm & Fellendorf, 2015)

Umgekehrt können mittels dieser Überlegung nicht nur Auswirkungen von Straßenschäden, sondern auch verschiedene, strategische Maßnahmen ermittelt werden. Für die Ableitung strategischer Maßnahmen sind zusätzlich zur Streckenbedeutung auch der Streckenzustand und Netzeffekte in die Beurteilung miteinzubeziehen. Es gilt daher:

$$sm(t_0, t_1) = f[sb(t_0, t_1), z(t_0, t_1), n(t_0)] \quad (20)$$

Durch Substitution erhält man:

$$sm(t_0, t_1) = f[q(t_0, t_1), r(t_1), g(t_0, t_1), z(t_0, t_1), n(t_0)] \quad (21)$$

Mit:	sm	Strategische Maßnahme
	sb	Streckenbedeutung
	q	Verkehrsbelastung
	r	Raumplanungsziele
	g	Aspekte des Gemeinwohls
	z	Zustand
	n	Netzeffekte
	t0	Aktueller Zeitpunkt
	t1	Prognosezeitpunkt

4.2 Modellgrundlagen

Die Methodik für die strategische Straßenerhaltung wird entsprechend der Definitionen in Kap. 4.1 grundlegend in zwei Teile untergliedert. Aus dem ersten Teil geht die Bedeutung von Straßen (sb) hervor, wobei das Verkehrsaufkommen eine wesentliche Rolle spielt. Da das österreichische Gemeindestraßennetz rund 89.000 km Straßen (BMVIT, 2015) umfasst, ist eine Beurteilung des Verkehrsaufkommens über Verkehrszählungen als Grundlage für Priorisierungen wirtschaftlich nicht vertretbar. Auf Basis von Strukturdaten (Erläuterung in Kap. 4.2.1) und verkehrsplanerischen Kennwerten (Bosserhoff, 2001) wäre zwar die Beurteilung des Verkehrsgeschehens für Erschließungsstraßen und in aggregierter Form auch für Sammelstraßen möglich, eine Aussage über die Verkehrsverteilung auf einzelne Verbindungsstraßen gelingt damit nicht. Um dennoch eine flächendeckende Aussage über das Verkehrsgeschehen zu erhalten, werden Verkehrsmodelle auf Basis mathematischer Algorithmen erstellt. Verkehrsmodelle ermöglichen die Umlegung der Verkehrsnachfrage auf das Verkehrsangebot (Straßennetz) und damit eine qualitative und quantitative Beschreibung des Verkehrs (Schnabel & Lohse, 2011). Als „Verkehrsnachfrage“ wird der Wunsch nach Fortbewegung, welcher wiederum aufgrund des Bedürfnisses nach Aktivität an unterschiedlichen Orten entsteht, bezeichnet (Ortúzar & Willumsen, 2011; Schiller, 2007).

Da, wie bereits in Kap. 3.4 erläutert, Verkehrsmodelle bislang vorwiegend für höherrangige Netze Anwendung finden, werden in der vorliegenden Arbeit spezifische Verkehrsmodelle für die gegebene Zielsetzung generiert. Nach Stachowiak (1973) gilt für Modelle generell, dass sie stets ein Abbild eines Originals sind. Sie erfassen dabei i.d.R. nicht alle möglichen Attribute des Originals, sondern nur diejenigen, die dem Modellerschaffer oder dem Modellbenutzer als wesentlich erscheinen. Letztlich ist ein Modell nicht nur ein Abbild von etwas sondern auch für jemanden oder für einen bestimmten Zweck (Stachowiak, 1973). Der Zweck und damit die Zielsetzung aus dem Kap. 1.3 muss auch bei der Entwicklung der Verkehrsmodelle der vorliegenden Arbeit besondere Berücksichtigung finden.

Betreffend die Datengrundlagen sind für den Aufbau eines Verkehrsnachfragemodells Struktur- und Netzdaten (Erläuterung in Kap. 4.2.1 und 4.2.2) erforderlich. Die Bedeutung der Strecken ergibt sich in der vorliegenden Methodik direkt aus dem Modell (Abbildung 14). Aufbauend auf die Bedeutung von Strecken als Ergebnis des ersten Teils der Methodik werden in weiterer Folge, unter Berücksichtigung von Straßenzuständen und Maßnahmenvorschlägen, Maßnahmenkosten ermittelt und Verlagerungseffekte aufgrund unterschiedlicher Zustände für Verkehrsteilnehmer im Netz bewertet. Dabei findet das im ersten Schritt entwickelte Verkehrsmodell Verwendung. Über Kostenkennwerte kann der Nutzen einzelner Maßnahmen bewertet werden. Gemeinsam mit den Maßnahmenkosten werden Kosten-Nutzen Verhältnisse ermittelt sowie Gesamtoptimierungen vorgenommen. Die detaillierte Erläuterung der Methodik erfolgt in Kap. 4.3.

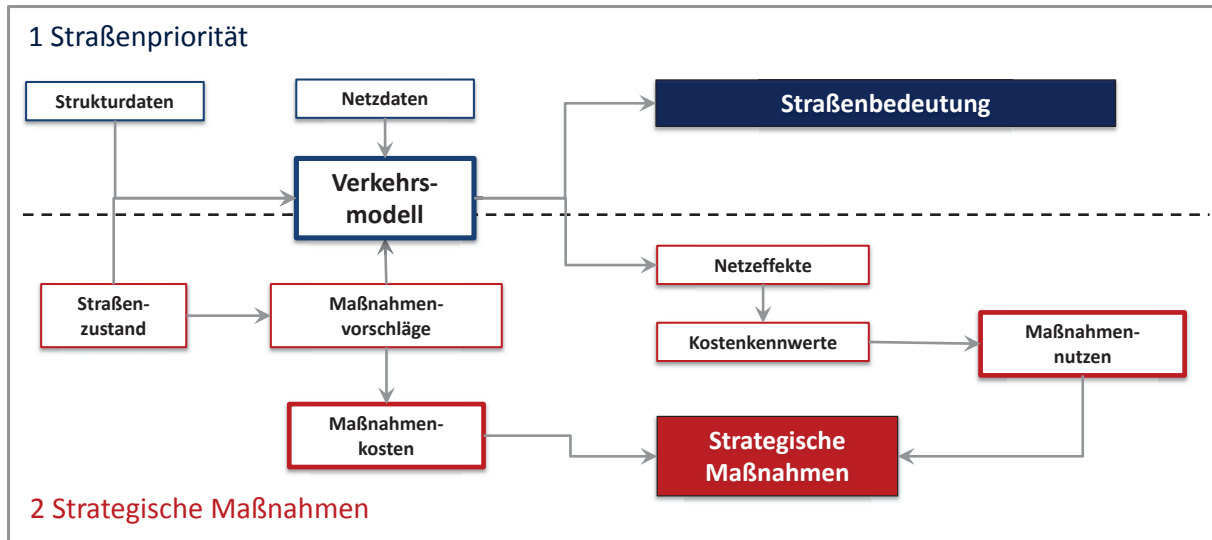


Abbildung 14: Systemskizze zur Methodik: Straßenbedeutung und Maßnahmenableitung

Für den Aufbau und in weiterer Folge die Anwendung des Verkehrsmodells, bestehend aus Nachfrage- und Netzmodell, sind folgende Datengrundlagen erforderlich:

- Strukturdaten
- Netzdaten
- Zustandsdaten
- Maßnahmendaten

Nachstehend wird auf die einzelnen Datenbausteine näher eingegangen.

4.2.1 Strukturdaten

Die zur Anwendung der Methodik erforderlichen Strukturdaten setzen sich aus Arbeitsplatz- und Siedlungsdaten, „Points of Interest“ und Bevölkerungsentwicklungsdaten zusammen. Arbeitsplatz- und Siedlungsdaten stehen als Rasterinformation zur Verfügung und stellen einen Haupteinflussfaktor für die Ermittlung der Verkehrsbelastung (q) dar.

Zur Berücksichtigung wichtiger Einrichtungen wurden ausgewählte Inhalte von bestehenden Themen aus den Bereichen kommunale und soziale Einrichtungen, Katastrophenschutz und Gesundheit herangezogen. Die vollständige Liste an mit Februar 2016 verfügbaren Datensätzen befindet sich im Anhang B.1.

POI-Daten dienen nicht nur als Grundlage für die Bewertung von Zielpotentialen, die wiederum zur Ermittlung der Verkehrsbelastung (q) erforderlich sind, sondern auch als Grundlage zur Einschätzung des Beitrages zum Gemeinwohl (g). Zur Berücksichtigung des Gemeinwohls sind auch Routen des öffentlichen Verkehrs (ÖV) zu berücksichtigen.

Um die zukünftige Entwicklung miteinzubeziehen, wird auf Daten der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung zurückgegriffen (Mayer, 2010). Nach Mayer (2010) werden folgende Einflüsse in der Bevölkerungsbewegung berücksichtigt:

- Geburten,
- Zuwanderung,
- Sterbefälle und

- Abwanderungen.

Wie in Kap. 1 bereits beschrieben, zeigen Bevölkerungsentwicklungsdaten Landflucht und Urbanisierung in großen Teilen Österreichs auf und fließen als prozentuelle Veränderungen direkt in die Bewertung der Verkehrsbelastung (q) ein.

Zukünftige Planungen aller Art sind, soweit bekannt zu berücksichtigen. Datengrundlagen hierfür sind Regionalentwicklungskonzepte, örtliche Entwicklungskonzepte, Flächenwidmungspläne oder in Gemeinden aufliegende Planungen für einzelne Einrichtungen und Standorte.

Detaillierte Informationen zu den verwendeten Strukturdaten sind dem Kap. 7.2.1 zu entnehmen.

4.2.2 Netzdaten

Die Straßennetzdaten (hoch- und niederrangiges Netz) entstammen dem GIP-Verkehrsgraphen und liegen in Abschnitten unterteilt vor (GIP, 2016). Der GIP-(Grapheninformationsplattform)-Verkehrsgraph ist ein einheitlicher Verkehrsgraph für Österreich laut „Standardbeschreibung GIP.at“. Die Straßenachsen basieren auf orthografischen Fotos, CAD-Daten oder auch Laserscans. Neben Objektbezeichnungen sind unter anderem eine funktionale Klassifizierung der Verkehrsbedeutung nach FRC (siehe Kap. 3.2) und eine Zuordnung zu Straßenkategorien (z.B. Gemeindestraße, Autobahn) Teil der verfügbaren Informationen zu den einzelnen Segmenten des Verkehrsnetzes. Der vollständige Inhalt des GIP-Verkehrsgraphen für die Steiermark ist im Anhang B.2 angeführt (Land Steiermark, 2015b). Auf Basis des GIP-Verkehrsgraphen werden Netzmodelle entwickelt. Die wesentlichen Elemente des Netzmodells sind:

- Knoten
- Kanten
 - Informationen zu Beschränkungen (Fahrverbote, Einbahnen) und fahrbare Geschwindigkeiten
 - Belagsart
- Verkehrszellen
- Anbindungen
- Abbieger

4.2.3 Straßenzustandsinformation

Entsprechend der Definitionen des Kap. 4.1 werden für die Beurteilung strategischer Maßnahmen Informationen zum Straßenzustand vorausgesetzt. Über die Kenntnis des jeweiligen Zustandes können Straßensegmente zur Bewertung in der vorliegenden Methodik ausgewählt werden. Um die in Kap. 2.2.4 beschriebenen Erhaltungsstrategien zu berücksichtigen, werden lediglich Straßensegmente mit erreichter Lebensdauer, Strukturschäden und somit größerem Handlungsbedarf ausgewählt. Auch für die Ableitung technisch möglicher Maßnahmen auf Projektebene ist die Kenntnis des Zustandes vorausgesetzt.

4.2.4 Instandhaltungskosten für schadhafte Straßensegmente

Straßensegmente mit strukturellen Schäden weisen häufig Schlaglöcher und Ausbrüche und breite Risse auf, die es in kurzen Zeitintervallen zu füllen gilt, um die Fahrsicherheit aufrechtzuerhalten. Neben der Zustandsinformation werden schadhafte Straßensegmente auch über die jeweilige Instandhaltungsintensität beschrieben. Die im Vergleich zu erneuerten Abschnitten höhere Instandhaltungsintensität lässt sich durch die Summe aus Personal-, Material- und Gerätekosten je Zeiteinheit quantifizieren. Dazu sind Aufzeichnungen in Form von Bautagesberichten oder Erfahrungswerte von Experten erforderlich. Für erneuerte Straßen kann, wie in Kap. 2.2.3 angeführt, als Anhaltspunkt auf einen durchschnittlichen jährlichen Kostenkennwert zurückgegriffen werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Schadensarten, Belastungen und örtlichen Gegebenheiten, sind in der vorliegenden Methodik die angesetzten Instandhaltungskosten an den jeweiligen schadhafte Straßenabschnitt anzupassen.

4.2.5 Technische Maßnahmen mit Kosten und Wirkungsdauern

Abhängig von Art und Zustand des Belages und weiteren örtlichen Gegebenheiten (z.B. Gefälle, Witterung) können alle, aus technischer Sicht, realisierbaren Maßnahmen abgeleitet werden. Die Investitions- und Folgekosten der einzelnen Maßnahmenvorschläge können, wie in Kap. 2.2.3 geschildert ermittelt oder als Durchschnittswerte abgeschätzt werden. Wirkdauern der jeweiligen vorgeschlagenen Maßnahmen können entsprechenden Tabellen (siehe Kap. 2.2.3) entnommen oder aus Erfahrung abgeschätzt werden.

4.3 Modellstruktur/-aufbau

Die Methodik für die strategische Straßenerhaltung wird entsprechend der Definitionen 4.1 grundlegend in zwei Teile untergliedert. Aus dem ersten Teil geht die Bedeutung von Strecken (sb) hervor. Wie in Kap. 4.2 ansatzweise erläutert, werden dazu Verkehrsmodelle generiert. Entsprechend der Definition im Kap. 4.1 sind im Ergebnis der Streckenbedeutungen bereits Aspekte des Gemeinwohls sowie Prognosen berücksichtigt. Aufbauend auf die Bedeutung von Straßen als Ergebnis des ersten Teils der Methodik wird in weiterer Folge der Nutzen einzelner Maßnahmen unter Berücksichtigung des Zustandes, der Kostenkennwerte sowie netzlogischer Zusammenhänge abgeschätzt. Dieses Ergebnis kann letztendlich für diverse Kosten-Nutzen Verhältnisse sowie Gesamtoptimierungen verwendet werden.

Netz- und Strukturdaten

Als erster Schritt der in vorliegender Arbeit entwickelten Methodik wird auf Basis der Netzdaten der GIP (Graphen-Integrations-Plattform) ein Netzmodell generiert. Dabei werden neben Kanten und Knoten auch die jeweilige Belagsart und Geschwindigkeit definiert. Auch Verkehrseinschränkungen wie z.B. Einbahnen und Fahrverbote sind für jede Straße festzulegen. Über die Verschneidung der linienförmigen Netzdaten mit punktuellen Strukturdaten aus Geographischen Informationssystemen können Verkehrsmodelle aufgebaut werden. Unter Strukturdaten werden zum Beispiel 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 miteinzubeziehen. Wie in Abbildung 15 dargestellt, kann aus der Kombination von Strukturdaten und Netzdaten ein Verkehrsnachfragemodell generiert werden, welches die mathematischen Zusammenhänge zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage beinhaltet. Zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage ist hierbei auf spezifische Verkehrsaufkommen (Schnabel & Lohse, 2011) zurückzugreifen.

Abbildung 15 zeigt den Aufbau des Verkehrsmodells und die wesentlichen Zusammenhänge der Methodik.

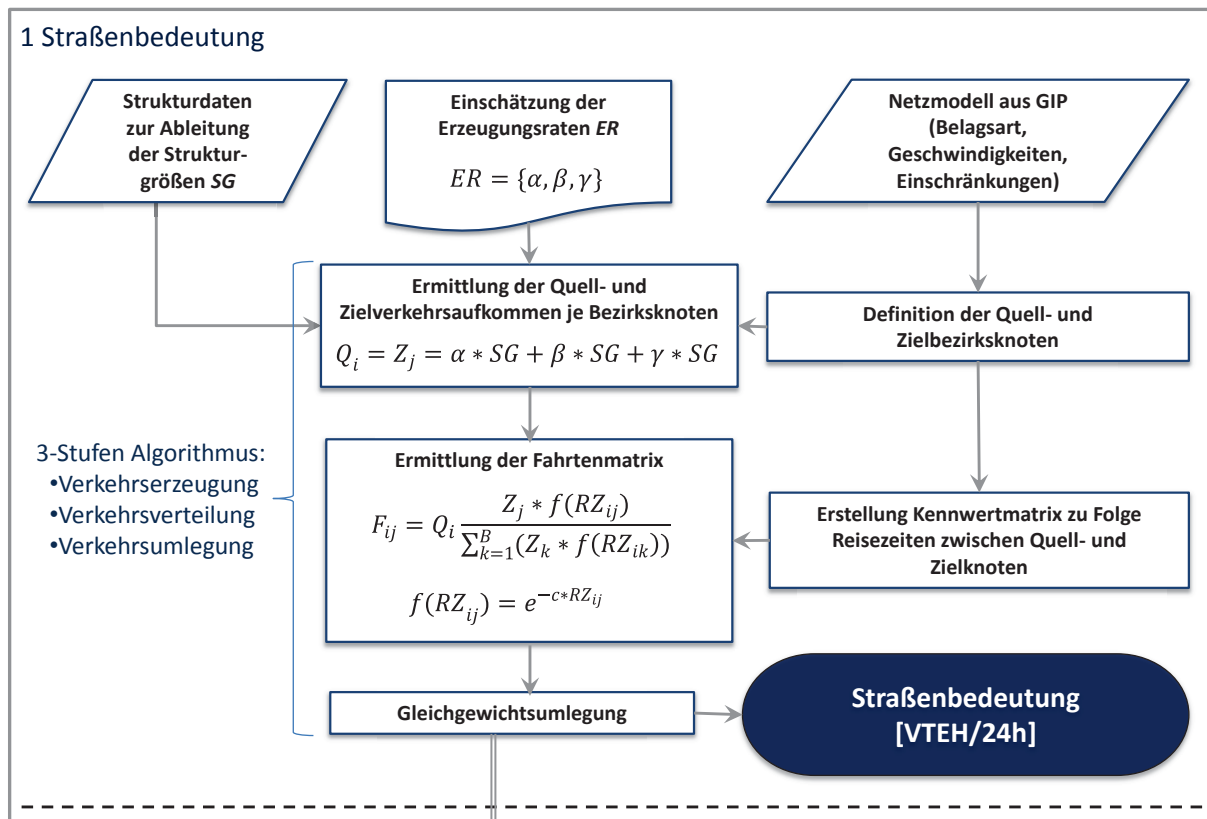


Abbildung 15: Systemüberblick – Methodik Teil 1: Streckenbedeutung

Auch wenn die Anwendung von Verkehrsmodellen zwar in der kommunalen Straßenerhaltung neu ist, bestehen im zugrunde liegenden Algorithmus durchaus Parallelen zu höherrangigen Verkehrsmodellen. Während der grundlegende Aufbau von Verkehrsmodellen entsprechend dem klassischen 4-Stufen-Algorithmus (siehe Kap. 3.4.1) mit Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl und Verkehrsumlegung durchaus auch für niederrangige Straßen und Wege angewandt werden kann, sind unter Einhaltung der Anforderungen aus der Zielsetzung auch Vereinfachungen zur Reduktion der Rechen- und auch Bearbeitungszeiten erforderlich.

Abweichend vom klassischen 4-Stufen-Algorithmus wird der Schritt der Verkehrsmittelwahl 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. ÖV-Haltestellen und Bahnhöfe sind jedoch entsprechend ihrer Größe als Zielpotentiale zu berücksichtigen, um Verzerrungen im Individualverkehr zu verhindern. Wie in

Abbildung 16 beschrieben, wird in vorliegender Methodik ein dreistufiger Algorithmus mit den Schritten Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Verkehrsumlegung angewandt.

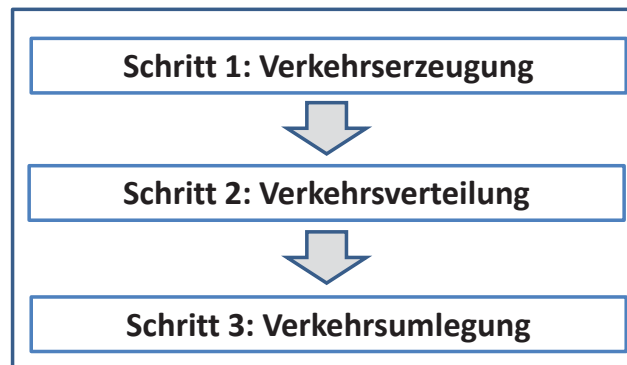


Abbildung 16: Verkehrsmodell in 3 Schritten: Erzeugung-Verteilung-Umlegung

4.3.1 Verkehrserzeugung

Weitere Abweichungen von den für die meisten Anwendungen üblichen Verkehrsmodellen gibt es bereits innerhalb des ersten Schrittes der Verkehrserzeugung. Während es für übliche Verkehrsmodelle empfohlen wird die Verkehrsnachfrage getrennt für homogene Gruppen zu ermitteln, wird in vorliegender Methodik auf diese Unterteilung verzichtet. Diesem Merkmal zufolge entspricht die Verkehrserzeugung weniger einem Individualverhaltensmodell, als einem Raumaggregatmodell (siehe dazu Kap. 3.4.1: Verkehrserzeugung). Der Grund für diese Vereinfachung liegt in der Zielsetzung vorliegender Arbeit. Entgegen des Zieles üblicher Verkehrsmodelle verschiedene detaillierte Analysen beispielsweise zur Zusammensetzung des Verkehrs im höherrangigen Netz durchzuführen, zielt vorliegende Arbeit auf die Ermittlung stabiler durchschnittlicher Verkehrsbelastungen im zum Teil auch ländlichen schwach-frequentierten Straßennetz ab. In diesem Bereich ist es nicht zweckmäßig, einzelnen Verkehrsteilnehmern nähere Eigenschaften zuzuweisen, da sich diese über einen Betrachtungszeitraum von 15 bis 20 Jahren grundlegend ändern. Beispielsweise wird ein Schulkind in diesem Zeitraum zum Studierenden und in weiterer Folge zum Erwerbstätigen. Eine exakte Zuordnung zu verhaltenshomogenen Verkehrsgruppen bietet zwar eine bessere Genauigkeit zum aktuellen Zeitpunkt z.B. in der Zielwahl (Schüler – Schule) führt durch die Änderung der realen Umstände über einen größeren Zeitraum im Bereich schwach-frequentierter Straßen jedoch zur Verzerrung der Ergebnisse. In dieser Arbeit wurde daher durchschnittliches Verkehrsverhalten für jeden Verkehrsteilnehmer angenommen. Sollte die Methodik selbstlernender Verfahren, unter der Berücksichtigung einer künstlichen Bevölkerung (siehe Kap. 3.4.2) in Zukunft in der Lage sein, die Veränderung der realen Lebensumstände im kommunalen Bereich ausreichend genau und unter vertretbarem Aufwand zu berücksichtigen, kann durch Anwendung derartiger Verfahren für vorliegende Methodik ein Anstieg an Genauigkeit erzielt werden.

Definition der Quell- und Zielverkehrsknoten

In der traditionellen Herangehensweise, wie am Beispiel von GUARD (Fellendorf et al., 2011) in Abbildung 17 ersichtlich, wird die Verkehrsnachfrage in aggregierter Form auf Verkehrszellen unterteilt, die den politischen Wahlbezirken oder Gemeindegebieten entsprechen. Sämtliche

Strukturdaten werden diesen Verkehrszellen zugeordnet. Auf Basis der Strukturdaten werden unter Einbeziehung von Erzeugungsraten, beispielsweise nach Bosserhoff (2001), Quell- und Zielverkehrsaufkommen ermittelt und somit der Schritt der Verkehrserzeugung ermöglicht. Über Anbindungen (Abbildung 17, strichlierte Linien) wird die, in den Verkehrszellen erzeugte, Verkehrsnachfrage an unterschiedlichen Stellen in das Verkehrsnetz eingespeist. Die Anbindungszeiten müssen dabei jeweils definiert werden. Aufgrund des aggregierten Niveaus der Strukturdaten zufolge der groben Auflösung der Verkehrsbezirke ist die Umlegung der Verkehrsnachfrage auf das niederrangige Netz innerhalb von Gemeinden nicht möglich.

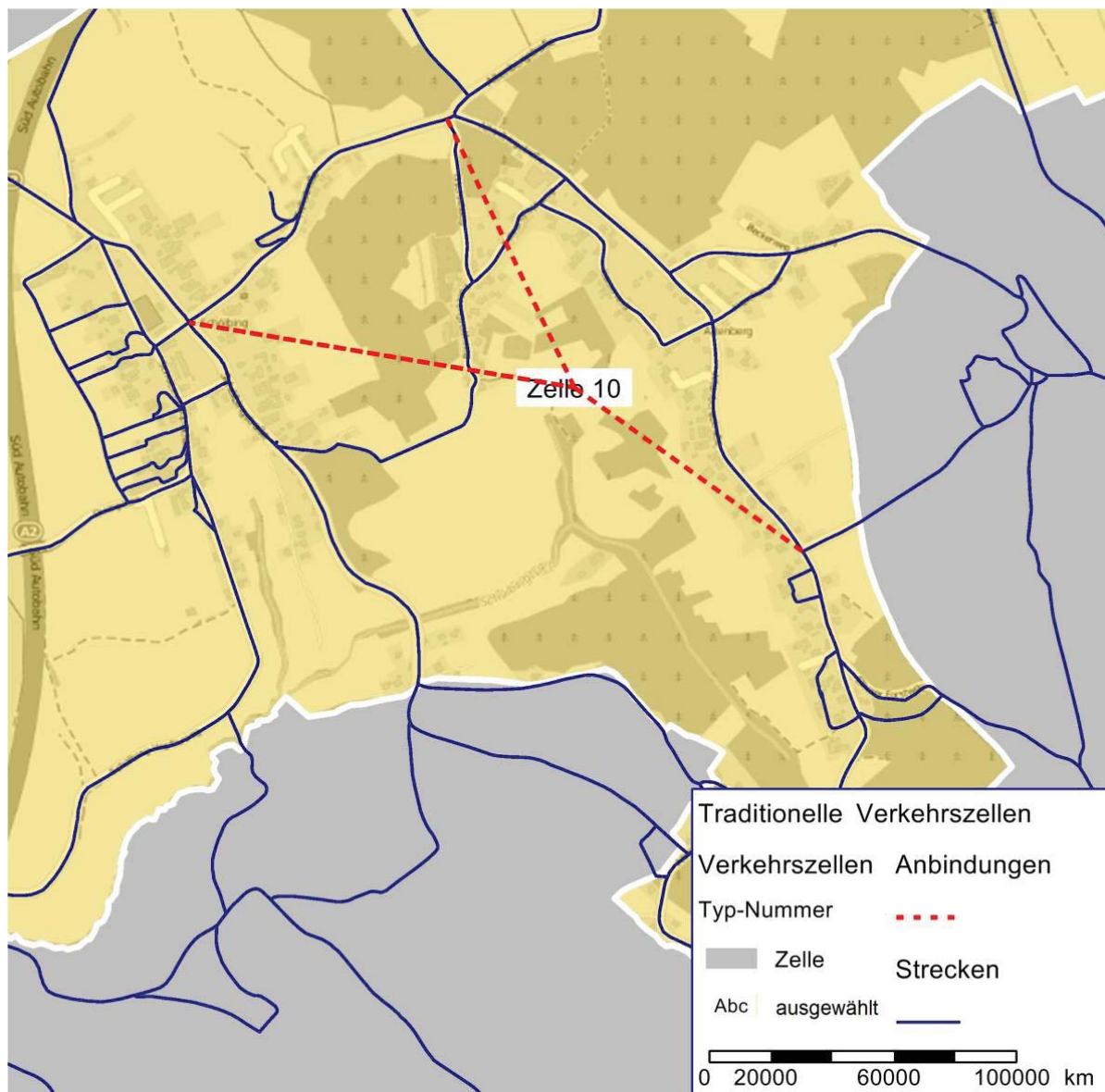


Abbildung 17: Netzmodell GUARD mit traditionellen Verkehrszellen (Fellendorf et al., 2011)

Für die Zielsetzung der Bewertung gesamter Gemeindestraßennetze ist im Vergleich zu herkömmlichen raumaggregierten Modellen ein wesentlich höherer Detaillierungsgrad erforderlich. Die Datenqualität in den Strukturdaten hat sich in den letzten Jahren verbessert, sodass Strukturdaten (Arbeitsplatzdaten, Wohnsitzdaten, „Points- of Interest“, Betriebe) nicht in aggregierten Zonen oder Bezirken sondern disaggregiert, georeferenziert und daher betreffend ihrer Lage in hohem Detaillierungsgrad vorliegen (Abbildung 18). Aus diesem Grund kann die Einspeisung

der Verkehrsnachfrage theoretisch für jede Strukturinformation (Wohnstandort, Arbeitsplatz, POI) getrennt erfolgen.

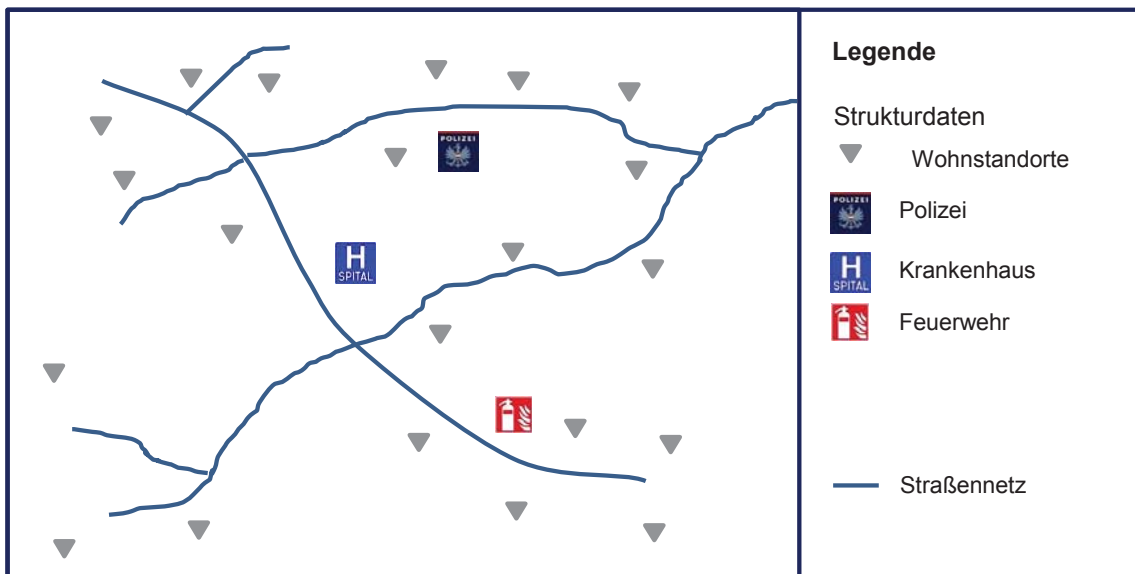


Abbildung 18: Netzmodell mit georeferenzierten Strukturdaten (Wohnstandorte und POIs)

Da die Anzahl möglicher Verkehrsbeziehungen mit dem Quadrat der Anzahl an Einspeisungspunkten steigt, ist die Einspeisung für jede einzelne Strukturinformation für größere Netze nicht möglich. Aus diesem Grund werden in vorliegender Methodik die Strukturdaten in einzelnen kleinräumigen Verkehrszellen aggregiert. Dabei werden die Einspeisungspunkte zumindest an den Kantenenden sowie den Knoten positioniert. Um eine genauere Zuordnung zu ermöglichen, werden für längere Kanten im Netz zusätzliche Einspeisungspunkte berücksichtigt. Anwendungsbeispiele (Kap. 7) haben gezeigt, dass die maximale Kantenlänge im ländlichen Bereich 500m und im städtischen Bereich 250m nicht überschreiten sollte (Abbildung 19).

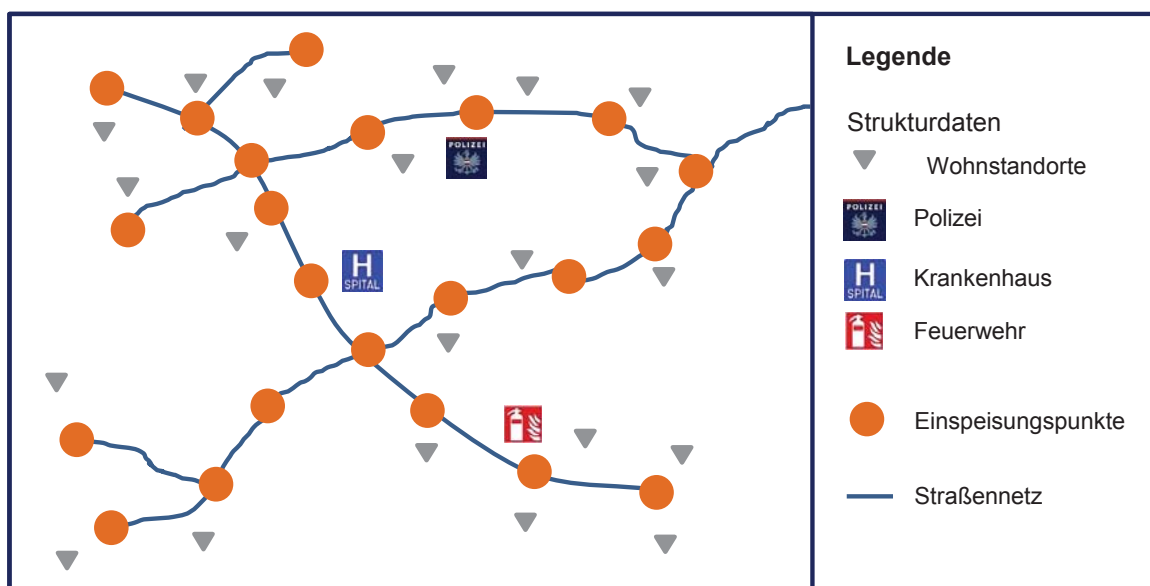


Abbildung 19: Netzmodell mit Strukturdaten und punktuellen Verkehrszellen

Strukturdatenbasiert kann ein Punkt der Strukturdaten sp mit den Koordinaten (x,y) dem Einspeisungspunkt ep_i mit den Koordinaten (x_{ep_i}, y_{ep_i}) nur dann zugeordnet wenn gilt:

$$\sqrt{(x - x_{ep_i})^2 + (y - y_{ep_i})^2} < \sqrt{(x - x_{ep_j})^2 + (y - y_{ep_j})^2} \quad (22)$$

für alle ep_j mit $j \neq i, 1 \leq j, i \leq n$

Die euklidische Distanz des Strukturdatenpunktes sp zum Einspeisungspunkt ep_i ist somit geringer als zu jedem anderen Einspeisungspunkt.

Einspeisungspunktbasiert wird das Netzmodell mit einem Voronoi-Diagramm (näher beschrieben durch Han & Bray (2006) und Souvaine et al. (2004)) hinterlegt (Abbildung 20). Das Set an Einspeisungspunkten ep_i liegt in der Ebene, die durch ein Voronoi-Diagramm in einzelne Voronoi-Zellen (auch Thiessen-Polygone) unterteilt wird. Die Zellen weisen dabei folgende Eigenschaften auf:

- Jeder Punkt ep_i liegt genau in einer Zelle
- Wenn ein Punkt sp in derselben Region liegt wie ep_i , dann ist die Entfernung von ep_i zu sp geringer als die Distanz von ep_j zu sp wobei ep_j ein beliebiger weiterer Einspeisungspunkt ist

Die flächigen Einzugsbereiche der einzelnen punktuellen Verkehrszellen werden in Abbildung 20 als Voronoi-Zellen dargestellt. Für die Anbindungszeiten werden Durchschnittswerte angenommen.

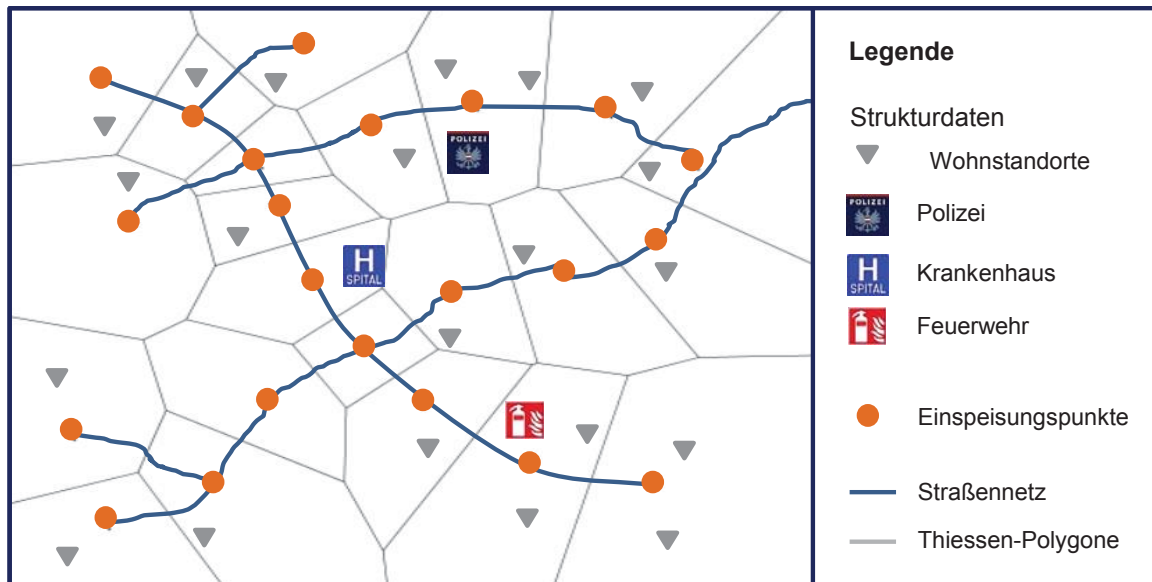


Abbildung 20: Netzmodell mit Strukturdaten, punktuellen Verkehrseinspeisungspunkten und Voronoi-Zellen

Im Vergleich zur raumaggregierten, traditionellen Herangehensweise in Abbildung 17 werden in vorliegender Methodik Strukturdaten in einem wesentlich geringeren Aggregationsniveau einzelnen Punkten des Netzmodells zugeordnet. Bei den Quell- und Zielverkehrspotentialen in Abbildung 21, handelt es sich daher bereits um Aggregate der Strukturdaten. Aufgrund der feingliedrigeren

Einspeisung der Verkehrsnachfrage sind Umlegungen auf einzelne Gemeindestraßen möglich. Diese Abwandlung von traditionellen Raumaggregatmodellen, von flächigen Verkehrsbezirken hin zu punktuellen Verkehrszellen ist erforderlich, da zur Ermittlung der Bedeutung einzelner Straßensegmente im kommunalen Bereich eine ausreichend detaillierte Struktur in der Verkehrserzeugung Grundvoraussetzung ist.

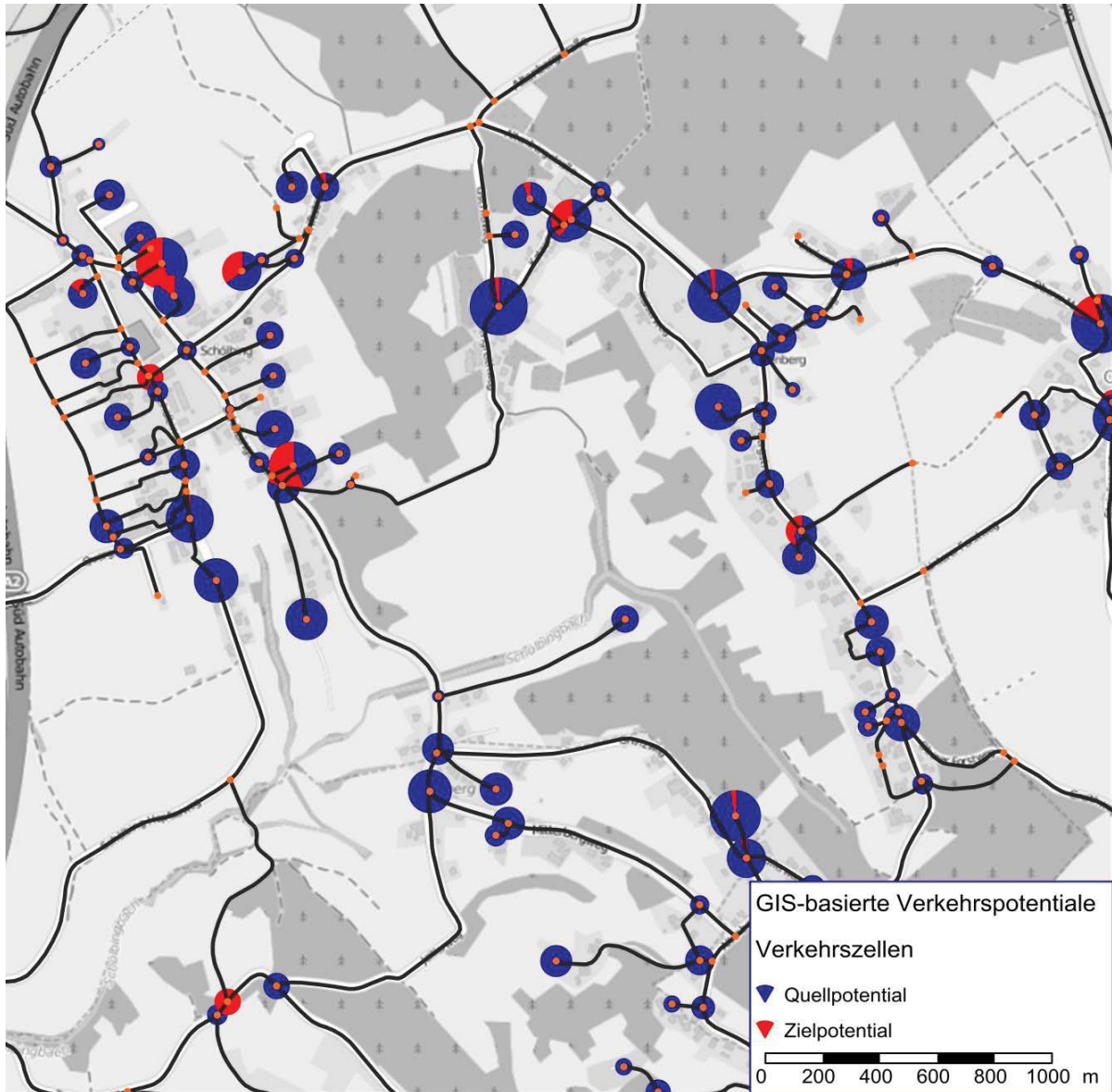


Abbildung 21: Verkehrsmodell mit feingliedrigem Verkehrsaufkommenspotentialen aus Strukturdaten und prioritären Einrichtungen (Sturm & Fellendorf, 2015)

Ermittlung der Quell- und Zielverkehrsaufkommen je Verkehrszelle

Um die Anforderung der Bewertung der Bedeutung der Straßen nach Definition des Kap. 4.1 zu erfüllen, werden in der Bewertung der einzelnen Quell- und Zielverkehrspotentiale und in weiterer Folge des Quell- und Zielverkehrsaufkommens bereits alle Strukturdaten des Kap. 4.2.1 berücksichtigt.

Verkehrserzeugende Elemente ergeben sich sowohl aus Aktivitätenorten (z. B. Wohnstandorte, Arbeitsstätten, Einkaufsmöglichkeiten, Freizeiteinrichtungen) als auch aus notwendigen Versorgungseinrichtungen einer Gemeinde (z. B. Feuerwehren, Polizeiinspektionen, Verwaltungs-

einrichtungen, Schulen). Die dazu erforderlichen Grundlagendaten liegen entweder räumlich differenziert als Strukturdaten oder als adressscharfe Punktdaten (Points of Interest POI) vor.

$$Q_i = f(SQ_i, GQ_i, RQ_i) \quad Z_j = f(SZ_i, GZ_i, RZ_i) \quad (23)$$

Mit:	Q_i	Quellverkehrsaufkommen des Verkehrsknotens i
	Z_j	Zielverkehrsaufkommen des Verkehrsknotens j
	SQ_i	Strukturgröße (Wohnstandorte, Arbeitsplätze, POI) des Quellverkehrsknotens i
	GQ_i	Faktoren des Gemeinwohls multipliziert mit Strukturgrößen am Quellverkehrsknoten i
	RQ_i	Zukünftige prozentuelle Entwicklungen (inkl. Raumplanung) multipliziert mit Strukturgrößen am Quellverkehrsknoten i
	SZ_j	Strukturgröße (Wohnstandorte, Arbeitsplätze, POI) des Zielverkehrsknotens i
	GZ_j	Faktoren des Gemeinwohls multipliziert mit Strukturgrößen am Zielverkehrsknoten i
	RZ_j	Zukünftige prozentuelle Entwicklungen (inkl. Raumplanung) multipliziert mit Strukturgrößen am Zielverkehrsknoten i

Im Detail sind Q_i , Z_j und in weiterer Folge die Streckenbedeutung sb durch folgenden linearen Zusammenhang bestimmt:

$$Q_i = Z_j = sb = \alpha * SG + \beta * SG + \gamma * SG \quad (24)$$

Mit:	sb	Streckenbedeutung
	SG	Strukturgrößen
	α	Erzeugungsrate zur Bewertung des realen Verkehrsaufkommens
	β	Faktor zur Beurteilung der zukünftigen Entwicklung unter Berücksichtigung der Raum- und Standortplanung
	γ	Erzeugungsrate für fiktives Verkehrsaufkommen aus Gemeinwohl (Öffentliches Interesse)

Einschätzung der Erzeugungsraten

Für die Bewertung des realen Zielverkehrsaufkommens Z_j für POI wie z.B. Gewerbeeinrichtung, Schulen oder Freizeiteinrichtungen werden die maßgebenden Strukturgrößen z.B. Verkaufsfläche, Schüler oder Gäste als Basis herangezogen. Diese Strukturgrößen werden zur Beurteilung des realen Verkehrsaufkommens mit den sogenannten Erzeugungsraten α nach Bosserhoff (2001) multipliziert.

Für die Beurteilung des Quellverkehrsaufkommens aus Wohnstandorten, gilt die Anzahl an Wohnsitzen als maßgebende Strukturgröße, wobei in vorliegender Arbeit keine Unterteilung der Verkehrsteilnehmer in verhaltenshomogene Personengruppen vorgenommen wird. Zwar sind Informationen dazu, ob es sich bei Bewohnern um Kinder oder Erwachsene handelt teilweise vorhanden, die exakten Ziele von z.B. Kindern sind jedoch unklar, da mehrere Schulstandorte in Frage kommen und nicht davon ausgegangen werden kann, dass die nächste Schule aufgesucht wird; d.h. aus Gründen der Zielunsicherheit ist es nicht erforderlich zwischen verschiedenen Personengruppen zu unterscheiden. Die wahrscheinliche Zielwahl erfolgt unter Berücksichtigung der Summe an Anziehungspotentialen an verschiedenen Orten und der Entfernung zum Ausgangspunkt. Weitere Gründe um zwischen verhaltenshomogenen Gruppen zu unterscheiden, wären z.B. eine unterschiedliche Anzahl an zurückgelegten Wegen oder ein unterschiedliches Verkehrsmittelwahlverhalten. Es ist nicht das Ziel vorliegender Methodik ein möglichst exaktes Verkehrsmodell aufzubauen. Stattdessen gilt es die Bedeutung von Straßen als Grundlage für

Entscheidungen in der Straßenerhaltung zu ermitteln. Daher ist nicht der aktuelle Verkehr von Interesse, sondern die zukünftige Nachfrage und somit die zukünftige Bedeutung der Straße. Bezogen auf das Beispiel mit der Unterscheidung zwischen Kindern und Erwachsenen bedeutet dies, dass diese Annahmen in die Zukunft projiziert jedenfalls falsch wären. Die in Kap. 3.4.2 angeführten agentenbasierten Verfahren könnten in Zukunft in der Lage sein, mittels synthetischer Bevölkerung, derartige Entwicklungen abzubilden. In vorliegender Arbeit wird zur Beurteilung des Quellverkehrsaufkommens Q_i aus Wohnstandorten die Strukturgröße „Anzahl der Wohnsitze“ mit der durchschnittlichen Anzahl an Ausgängen pro Person (Bundesamt für Statistik & Bundesamt für Raumentwicklung, 2012) als Erzeugungsrate α multipliziert.

Der β -Faktor steht für die zukünftige Entwicklung und wird abhängig von Änderungen durch Raumplanung und geplanten Standortentwicklungen festgelegt und mit der jeweiligen Strukturgröße multipliziert. Wenn keine Änderungen der Strukturgrößen zu erwarten sind, wird der β -Faktor auf Null gesetzt.

Der γ -Faktor gilt als Erzeugungsrate für das fiktive Verkehrsaufkommen. Damit wird das öffentliche Interesse an Einrichtungen beurteilt. Am Beispiel der Feuerwehr ist das öffentliche Interesse abhängig von der Anzahl der Einwohner im Löschgebiet, weshalb diese als maßgebende Strukturgröße herangezogen wird.

4.3.2 Verkehrsverteilung

Ermittlung der Fahrtenmatrix

Als nächster Schritt erfolgt die Verkehrsverteilung durch Erstellung einer sogenannten Verkehrsstrommatrix. Damit wird abgebildet, dass prinzipiell jeder Knoten von jedem Knoten aus erreicht werden kann. Entgegen der üblichen Herangehensweise bestehen durch die Detaillierung der Verkehrspotentiale Verkehrsströme in höherem Detaillierungsgrad. Angelehnt an Tabelle 10 werden wie in Tabelle 11 abgebildet Zielknoten j mit jedem Quellknoten i über Verkehrsströme verbunden.

Tabelle 11: Zweidimensionale Fahrtenmatrix angelehnt an Tabelle 10

		Zielbezirksknoten					$Q_i = \sum_j F_{ij}$
		1	2	3	... j	... n	
Quellbezirksknoten	1	F_{11}	F_{12}	F_{13}	... F_{1j}	... F_{1n}	Q_1
	2	F_{21}	F_{22}	F_{23}	... F_{2j}	... F_{2n}	Q_2
	3	F_{31}	F_{32}	F_{33}	... F_{3j}	... F_{3n}	Q_3
	...						
	i	F_{i1}	F_{i2}	F_{i3}	... F_{ij}	... F_{in}	Q_i
	...						
	m	F_{m1}	F_{m2}	F_{m3}	... F_{mj}	... F_{mn}	Q_m
$Z_j = \sum_i F_{ij}$		Z_1	Z_2	Z_3	... Z_j	... Z_n	$\sum_{ij} F_{ij} = V$

Die Zielwahl wird in Abhängigkeit von Widerstand und Anziehungspotential ermittelt. In der Ermittlung der Verkehrsverteilung werden gängige Formulierungen (Kap. 3.4.1) übernommen. Somit ergibt sich die Anzahl der Fahrten aus:

$$F_{ij} = Q_i * P_{ij} \quad (25)$$

$$P_{ij} = \frac{Z_j * f(RZ_{ij})}{\sum_{k=1}^B (Z_k * f(RZ_{ik}))} \quad (26)$$

Mit: F_{ij} Anzahl der Wege von Bezirk i nach j
 P_{ij} Auswahlwahrscheinlichkeit des Ziels j für den Quellbezirk i
 Q_i Quellaufkommen in Bezirk i
 Z_j Zielpotential in Bezirk j
 $f(RZ_{ij})$ Nutzenfunktion
 k Index der Bezirke (von 1 bis B)

Die Nutzenfunktion wurde in vorliegender Arbeit wie folgt definiert:

$$f(RZ_{ij}) = e^{-c * RZ_{ij}} \quad (27)$$

Mit: $f(RZ_{ij})$ Nutzenfunktion
 RZ_{ij} Reisezeit zwischen Ausgangsknoten i und Zielknoten j
 c Parameter

4.3.3 Verkehrsumlegung

Die im Rahmen der Verkehrsverteilung generierten Verkehrsbeziehungen werden im nächsten Schritt auf das Straßennetz umgelegt. Somit wird die Routenwahl der Individuen des Verkehrsmodells nachgebildet.

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. 4.1 beschriebenen Einheit und die Werte eignen sich daher unmittelbar als Grundlage für eine nachfrageorientierte Prioritätenreihung (Sturm & Fellendorf, 2015).

4.4 Ermittlung der Streckenbedeutung

Im Ergebnis der Streckensegmentbewertung (Abbildung 22) kann über die unterschiedlichen Strichstärken die Straßenbedeutung in gewichteten, prognostizierten Verkehrsteilnehmereinheiten abgelesen werden (Sturm & Fellendorf, 2015). Auch wenn dieses Ergebnis keine direkten Schlüsse auf den Nutzen einzelner strategischer Maßnahmen zulässt, ist entsprechend der Definitionen in Kap. 4.1 die Ableitung eines Kernnetzes sowie die Ableitung von Ausstattungsmaßnahmen (z.B. Errichtung) unmittelbar möglich.

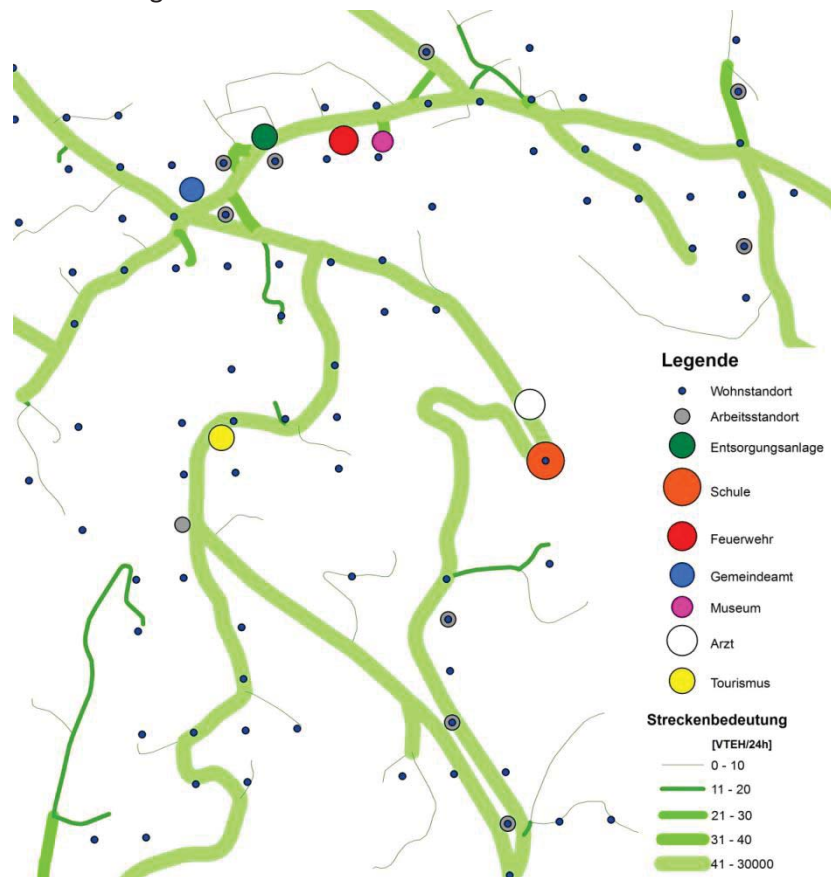


Abbildung 22: Darstellung der Streckenbedeutung mit Quell- und Zielpotential (Sturm & Fellendorf, 2015)

Die unterschiedlichen Kreise in Abbildung 22 symbolisieren die in der Modellierung berücksichtigten Verkehrspotentiale 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 zum Beispiel 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 (Sturm & Fellendorf, 2015).

5 Maßnahmen im einzelnen Streckensegment

Der zweite Teil der Methodik zielt darauf ab Maßnahmen für Abschnitte schlechten Straßenzustandes abzuleiten. In einer übergeordneten Sichtweise soll bewertet werden, ob eine Investition zur Verbesserung des Zustandes gesamtwirtschaftlich argumentiert werden kann, der derzeit mangelhafte Zustand längerfristig beibehalten werden soll oder ob sogar Redimensionierungsmaßnahmen angestrebt werden sollen.

Im hochrangigen Netz kann angenommen werden, dass Einschränkungen an Straßen niedriger Bedeutung nach Kap. 4.4 verhältnismäßig geringe negative Auswirkungen nach sich ziehen. In vorliegender Problemstellung für das niederrangige Netz muss diese Annahme aus zwei wesentlichen Gründen nicht zwangsweise gelten. Einerseits können im niederrangigen Netz Maßnahmenvorschläge, wie z.B. Redimensionierungen, mit weitreichenden Auswirkungen für einzelne Verkehrsteilnehmer verbunden sein. Im hochrangigen Netz dagegen sind Redimensionierungen i.d.R. ohnehin kaum anzustreben, wodurch stark negative Auswirkungen für die Straßennutzer nicht zu erwarten sind. Andererseits gibt es im niederrangigen Netz große Unterschiede einzelner Abschnitte in Bezug auf die Umfahrbarkeit. Neben Erschließungsstraßen, die durch Anrainer zwingend benutzt werden müssen, existieren aufgrund der hohen Netzdichte (Kap. 1) auch Straßenabschnitte, die im Falle eines unzureichenden Straßenzustandes ohne nennenswerten Zeitverlust umfahren werden können (siehe dazu auch Kap. 4.1).

Aus diesem Grund ist es nicht ausreichend Auswirkungen von Maßnahmen für Nutzer einzig auf Basis der Straßenbedeutung nach Kap. 4.4 abzuleiten. Nachstehende Unterkapitel umfassen die Definition der Begriffe Maßnahmen, Strategie und Betrachtungszeitraum, die Ableitung möglicher Maßnahmenalternativen, die Beschreibung der Kostenbestandteile und Kostensphären, die Quantifizierung der Kosten und Nutzen sowie die Aggregation als Basis für netzweite Optimierungen. Der Begriff „Kosten“ impliziert hierbei jeweils auch Nutzenkomponenten.

In der Berechnung der einzelnen Kostenbestandteile konnte in vorliegender Methodik zum Teil auf die in Kap. 2.2.3 beschriebenen Verfahren zurückgegriffen werden. Da bestehende PMS in der Regel für höherrangige Straßennetze konzipiert sind, sind für den kommunalen Bereich Adaptierungen erforderlich.

Aufbauend auf den ersten Teil der Methodik (Abbildung 15) erfolgt, wie in Abbildung 23 dargestellt, die Ableitung unterschiedlicher Maßnahmen. Rechtskonformität, Substanzerhalt und Übereinstimmung mit Akzenten der Regionalplanung gelten dabei als Prämissen.

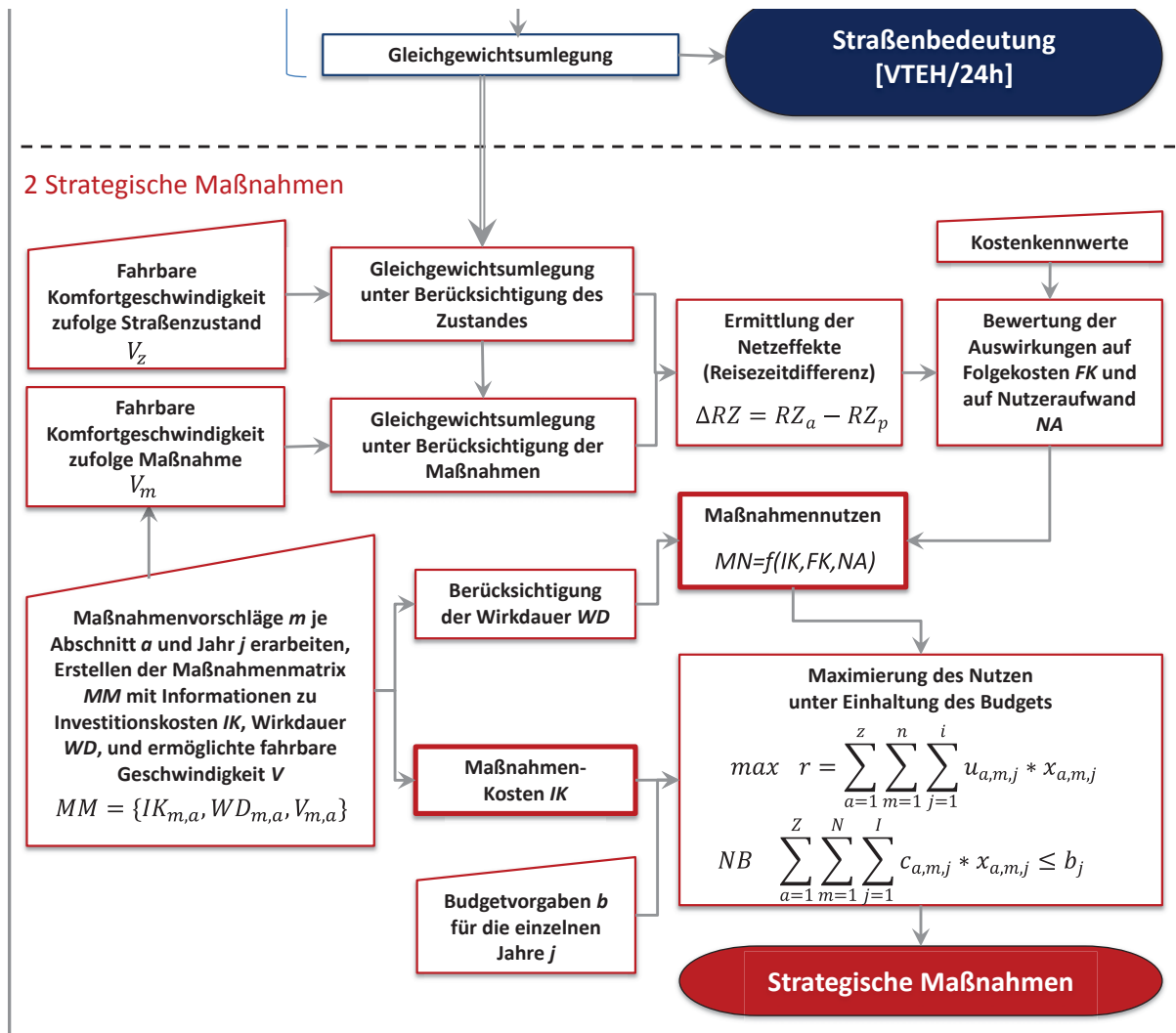


Abbildung 23: Systemüberblick – Methodik Teil 2: Strategische Maßnahmen

5.1 Struktur der Maßnahmenbewertung

Für schadhafte Stellen werden jedenfalls Maßnahmen zum Analysezeitpunkt t_0 gesetzt [Anm.: „Vorerst keine Maßnahme“ ist in diesem Kontext ebenfalls als Maßnahme (ohne einmalige Kosten) und einer bestimmten Wirkung zu verstehen], die Wirkung der Maßnahme erstreckt sich je nach Maßnahme jedoch bis zu einem bestimmten Zeitpunkt t in der Zukunft z.B. t_{30} . Zwischen t_0 und t werden in der Regel verschiedene Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen gesetzt.

Für die Entwicklung der Methodik in vorliegender Arbeit werden die Begriffe „strategische Maßnahme, (Einzel-)Maßnahme und Strategie wie in Abbildung 24 skizziert definiert. Wie in Kap. 1.3 festgelegt, finden lediglich Straßensegmente mit Substanzschäden Eingang in die Bewertung vorliegender Methodik. Zum Zeitpunkt der Analyse ist jedenfalls eine Maßnahmenentscheidung zu treffen, schließlich gilt das „Liegenlassen“, wie eingangs angeführt ebenfalls als Maßnahme. Da eine Maßnahme in die Zukunft wirkt und der „Nutzen“ durch Maßnahmen nur im Zusammenspiel mit passenden Folgemaßnahmen lukriert werden kann, ist es erforderlich realistische Annahmen für Folgemaßnahmen zu treffen. Wie in gängigen Erhaltungsmanagementsystemen beschrieben wird die Abfolge mehrerer Einzelmaßnahmen auch in vorliegender Arbeit als „Strategie“ bezeichnet. Die (Einzel-)Maßnahme, die zum Analysezeitpunkt eine ausgewählte Strategie einleitet, wird in

vorliegender Arbeit als „Strategie einleitende Maßnahme“ kürzer „Strategische Maßnahme“ bezeichnet.

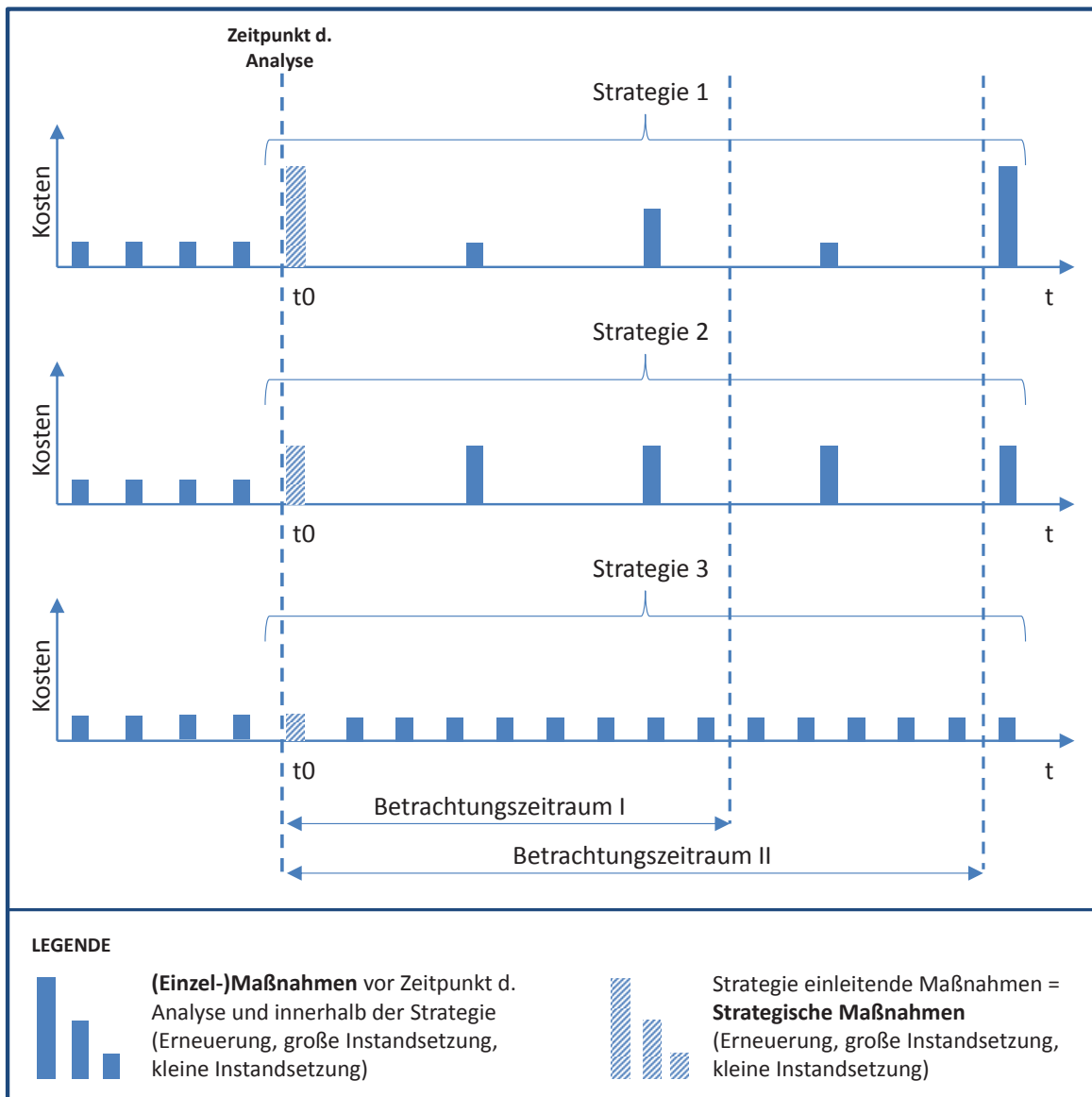


Abbildung 24: Definitionen zu Einzelmaßnahmen und Strategien

Um strategische Maßnahmen gesamtheitlich zu bewerten ist die Beachtung der Sphären Straßenerhalter, Straßennutzer und Dritte erforderlich.

Straßenerhalterkosten

Da das Ziel der vorliegenden Methodik darin besteht über die Verteilung des Budgets für Bestandssanierungen in die langfristige Entwicklung der Straßen- und Netzqualität einzugreifen, können Kosten des Straßenerhalters für Neubaumaßnahmen sowie den laufenden Betrieb außer Acht gelassen werden. Sicherheitsmaßnahmen zur Verhinderung von Gefahren für den Straßennutzer sind unverzüglich zu veranlassen und können somit ebenfalls nicht Teil des vorliegenden Maßnahmenoptimierungsprozesses sein. Zu berücksichtigen sind daher alle

Investitionskosten für Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen sowie die jeweiligen Folgekosten.

Straßennutzeraufwand

Bisherige Publikationen zum Thema Straßennutzerkosten beziehen sich in erster Linie auf höherrangige Straßennetze. Aus diesem Grund beschränken sich die Straßennutzerkosten zumeist auf Kosten aufgrund des schlechten Straßenzustandes (u.a. durch Reisezeitverlängerung, Fahrzeugbetriebskostenanstieg) und zufolge von Baustellen (u.a. Stau und Unfallkosten). Im Bereich der höherrangigen Straßennetze wird dabei kaum auf mögliche Netzeffekte (Kap. 2.2.3) eingegangen. Aufgrund der verhältnismäßig dichten Straßennetze im kommunalen, ländlichen Bereich ist jedoch mit der Nutzung von Ausweichrouten zufolge eines schlechten Straßenzustandes zu rechnen, weshalb Routenverlagerungen zusätzlich zu berücksichtigen sind. Aus rechtlicher Sicht gilt auf Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich die Beweislastumkehr, weswegen der Straßenzustand in der Regel auf einem hohen Niveau gehalten wird. Im niederrangigen Bereich kann es jedoch zu weitreichenderen Mängeln und somit zu höheren Reisezeitverlusten kommen. Entsprechende Kostenansätze finden sich unter anderem in den österreichischen RVS 02.01.22. Im Unterschied zum höherrangigen Netz ist auf ländlichen Gemeindestraßen in der Regel nicht mit Stau aufgrund von Baustellen zu rechnen. Auch die Unfallgefahr im Baustellenbereich ist aufgrund der geringeren Geschwindigkeiten und der einfachen Möglichkeit temporärer Sperren sehr gering und wird daher in der vorliegenden Methodik nicht explizit berücksichtigt.

In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „Nutzerkosten“ durch die Bezeichnung „monetarisierte Nutzeraufwand“ ersetzt, da es sich aus volkswirtschaftlicher Sicht nicht um reale Kosten handelt. Dabei werden zusätzliche Fahrzeiten und Weglängen für die Summe der Verkehrsteilnehmer bewertet.

Kosten für Dritte

Aufgrund von Verkehrsverlagerungen zufolge eines unzureichenden Straßenzustandes, kann es zu Änderungen der Umweltkosten (Lärm-, Klima- und Schadstoffkosten) kommen. Unter Berücksichtigung der Kostensätze aus den RVS 02.01.22 können die Kosten oder Nutzen für Dritte monetarisiert werden. Auch der induzierte Verkehr kann auf diese Weise bewertet werden. Auch hier sei erwähnt, dass es sich nicht um Kosten im Sinne der Volkswirtschaft, sondern um monetarisierte Effekte durch Beeinträchtigungen handelt.

5.2 Maßnahmenalternativen

Um Maßnahmenentscheidungen für schadhafte Straßensegmente zu ermöglichen, ist die Definition der Menge technisch realisierbarer Maßnahmen erforderlich.

$$M_a = \{m_1, m_2, m_3, m_{\dots}, m_n\} \quad (28)$$

Mit: M Maßnahmenmenge für den Abschnitt a
 m Technisch realisierbare Maßnahmen 1 bis n

Im Gegensatz zu dem in bestehenden Erhaltungsmanagementsystemen (siehe Kap. 2.2.2) herangezogenen und dem in Kap. 2.2.3 beschriebenen Maßnahmenportfolio ist in vorliegender Methodik das Spektrum der „Erhaltungsmaßnahmen“ erweitert. Neben Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen zur Verbesserung der Qualität des Bestandes werden auch Redimensionierungsmaßnahmen, wie zum Beispiel Umbau zu unbefestigter Straße oder Auflassungen, berücksichtigt, wobei hier in besonderem Maße Auswirkungen für Straßenbaulastträger und Straßennutzer Rücksicht zu nehmen ist. Auch das „Liegenlassen“ wird als mögliche Maßnahme berücksichtigt.

Erhaltungsmaßnahmen in bestehenden Managementsystemen (Kap. 2.2.2) werden in erster Linie anhand der Investitionskosten sowie der Auswirkungen auf den Zustandsverlauf, die Restlebensdauer und letztendlich die Lebenszykluskosten unterschieden und kategorisiert. In fortschrittlichen PMS (in der Regel für das hochrangige Straßennetz) werden zusätzlich Auswirkungen auf die Nutzer durch einen schlechten Straßenzustand sowie durch Baustellen berücksichtigt. In den meisten konventionellen Systemen werden Eingriffsschwellen (ES, Abbildung 25) berücksichtigt, die nach Möglichkeit nicht zu unterschreiten sind. Wie in Abbildung 25 ersichtlich, skizziert die strichlierte Funktion eine natürliche Verschlechterung des Zustandes ohne Eingriff. Die beiden anderen Funktionen stellen Zustandsverläufe zufolge unterschiedlicher Erhaltungsstrategien skizzenhaft dar. Auf Basis derartiger Vergleiche werden in konventionellen Erhaltungsmanagementsystemen Lebenszykluskosten errechnet und Maßnahmenstrategien hinsichtlich ihres Nutzens bewertet. Dazu können wie in Kap. 2.2.3 erläutert monetarisierte und nicht-monetarisierte Verfahren angewandt werden.

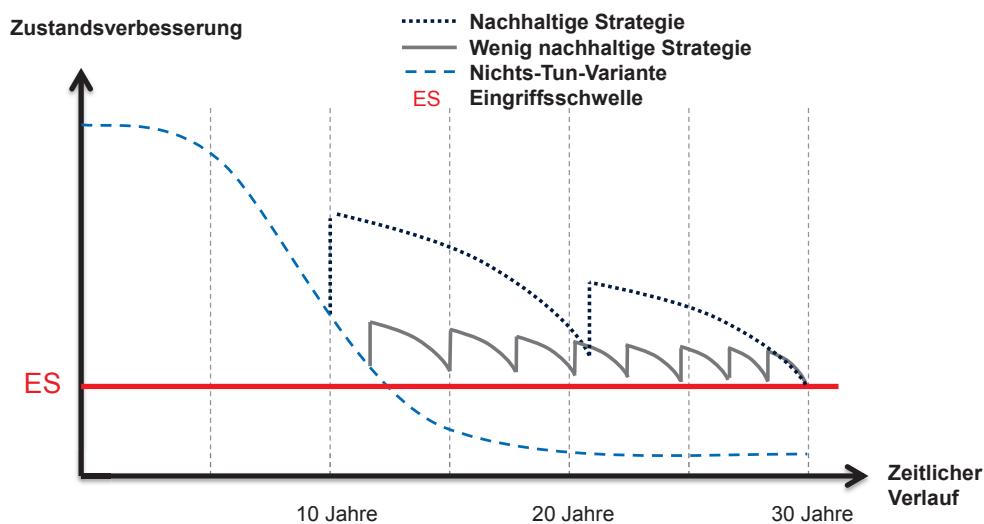


Abbildung 25: Schematischer Vergleich unterschiedlicher Erhaltungsstrategien (Eigene Darstellung auf Basis Kap. 2.2.4)

Um punktuell Anpassungen der Infrastruktur an den sich ändernden Bedarf ermöglichen zu können, werden in vorliegender Methodik unter Berücksichtigung der gesetzlichen Vorgaben (Kap. 2.1) auch Strategien verfolgt, die ein kurzfristiges oder auch dauerhaftes Unterschreiten üblicherweise definierter Zustandsschwellen ebenfalls berücksichtigt. Auf diese Weise werden entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit punktuelle Einsparungen auf Straßen geringer Bedeutung, Konzentration auf die „Lebensadern“ ländlicher Regionen sowie eine nachhaltige Entwicklung des Kernnetzes

ermöglicht. Tabelle 12 zeigt eine Gegenüberstellung der Grundlagen, Eigenschaften und Einsatzbereiche von Maßnahmen in konventionellen PMS oder EMS im Vergleich zu den strategischen Maßnahmen in vorliegender Arbeit.

Tabelle 12: Maßnahmen konventionell und bedarfsorientiert

Merkmal	Konventionell (Kap. 2.2.2)	Bedarfsorientiert (vorliegende Methodik)
Zeitpunkt und Art der Maßnahme	Vorrangig vom technischen Zustand abhängig	Vorrangig von der Straßenbedeutung abhängig
Anpassung an Bedarf möglich?	Nein	Ja
Einschränkungen für Nutzer planmäßig berücksichtigt?	Nein	Ja, auf Straßen geringer Bedeutung
Einsatzbereich	Höherrangiges Netz, geringe Bedeutungsunterschiede	Niederrangiges Netz, große Bedeutungsunterschiede
Konstante Elemente	Eingriffsschwelle , Budget	Budget
Variable Elemente	Zeitpunkt der Maßnahme, Wirkung der Maßnahme	Eingriffsschwelle , Zeitpunkt der Maßnahme, Wirkung der Maßnahme

Die in Kap. 2.2.3 angeführten konventionellen Maßnahmen, wie zum Beispiel Flickstellensanierung, Deckschichtmaßnahmen, Tragschichterneuerung oder generelle Erneuerung werden auch in vorliegender Methodik berücksichtigt. Ein wesentlicher Unterschied zu konventionellen Systemen liegt in der Erweiterung des Maßnahmenspektrums um Maßnahmen mit geplanten Einschränkungen für die Nutzer. Einschränkungen für Straßennutzer erfolgen beispielsweise durch:

- Änderung der Belagsart: von Asphalt zu unbefestigtem Belag (i.d.R. nur für Hofzufahrten in ebenem Gelände)
- Reduktion der Breite
- Vorgeschriebene Geschwindigkeitsreduktion
- Auflassung oder Sperre eines Straßensegmentes für den öffentlichen Verkehr

In Abbildung 25 wurden mit der „nachhaltigen Strategie“ und dem in der Praxis oft zu findenden „Fleckerlteppich“ zwei Maßnahmenstrategien der konventionellen Art skizziert. Abbildung 26 zeigt den Vergleich der wenig nachhaltigen Strategie mit einer nachhaltigen Strategie des bedarfsorientierten Ansatzes. Für die Darstellung wurde angenommen, dass für das betrachtete Streckensegment eine Belagsänderung von Asphalt auf unbefestigten Belag erfolgt, wodurch der Zustandslevel bewusst gesenkt wird. Durch die Belagsänderungen fallen, unter geringer Verkehrsbelastung im ebenen Gelände, reduzierte Folgekosten an. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Variante „Liegenlassen“ unter Warnhinweisen. Auch hier sinkt der mittlere Zustand, Erhaltungsaufwände können jedoch auf ein Mindestmaß reduziert werden.

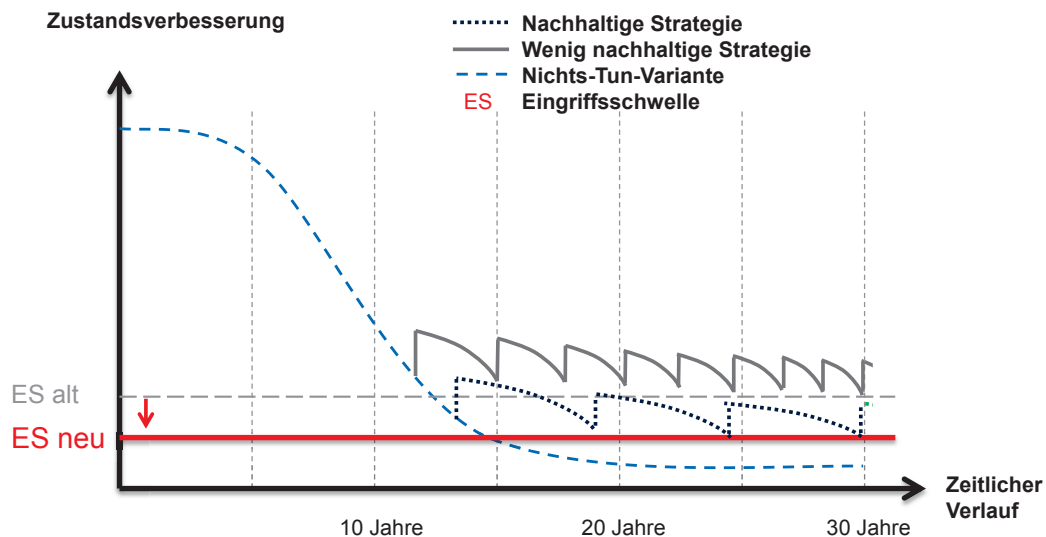


Abbildung 26: Schematischer Vergleich unterschiedlicher Erhaltungsstrategien, bedarfsorientierter Ansatz

Wie in Kap. 2.2.4 beschrieben führen Qualitätsreduktionen (Beibehaltung von Schäden, Belagsänderungen) und somit Einschränkungen (Geschwindigkeitsreduktionen, Warnhinweise) für den Verkehr im Falle von verstrichener technischer Lebensdauer sowohl kurz-, als auch langfristig zu Lebenszykluskostenreduktionen. Der Kostenverlauf für Maßnahmen unter Berücksichtigung von Einschränkungen ist i. d. R. flacher. Durch Verschiebungen mittels „Liegenlassen“ kommt es über längere Sicht ebenfalls zu geringeren, kumulierten Kosten. Über die im Kap. 2.2.3 beschriebene Kapitalwertmethode ist die Kostenbewertung und ein direkter Vergleich unterschiedlicher Strategien möglich.

5.3 Vergleich unterschiedlicher Strategien

Die Beantwortung der Frage nach der „günstigsten“ Lösung ist nicht eindeutig. Welche Maßnahme am günstigsten ist, hängt vom Betrachtungszeitraum und der Art sowie dem Zeitpunkt der einzelnen getätigten Investitionen ab. In der Praxis sind derartige Ergebnisse zusätzlich von der Anfangsqualität, den Zustandsentwicklungen sowie den gegebenen Verkehrsbelastungen abhängig.

Ziel vorliegender Methodik ist es nicht einzelne Maßnahmen über Zustandsverläufe im Sinne des Erhaltungsmanagements (Kap. 2.2) zu prognostizieren, sondern im Falle von strukturellen Straßenschäden strategische, nachfrageorientierte Entscheidungen für betroffene Straßenabschnitte zu ermöglichen. Neben Maßnahmen zur Erneuerung des betroffenen Abschnittes gilt es mögliche Redimensionierungsmaßnahmen und Einschränkungen für Straßennutzer als Maßnahmenalternativen zu evaluieren (siehe Kap. 1.3). Wie in Kap. 5.1 erläutert werden strategieeinleitende Maßnahmen zum Zeitpunkt der Analyse ausgewählt. Für die Bewertung des Nutzens sind jedoch Bewertungen der Strategie über einen Betrachtungszeitraum erforderlich.

Durch die Summe verschiedener Gegenwartswerte der Maßnahmen über die Zeit ergibt sich wie in Kap. 2.2.3 näher erläutert eine Maßnahmenstrategie.

$$K_{0,t,m} = K_{t,m} * \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{-n} \text{ mit } n = t - t_0 \quad (29)$$

- Mit: $K_{0,t,m}$ Gegenwartswert zu Zeitpunkt t_0 der Maßnahme m aus dem Jahr t
 $K_{t,m}$ Kosten der Maßnahme m im Jahr t
 p Zinsfuß [%]
 t Zeitpunkt der Maßnahme m [Jahr]
 t_0 Beginn der Analyse [Jahr]

$$K_{0,t,MS} = \sum_n K_{0,t,m} \text{ mit } n = t - t_0 \quad (30)$$

- Mit: $K_{0,t,MS}$ Gesamtgegenwartswert zum Zeitpunkt t_0 der Maßnahmenstrategie MS
 $K_{0,t,m}$ Gegenwartswert zum Zeitpunkt t_0 der Maßnahme m aus dem Jahr t

Über einen längeren Betrachtungszeitraum von zum Beispiel 30 Jahren ergibt sich aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen und Folgemaßnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durch kombinatorische Aneinanderreihung eine Vielzahl möglicher Erhaltungsstrategien für einen einzigen Abschnitt.

Es besteht die Möglichkeit Maßnahmenkosten unter Anwendung der Formeln (29) und (30) für unterschiedliche Strategien zu ermitteln. Grundvoraussetzung dafür ist die Kenntnis der unterschiedlichen Maßnahmenzeitpunkte. Diese Vorgangsweise entspricht der gängigen Straßenerhaltung in Kap. 2.2.

Dazu werden für jeden betrachteten Anlagenabschnitt a in Form eines Maßnahmenkostenplanes Kosten c für Maßnahmen über den Betrachtungszeitraum (i.d.R. 30 Jahre) in Jahren j für jede mögliche Maßnahmenstrategie dokumentiert. Dabei werden Investitionskosten (Erneuerungen und Instandsetzungen), laufende Kosten (laufende Instandhaltung) und in weiterer Folge auch der monetarisierte Nutzeraufwand berücksichtigt (siehe dazu Kap. 5.4 und 5.5).

Tabelle 13: Maßnahmenkostenplan für einzelne Straßenabschnitte

		Jahr im Lebenszyklus der Anlage a				
		1	2	3	...i	j
Maßnahmenstrategie	1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	... c_{1i}	c_{1j}
	2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	... c_{2i}	c_{2j}
	3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	... c_{3i}	c_{3j}
	...n	... c_{n1}	... c_{n2}	... c_{n3}	... c_{ni}	... c_{nj}
	m	c_{m1}	c_{m2}	c_{m3}	... c_{mi}	c_{mj}

Sollten Datengrundlagen zu Kostendetails und exakten Wirkdauern im kommunalen Bereich nicht in ausreichender Qualität sowie erfahrene Experten zur Abschätzung dieser Werte verfügbar sein, ist es entsprechend der Zielsetzung für eine bedarfsorientierte Erhaltung ausreichend eine makroskopische Sichtweise in der Maßnahmenableitung einzunehmen. In dieser Sichtweise werden nicht Zustände vorhergesagt und auf dieser Grundlage Einzelmaßnahmen über den Lebenszyklus je

strukturgeschädigten Abschnitt abgeleitet, sondern, ähnlich wie nach Li et al. (1997) Standard-Strategien definiert.

Abbildung 27 zeigt fünf (Maßnahmenstrategien A bis E), in Bezug auf die Auswirkungen auf Verkehrsteilnehmer und Lebenszykluskosten klar unterscheidbare, Maßnahmenstrategien auf.

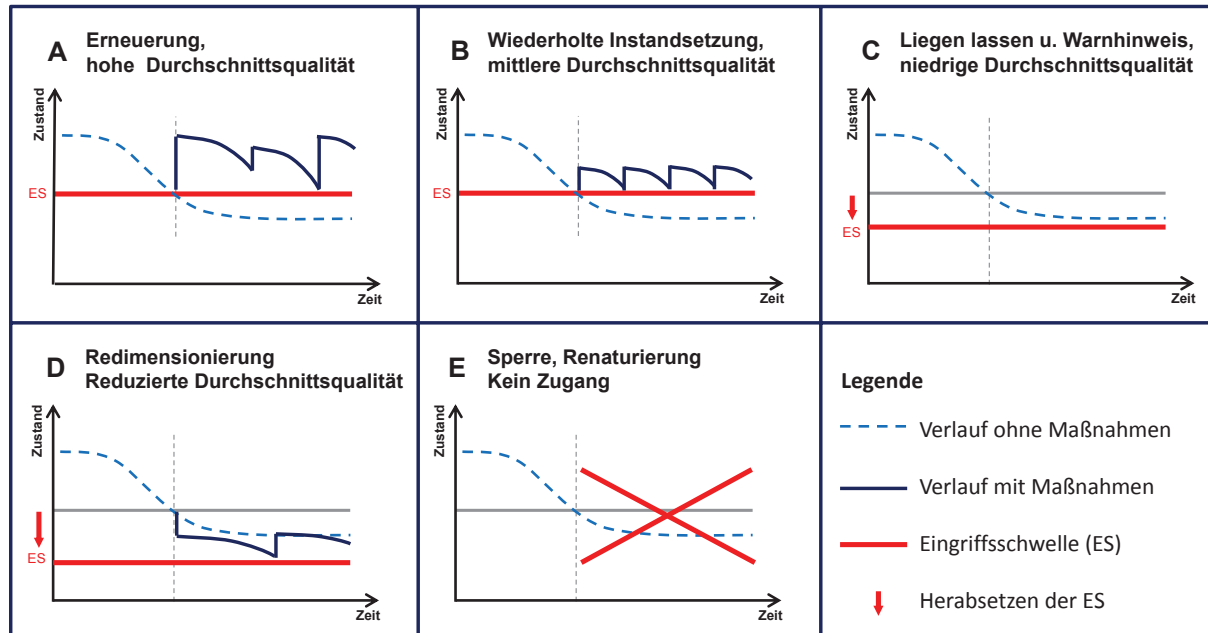


Abbildung 27: Standardmaßnahmen in makroskopischer Sichtweise

Nachstehend werden die einzelnen Maßnahmenstrategien aus makroskopischer Sichtweise näher erläutert:

- **A:** Die Qualität wird durch Erneuerungsmaßnahmen langfristig angehoben und durch angemessene laufende Erhaltung beibehalten. Diese Strategie ermöglicht im Vergleich zu mangelhaften Straßenabschnitten höhere Geschwindigkeiten. Dies führt zu Auswirkungen für Verkehrsteilnehmer zufolge Fahrzeitreduktion und gegebenenfalls zu Verkehrsverlagerungen sowie zu Änderungen in Auswirkungen für Dritte.
- **B:** Die Qualität wird durch wiederholte Instandsetzungsmaßnahmen immer wieder kurzfristig angehoben und ermöglicht im Vergleich zu mangelhaften Straßenabschnitten höhere Geschwindigkeiten. Dies führt zu Auswirkungen für Verkehrsteilnehmer zufolge Fahrzeitreduktion und gegebenenfalls zu Verkehrsverlagerungen sowie zu Änderungen in Auswirkungen für Dritte.
- **C:** Die Qualität wird durch einfaches „Liegenlassen“ nicht verbessert. Straßenpolizeiliche Maßnahmen sind erforderlich. Dies führt zu geringen Auswirkungen für Verkehrsteilnehmer zufolge Fahrzeiterhöhung und gegebenenfalls zu Verkehrsverlagerungen sowie zu Änderungen in der Auswirkung für Dritte.
- **D:** Die Qualität wird durch Redimensionierungsmaßnahmen (z.B. Verringerung des Querschnittes oder Belagsänderung) verringert. Abhängig von den örtlichen Gegebenheiten

müssen Geschwindigkeitsbeschränkungen angeordnet werden. Dies führt zu Auswirkungen für Verkehrsteilnehmer zufolge Fahrzeiterhöhung und gegebenenfalls zu Verkehrsverlagerungen sowie zu Änderungen in Auswirkungen für Dritte.

- **E:** Die Qualität wird durch Totalsperre oder Renaturierung verringert. Straßenpolizeiliche Maßnahmen sind erforderlich. Dies führt i. d. R. zu größeren Auswirkungen für Verkehrsteilnehmer zufolge Fahrzeiterhöhung und gegebenenfalls zu Verkehrsverlagerungen sowie zu Änderungen in Auswirkungen für Dritte.

Innerhalb vorliegender Methodik werden die verschiedenen Maßnahmenstrategien durch die „Strategie einleitende Maßnahme“ angestoßen und in der Bewertung der Maßnahmenvorschläge berücksichtigt; d.h. eine gesetzte Maßnahme leitet jeweils eine Strategie über den theoretischen Lebenszyklus (von z.B. 30 Jahren) ein. Dabei werden alle technisch realisierbaren Maßnahmen je Straßenabschnitt aufgelistet und hinsichtlich ihrer Investitionskosten, Wirkdauern und fahrbaren Komfortgeschwindigkeiten bewertet.

Da auch Redimensionierungen, Rückbaumaßnahmen und Verkehrssperren Teil des Maßnahmenspektrums sind, ist auf Auswirkungen für die Verkehrsteilnehmer in besonderem Maße Rücksicht zu nehmen. Es kann abgeleitet werden, dass in dieser Methodik aus den Auswirkungen der unterschiedlichen Maßnahmen sowohl positive als auch negative Effekte für Menschen, Raum und Umwelt hervorgehen. Aus diesem Grund untergliedert sich der Begriff Auswirkungen in diesem Zusammenhang auch in „Nutzen“ und „Schaden“ von Maßnahmen. Neben Maßnahmen- und Folgekosten sind daher auch Auswirkungen für die Nutzer zu berücksichtigen.

Nachstehende Tabelle zeigt im Zusammenhang mit den Maßnahmentypen aus der Abbildung 27 die positiven und negativen Wirkungen auf Maßnahmenkosten, Folgekosten, Auswirkungen für Nutzer auf.

Tabelle 14: Qualitative Einschätzung der Maßnahmen in Bezug auf Auswirkungen

Maßnahme	Auswirkungen auf die kalkulatorische Abschreibung	Auswirkungen auf Folgekosten	Auswirkung auf Nutzer
A Erneuerung	negativ	positiv	positiv
B Instandsetzung	negativ	positiv	positiv
C Warnhinweis	keine	positiv	negativ
D Redimensionierung	negativ	positiv	negativ
E Sperre	keine	positiv	negativ

Zur Quantifizierung der kalkulatorischen Abschreibung und der Folgekosten wird entweder auf Kostenkennwerte (Kap. 2.2.3) zurückgegriffen oder die Abschätzung erfolgt durch Generierung von Maßnahmenkostenplänen (Tabelle 13) durch erfahrene Experten. Auswirkungen auf Nutzer hingegen werden wie in Kap. 5.4.3 mittels des im ersten Teil der Methodik entwickelten Verkehrsnachfragemodells bewertet.

5.4 Kosten- und Nutzenquantifizierung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Quantifizierung und Monetarisierung der Wirkung von Maßnahmen getrennt für folgende Kostenbereiche:

- Investitionskosten der Maßnahme
- Folgekosten für den Straßenerhalter
- Monetarisierter Nutzeraufwand
- Kosten für Dritte

5.4.1 Investitionskosten der Maßnahme

Investitionskosten der Maßnahme beinhalten sämtliche Personal-, Material-, Geräte- und Nebenkosten, die zur sachgemäßen Umsetzung geplanter Maßnahmen erforderlich sind. Sie fallen im Zuge der Maßnahmenumsetzung an und sind daher im Budget des Jahres der Umsetzung zu berücksichtigen. Für einzelne Maßnahmen sind Maßnahmenkosten im Zuge der Detailkalkulation zu spezifizieren. Dabei sind der abschnittsbezogene Zustand, Querschnittsabmessungen und der jeweilige Straßenaufbau aus der Dimensionierung zu berücksichtigen. Letzterer ist maßgeblich von der Verkehrsbelastung und -zusammensetzung abhängig und entsprechend der RVS 03.08.63 zu berechnen.

Neben der Möglichkeit der Detailkalkulation können auch Kostenkennwerte zur Bewertung der unterschiedlichen Maßnahmenalternativen herangezogen werden. Diese Kostenkennwerte entstammen i. d. R. von Nachkalkulationen. Auch bei Anwendung von Kostenkennwerten wird empfohlen die angesetzten Kosten, wenn erforderlich, an die jeweils zu bewertende Situation samt allen Gegebenheiten anzupassen. Im Kap. 2.2.3 sind beispielhaft Werte für Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen angeführt. Die Gesamtkosten einer Maßnahme werden auf Basis der Einheitskostenkennwerte und den entsprechenden Abmessungen ermittelt:

$$IK_m = EHK_m * l * b \quad (31)$$

Mit:	IK_m	Investitionskosten der Maßnahme m [€]
	EHK_m	Einheitskostenkennwert für die Maßnahme m [€/m ²]
	l	Länge des betroffenen Abschnittes [m]
	b	Fahrbahnbreite [m]

5.4.2 Folgekosten für den Straßenerhalter

Unter Folgekosten des Straßenerhalters sind in dieser Arbeit laufende Instandhaltungskosten, wie zum Beispiel das Vergießen von Rissen oder Verfüllen von Schlaglöchern aber auch kleinere Instandsetzungen zu verstehen. Wie in Kap. 2.2.4 geschildert, haben geringe Maßnahmenkosten häufig hohe Instandhaltungskosten zur Folge und umgekehrt. Entsprechend der Informationen aus Kap. 2.2.3 wird auf kommunaler Ebene durchschnittlich mit 1.700 €/km an Instandhaltungskosten gerechnet. Ob der reale für Instandhaltung aufgewendete Betrag im Jahr tatsächlich in diesem Bereich liegt, hängt von den Querschnittsabmessungen, im Wesentlichen jedoch vom Zustandsverlauf des betrachteten Streckenabschnittes ab. Der Zustandsverlauf ist wiederum von der

Qualität der Bauausführung, der Witterung, der Wartungsintensität und der Belastung abhängig. Die größte Abhängigkeit besteht jedoch zwischen der Instandhaltungsintensität und der gewählten Instandsetzungsmaßnahme. Erfahrungsgemäß kann davon ausgegangen werden, dass eine zu kurz gegriffene Erhaltungsmaßnahme ein Vielfaches an Instandhaltungskosten verursacht. Die aktuelle Datenlage zeigt in diesem Bereich großes Forschungspotential. In den Beispielen der vorliegenden Arbeit werden Folgekosten je Abschnitt in Abhängigkeit der getroffenen Maßnahme und der jeweiligen Gesamtsituation (z.B. Verkehr, Witterung) abgeschätzt.

5.4.3 Nutzeraufwand

Tendenziell können an Straßen mit größerer Bedeutung größere Auswirkungen (Nutzen oder Schaden) durch Maßnahmen erwartet werden. Wie in Kap. 4.1, Abbildung 13 aufgezeigt, ist der Grad der Auswirkungen durch Maßnahmen nicht nur von der Bedeutung der Straßen abhängig, sondern wird insbesondere durch den Zustand der bewerteten Straße und den Netzeffekten bestimmt. Eine Bewertung der Maßnahmen fordert daher zusätzlich zu den Ergebnissen aus Kap. 4.4 und den Maßnahmenvorschlägen weitere Informationen zum Straßenzustand und zu fahrbaren Komfortgeschwindigkeiten zufolge des Straßenzustands. In diesen Maßnahmenvorschlägen sind verschiedene technisch realisierbare Maßnahmenvorschläge für verschiedene Straßensegmente entsprechend ihres Zustands auszuarbeiten. Da für ein Straßensegment schlechten Zustands 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 (Sturm & Fellendorf, 2015).

Für die tatsächliche Bewertung einzelner Maßnahmen werden einem gegenständlichen Basisfall a einzelne Prognosefälle b, c und d gegenübergestellt. Die Anzahl der möglichen Prognosefälle ist von dem aus bautechnischer Sicht umsetzbaren Maßnahmenspektrum abhängig. In der Berechnung der Ergebnisse kann wiederum auf das Verkehrsmodell aus dem ersten Teil der Methodik zurückgegriffen werden. Dieses Modell wird um die Informationen des Straßenzustandes erweitert, was im Fall a (Abbildung 28) an der gekennzeichneten eingekreisten Stelle zu verringerten Geschwindigkeiten V_{Zustand} aufgrund des Zustandes führt. Zur Bestimmung von V_{Zustand} gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten. Einerseits kann die durch den vorliegenden Straßenzustand verringerte fahrbare Geschwindigkeit V_{fahrbar} beispielsweise auf Basis von IRI-Werten indirekt abgeleitet werden [Kap. 2.2.3 (Nutzerkostenbewertung)]. Die Erfassung netzweiter IRI-Werte auf Gemeindestraßenebene ist aufgrund der bestehenden Netzlängen jedoch mit hohem Aufwand verbunden. Zudem konnten im Zuge der Literaturrecherche keine für österreichische Gemeindestraßen spezifizierten IRI-Geschwindigkeitsdiagramme gefunden werden. Als Alternative dazu kann vereinfacht auf die Erfassung durch Referenzfahrzeuge zurückgegriffen werden (Kap. 2.2.3), um fahrbare Geschwindigkeiten V_{fahrbar} bewerten zu können. Die zweite Möglichkeit um V_{Zustand} zu erhalten ist es auf $V_{\text{zulaessig}}$ zurückzugreifen. Aufgrund der in Kap. 2.1.1 beschriebenen rechtlichen Situation, sind Anpassungen der Geschwindigkeit der Straßennutzer an den Straßenzustand straßenpolizeilich mittels Geschwindigkeitsbeschränkungen auf zulässige, dem Zustand angepasste Geschwindigkeiten $V_{\text{zulaessig}}$ vorzunehmen. Sollten sowohl Werte zu fahrbaren Geschwindigkeiten V_{fahrbar} als auch zu zulässige Höchstgeschwindigkeiten $V_{\text{zulaessig}}$ vorliegen, gilt:

$$V_{\text{Zustand}} = \min(V_{\text{zulaessig}}; V_{\text{fahrbar}}) \quad (32)$$

- Mit: V_{Zustand} Geschwindigkeit zufolge des jeweiligen Zustandes
 $V_{\text{zulaessig}}$ Straßenpolizeilich geregelte, zulässige Höchstgeschwindigkeit (aufgrund des Zustands)
 V_{fahrbar} Fahrbare Geschwindigkeit über IRI oder Referenzfahrzeuge

Eine Maßnahme zur Behebung der Mängel (Abbildung 28, Fall b) zieht eine Verringerung der Belastung an Alternativrouten nach sich (Sturm & Fellendorf, 2015).

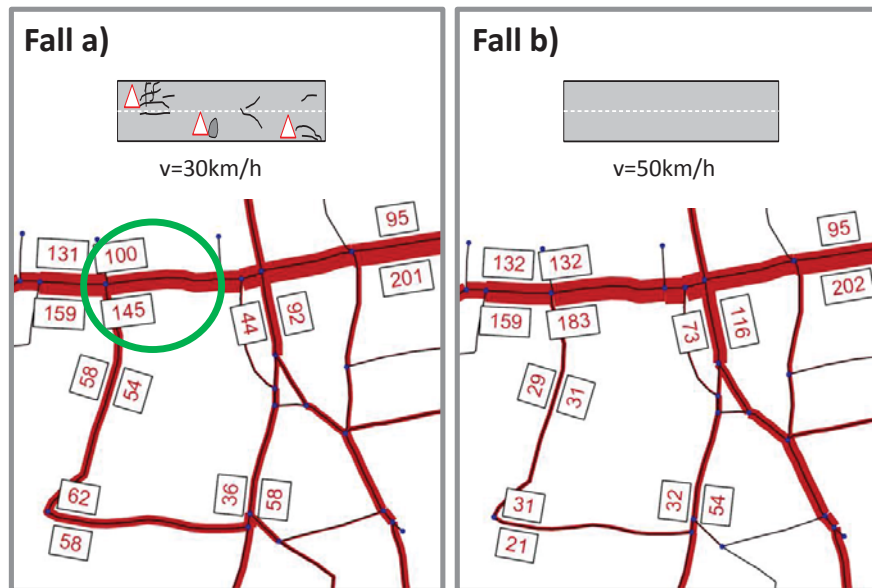


Abbildung 28: Basisszenario und Szenario „Instandsetzungsmaßnahme“ (Sturm & Fellendorf, 2015)

Als gegensätzliches Beispiel wurde in Abbildung 29, 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 aufgrund einer Totalsperre des betroffenen Streckensegmentes berechnet (Abbildung 29, Fall d). Erwartungsgemäß tritt eine vollständige Verlagerung des Verkehrs auf Alternativrouten ein (Sturm & Fellendorf, 2015).

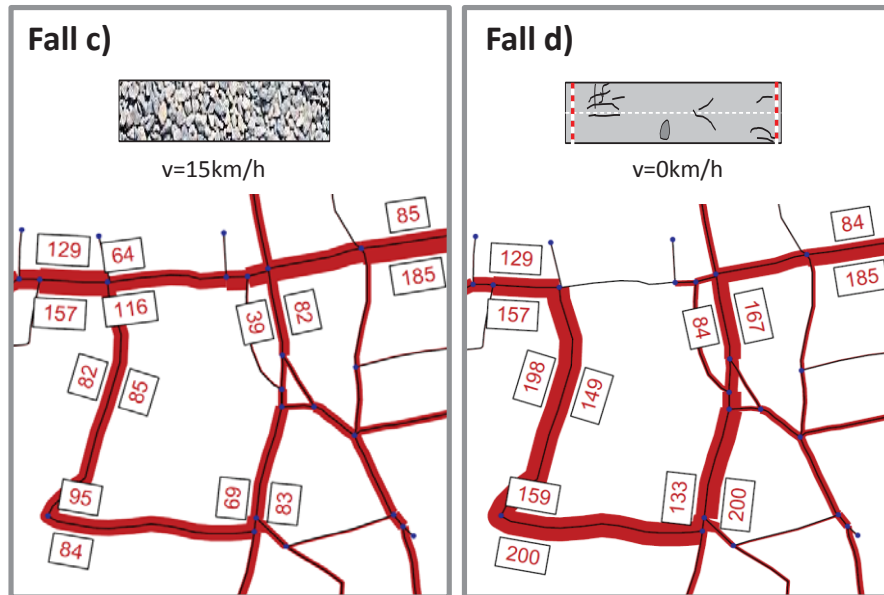


Abbildung 29: Szenarien „Schotterbelag“ und „Sperre“

Dieses Experiment mit der Berücksichtigung des Straßenzustandes und der insgesamt drei möglichen Szenarien durch Maßnahmen soll einerseits die Netzeffekte verdeutlichen und andererseits zeigen, dass auf diese Weise über Verkehrsmodelle Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf Reisezeit (RZ) und Wegelängen (WL) ermittelbar sind.

$$\Delta RZ = RZ_a - RZ_p \quad (33)$$

Mit: ΔRZ Reisezeitdifferenz aufgrund Maßnahme [h/a]
 RZ_a Reisezeit im Basisfall a (ohne Maßnahme) [h/a]
 RZ_p Reisezeit im Prognosefall (mit Maßnahme) [h/a]

Analog gilt:

$$\Delta WL = WL_a - WL_p \quad (34)$$

Mit: ΔWL Wegelängendifferenz aufgrund Maßnahme [km/a]
 WL_a Wegelänge im Basisfall a (ohne Maßnahme) [km/a]
 WL_p Wegelänge im Prognosefall (mit Maßnahme) [km/a]

Über Kostenansätze aus Richtlinien für Nutzen-Kosten-Untersuchungen, wie beispielsweise der österreichischen Richtlinie RVS 02.01.22 (Anhang C.1), wird auf Basis der Reisezeitdifferenzen aus dem Modell der monetarisierte Zeitaufwand bestimmt. Der Zeitkostensatz wird hierbei über die jeweiligen Anteile des Geschäfts-, Pendler- und Berufsverkehrs gemittelt.

$$ZKS_m = p_{Ge} * ZKS_{Ge} + p_{Pe} * ZKS_{Pe} + p_{Fr} * ZKS_{Fr} \quad (35)$$

$$ZA = \Delta RZ * ZKS_m \quad (36)$$

Mit:	ZKS _m	Zeitkostensatz Mischwert [€/h]
	ZKS _{Ge}	Zeitkostensatz Geschäftsverkehr [€/h]
	ZKS _{Pe}	Zeitkostensatz Pendlerverkehr [€/h]
	ZKS _{Fr}	Zeitkostensatz Freizeitverkehr [€/h]
	p _{Ge}	Anteil Geschäftsverkehr [%]
	p _{Pe}	Anteil Pendlerverkehr [%]
	p _{Fr}	Anteil Freizeitverkehr [%]
	ZA	Monetärer Zeitaufwand [€/a]
	ΔRZ	Reisezeitdifferenz [h/a]

Nachdem sich in vorliegender Methodik die Bewertung des monetären Nutzeraufwandes (NA) auf die Zeitkosten (ZA) beschränkt, gilt:

$$NA = ZA \quad (37)$$

Fahrzeugbetriebskosten für zusätzlich zurückgelegte Wege sind Teil des Nutzeraufwandes und können über Wegelängendifferenzen ΔWL und Anwendung entsprechender Bewertungsmodelle, beispielsweise der österreichischen Richtlinie RVS 02.01.22, ebenfalls ermittelt werden.

5.4.4 Kosten für Dritte

Neben den oben erläuterten Zeitkosten, können auch Klima-, Schadstoff- und Lärmkosten auf Basis der Wegelängendifferenz (ΔWL) im Verkehrsmodell und unter Berücksichtigung der Kostenansätze und Berechnungsformeln aus den RVS 02.01.22 bestimmt werden.

5.4.5 EXKURS: Wechselwirkungen ausgewählter Maßnahmen im Netz

Wie in Kap. 5.4.1 beschrieben sind die zu berücksichtigenden Investitionskosten von der Verkehrsbelastung des bewerteten Abschnittes abhängig. Die Belastung ist wiederum vom Zustand und den dadurch fahrbaren Geschwindigkeiten auf der betrachteten Strecke sowie allen Alternativrouten abhängig und kann sich daher je nach ausgewählter Maßnahme an Alternativrouten ändern. Ähnliches gilt für Folgekosten (Kap. 5.4.2), auch diese sind vom Zustandsverlauf und somit von der Belastung abhängig. Wie bereits bei den Maßnahmenkosten sind auch hier Wechselwirkungen mit Maßnahmen an Alternativrouten möglich. Auch der Nutzeraufwand (Kap. 5.4.3) und die Kosten für Dritte (Kap. 5.4.4) ändern sich in Abhängigkeit von Maßnahmen an Alternativrouten. Verlangsamende Maßnahmen an zwei parallelaufenden Straßen können somit Nachteile verstärken, da aufgrund des Wegfalls der günstigsten Alternativroute durch Verkehrsteilnehmer möglicherweise größere Umwege gewählt werden. Im umgekehrten Sinne sind auch positive Verstärkungen der Wirkungen denkbar.

Es wird festgehalten, dass Kosten und Nutzen von Maßnahmen nicht nur von den gegebenen Rahmenbedingungen am betrachteten Straßensegment abhängig sind. Es kann zu Abhängigkeiten von an anderen Abschnitten getroffenen Maßnahmen kommen. Einschränkungen an einem Straßensegment können zu Verkehrsverlagerungen und somit zu veränderter Verkehrsbelastung auf anderen Segmenten führen. Veränderte Verkehrsbelastung hat, wie in Abbildung 30 ersichtlich,

Auswirkungen auf die Instandhaltungskosten und den Nutzeraufwand (zusätzliche Reisezeiten) zur Folge.

Werden Maßnahmenauswirkungen für jede Maßnahme separat und somit ohne Berücksichtigung von Wechselwirkungen ermittelt, ist das Ergebnis jedenfalls für Straßen ohne Verbindungsfunktion (Erschließungs-, und Sammelstraßen) korrekt. Für Verbindungsstraßen ist das Ergebnis jedenfalls dann korrekt, wenn ausschließlich für ein einzelnes Straßensegment innerhalb der wechselwirkenden Straßen (z.B. parallellaufenden Verbindungsstraßen) Maßnahmenvorschläge analysiert werden.

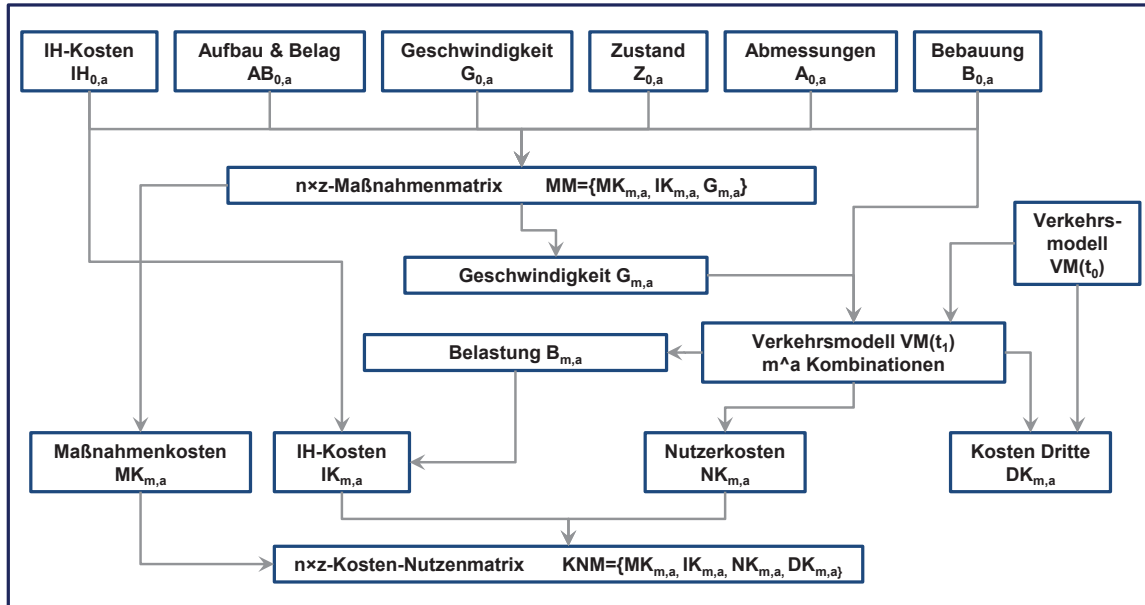


Abbildung 30: Nutzenkomponenten: Einflüsse und Wechselwirkungen

In der Analyse der Verletzlichkeit von Straßennetzen werden ähnliche Überlegungen angestellt. Im Falle von Naturkatastrophen können mehrere Straßensegmente gleichermaßen betroffen sein (Kap. 3.5).

Während in der Arbeit von Erath (2011) ausschließlich das „Vorhandensein“ von Verkehrsverbindungen untersucht wird, gilt es in vorliegender Arbeit jedoch verschiedene Abstufungen je Straßensegment zu berücksichtigen. Neben vollständigen Erneuerungen und Rückbaumaßnahmen gelten das „Liegenlassen“ oder die Änderung der Belagsart als mögliche Maßnahmenvarianten je Straßensegment. Aufgrund der erhöhten Maßnahmenvarianten kommt es zu einer maßgeblich höheren Anzahl an Variationen. Für 15 Abschnitte ergeben sich nach Formel (49) bei vier Varianten über 1 Mio. Möglichkeiten, während bei zwei Varianten (Verbindung vorhanden oder nicht) 32.768 Möglichkeiten zu berücksichtigen sind. Auch ist es für vorliegende Problemstellung im Vergleich zur Verletzlichkeitsanalyse nicht möglich gering belastete Abschnitte von der Analyse auszunehmen. Auch für Wege mit geringer Verkehrsbelastung gilt es entsprechende Maßnahmen zu setzen. Folgende durch Erath (2011) beschriebene Vereinfachungen (siehe auch Kap. 3.5, Analyse der Verletzlichkeit des Netzes) zur Verringerung der Laufzeiten sind auch für vorliegende Problemstellung denkbar:

- Unterteilung des Gesamtnetzes in Teilnetze.
- An Knoten die nur zwei Segmente verbinden, ist es ausreichend die Auswirkungen nur für eines der beiden Segmente zu ermitteln, da die Ergebnisse ident sind.

- Unwahrscheinliche Wechselwirkungen von Abschnitten mit größerer räumlicher Distanz werden nicht berücksichtigt.
- Ausschluss aller Kombinationen ohne Wechselwirkungen.

Für eine vollständige Berücksichtigung aller möglichen Wechselwirkungen sind aufgrund der verbleibenden hohen Anzahl an möglichen Kombinationen heuristische Verfahren oder geeignete „Solver“ in Kombination mit dem Verkehrsmodell erforderlich. Die Umsetzung einer derartigen Softwarelösung ist nicht Teil dieser Dissertation und stellt somit ein weiteres Forschungspotential dar.

Bei der in der vorliegenden Arbeit entwickelten Methodik handelt es sich um ein semi-automatisches Verfahren, da unter anderem die Maßnahmenvorschläge gemeinsam mit Experten erarbeitet und manuell in den Optimierungsprozess eingegeben werden. Bereits in der Generierung der Maßnahmenvorschläge wird darauf geachtet, dass große Wechselwirkungen ausgeschlossen sind. Jedenfalls werden beispielsweise keine Rückbauten an zwei parallellaufenden Straßen als Ergebnis angenommen. Hier wird im Expertenteam entschieden, für welchen Straßenzug eine derartige Maßnahme eher in Frage kommt. Im Einzelfall können Wechselwirkungen auch separat ermittelt und in den weiterführenden Berechnungen berücksichtigt werden.

5.5 Aggregation einzelner Nutzenkomponenten

Von den in Kap. 5.4 beschriebenen Kostenbestandteilen in den verschiedenen Sphären sind lediglich Maßnahmenkosten für Instandsetzungen und Erneuerungen sowie Instandhaltungskosten direkt für den Straßenerhalter budgetrelevant. Für eine bedarfsorientierte Priorisierung im Sinne der Allgemeinheit gemäß der Definition im Kap. 4.1 sind in der Maßnahmenableitung jedenfalls der Nutzeraufwand und der Aufwand für Dritte als fiktive Kosten zu berücksichtigen.

Mit Verweis auf Rübensam (2005) wird durch Brožek et al. (2009) empfohlen, Baukosten nicht direkt mit „Nutzerkosten“ aufzusummieren, da „Nutzerkosten“ unter Berücksichtigung von Staukosten während der Bauherstellung große Werte annehmen und Baukosten im Vergleich dazu gering sind. Hierzu sei angemerkt, dass diese Überlegungen in den angeführten Arbeiten auf höherrangige Straßen mit größeren Auswirkungen von Baustellen bezogen sind. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es jedoch langfristige Entscheidungen zu treffen, weshalb Baustellenauswirkungen keine große Rolle spielen. Schließlich nehmen die Auswirkungen der einzelnen Baumaßnahmen während der Maßnahmenumsetzungsdauer im Verhältnis zu dauerhaften verkehrlichen Einschränkungen zufolge von z.B. Rückbaumaßnahmen gemäß Kap. 5.2 einen vernachlässigbaren Stellenwert ein. Baustellenauswirkungen finden daher keine Berücksichtigung.

Aufgrund der gesamtwirtschaftlichen Betrachtungsebene wird in der Aggregation einzelner Kostenbestandteile in vorliegender Arbeit keine grundlegende Trennung zwischen Straßenbaulastträgerkosten und Nutzerkosten vorgenommen. Da die Finanzierung der Straßenerhaltung über Steuereinnahmen indirekt über die Allgemeinheit aufgebracht wird und letztendlich auch die Auswirkungen unterschiedlicher Erhaltungsstrategien durch die Allgemeinheit zu tragen sind, ist für eine strategische Beurteilung der Maßnahmen die Summation aller Folgewirkungen im Sinne eines gesamtwirtschaftlichen Ansatzes vertretbar. Auch durch Kulkarni & Miller (2003), Mladenovic et al. (2011) und Socina & Komma (2015) werden Summen aus Erhalter- und Nutzerkosten für eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung gebildet. Voraussetzung für derartige

Summenbildungen sind realistisch angesetzte Kostensätze (z.B. Zeitkostensatz). Um die einzelnen Kostenbestandteile auf die jeweils betrachtete Maßnahme beziehen zu können, ist die relative Veränderung zwischen dem Fall ohne Maßnahme und dem Fall mit Maßnahme heranzuziehen.

Neben Auswirkungen auf Instandhaltungskosten, auf fiktive Kosten für Nutzer und Dritte, kann die Wirkungsdauer einer Maßnahme als wesentliche Folge von Investitionen verstanden werden. Abhängig vom Zustand und den genauen Mängeln kann eine Erneuerung im Vergleich zu einer oberflächlichen Instandsetzung deutlich längere Wirkung zeigen. Um Folgewirkungen im Sinne einer Lebenszyklusbetrachtung gesamtheitlich zu erfassen, ist es daher erforderlich auch Maßnahmenkosten in die Nutzenbewertung miteinfließen zu lassen.

Um den Effekt einer Maßnahme bewerten zu können, ist jedenfalls ein Vergleich mit der vorhandenen zum Zeitpunkt der Analyse durchgeführten Strategie (z.B. keine Erneuerungs- und Instandsetzungsmaßnahmen geplant – „Nichts tun Strategie“) zu führen. Diese Ausgangsvariante kann in den drei Dimensionen Maßnahmenkosten, Instandhaltungskosten und monetarisierter Nutzeraufwand als Kostenplan, wie in Tabelle 15 ersichtlich, beschrieben werden.

Tabelle 15: Kostenplan für die Ausgangsvariante 0

	Jahr im Lebenszyklus der Anlage a				
	1	2	3	...i	j
Maßnahmenkosten	MK_{01}	MK_{02}	MK_{03}	$\dots MK_{0i}$	MK_{0j}
Instandhaltungskosten	IK_{01}	IK_{02}	IK_{03}	$\dots IK_{0i}$	IK_{0j}
Monetarisierter Nutzeraufwand	NA_{01}	NA_{02}	NA_{03}	$\dots NA_{0i}$	NA_{0j}

Die Auswirkungen durch die einmaligen Maßnahmenkosten ΔMK können daher für den Betrachtungszeitraum mit j Jahren wie folgt ermittelt werden.

Tabelle 16: Kostenplan Investitionskosten (Instandsetzung und Erneuerung)

		Jahr im Lebenszyklus der Anlage a				
		1	2	3	...i	j
Maßnahmen- strategie	1	$\Delta MK_{11}=MK_{11}$ $-MK_{01}$	$\Delta MK_{12}=MK_{12}$ $-MK_{02}$	$\Delta MK_{13}=MK_{13}$ $-MK_{03}$	$\Delta MK_{1i}=...MK_{1i}$ $-MK_{0i}$	$\Delta MK_{1j}=MK_{1j}$ $-MK_{0j}$
	2	$\Delta MK_{21}=MK_{21}$ $-MK_{01}$	$\Delta MK_{22}=MK_{22}$ $-MK_{02}$	$\Delta MK_{23}=MK_{23}$ $-MK_{03}$	$\Delta MK_{2i}=...MK_{2i}$ $-MK_{0i}$	$\Delta MK_{2j}=MK_{2j}$ $-MK_{0j}$
	3	$\Delta MK_{31}=MK_{31}$ $-MK_{01}$	$\Delta MK_{32}=MK_{32}$ $-MK_{02}$	$\Delta MK_{33}=MK_{33}$ $-MK_{03}$	$\Delta MK_{3i}=...MK_{3i}$ $-MK_{0i}$	$\Delta MK_{3j}=MK_{3j}$ $-MK_{0j}$
	...	$\Delta MK_{n1}=...MK_{n1}$ $-MK_{01}$	$\Delta MK_{n2}=...MK_{n2}$ $-MK_{02}$	$\Delta MK_{n3}=...MK_{n3}$ $-MK_{03}$	$\Delta MK_{ni}=...MK_{ni}$ $-MK_{0i}$	$\Delta MK_{nj}=...MK_{nj}$ $-MK_{0j}$
	m	$\Delta MK_{m1}=MK_{m1}$ $-MK_{01}$	$\Delta MK_{m2}=MK_{m2}$ $-MK_{02}$	$\Delta MK_{m3}=MK_{m3}$ $-MK_{03}$	$\Delta MK_{mi}=...MK_{mi}$ $-MK_{0i}$	$\Delta MK_{mj}=MK_{mj}$ $-MK_{0j}$

Analog dazu werden die laufenden Instandhaltungskosten (Tabelle 17) und der monetarisierte Nutzeraufwand (Tabelle 18) ermittelt.

Tabelle 17: Kostenplan Instandhaltungskosten

		Jahr im Lebenszyklus der Anlage a				
		1	2	3	...i	j
Maßnahmen- strategie	1	$\Delta IK_{11}=IK_{11}^-$ IK_{01}	$\Delta IK_{12}=IK_{12}^-$ IK_{02}	$\Delta IK_{13}=IK_{13}^-$ IK_{03}	$\Delta IK_{1i}=...IK_{1i}^-$ IK_{0i}	$\Delta IK_{1j}=IK_{1j}^-$ IK_{0j}
	2	$\Delta IK_{21}=IK_{21}^-$ IK_{01}	$\Delta IK_{22}=IK_{22}^-$ IK_{02}	$\Delta IK_{23}=IK_{23}^-$ IK_{03}	$\Delta IK_{2i}=...IK_{2i}^-$ IK_{0i}	$\Delta IK_{2j}=IK_{2j}^-$ IK_{0j}
	3	$\Delta IK_{31}=IK_{31}^-$ IK_{01}	$\Delta IK_{32}=IK_{32}^-$ IK_{02}	$\Delta IK_{33}=IK_{33}^-$ IK_{03}	$\Delta IK_{3i}=...IK_{3i}^-$ IK_{0i}	$\Delta IK_{3j}=IK_{3j}^-$ IK_{0j}
	...	$\Delta IK_{n1}=...IK_{n1}^-$ IK_{01}	$\Delta IK_{n2}=...IK_{n2}^-$ IK_{02}	$\Delta IK_{n3}=...IK_{n3}^-$ IK_{03}	$\Delta IK_{ni}=...IK_{ni}^-$ IK_{0i}	$\Delta IK_{nj}=...IK_{nj}^-$ IK_{0j}
	m	$\Delta IK_{m1}=IK_{m1}^-$ IK_{01}	$\Delta IK_{m2}=IK_{m2}^-$ IK_{02}	$\Delta IK_{m3}=IK_{m3}^-$ IK_{03}	$\Delta IK_{mi}=...IK_{mi}^-$ IK_{0i}	$\Delta IK_{mj}=IK_{mj}^-$ IK_{0j}

Tabelle 18: Kostenplan monetarisierte Nutzeraufwand

		Jahr im Lebenszyklus der Anlage a				
		1	2	3	...i	j
Maßnahmen- strategie	1	$\Delta NA_{11}=NA_{11}^-$ NA_{01}	$\Delta NA_{12}=NA_{12}^-$ NA_{02}	$\Delta NA_{13}=NA_{13}^-$ NA_{03}	$\Delta NA_{1i}=...NA_{1i}^-$ NA_{0i}	$\Delta NA_{1j}=NA_{1j}^-$ NA_{0j}
	2	$\Delta NA_{21}=NA_{21}^-$ NA_{01}	$\Delta NA_{22}=NA_{22}^-$ NA_{02}	$\Delta NA_{23}=NA_{23}^-$ NA_{03}	$\Delta NA_{2i}=...NA_{2i}^-$ NA_{0i}	$\Delta NA_{2j}=NA_{2j}^-$ NA_{0j}
	3	$\Delta NA_{31}=NA_{31}^-$ NA_{01}	$\Delta NA_{32}=NA_{32}^-$ NA_{02}	$\Delta NA_{33}=NA_{33}^-$ NA_{03}	$\Delta NA_{3i}=...NA_{3i}^-$ NA_{0i}	$\Delta NA_{3j}=NA_{3j}^-$ NA_{0j}
	...	$\Delta NA_{n1}=...NA_{n1}^-$ NA_{01}	$\Delta NA_{n2}=...NA_{n2}^-$ NA_{02}	$\Delta NA_{n3}=...NA_{n3}^-$ NA_{03}	$\Delta NA_{ni}=...NA_{ni}^-$ NA_{0i}	$\Delta NA_{nj}=...NA_{nj}^-$ NA_{0j}
	m	$\Delta NA_{m1}=NA_{m1}$ $-NA_{01}$	$\Delta NA_{m2}=NA_{m2}$ $-NA_{02}$	$\Delta NA_{m3}=NA_{m3}$ $-NA_{03}$	$\Delta NA_{mi}=...NA_{mi}$ $-NA_{0i}$	$\Delta NA_{mj}=NA_{mj}$ $-NA_{0j}$

Der Gesamtnutzen einer Maßnahme ist somit eine Funktion aus Maßnahmenkosten, Veränderung der Instandhaltungskosten sowie monetarisierter Nutzeraufwand.

$$MN_m = f(\Delta MK_m, \Delta IK_m, \Delta NA_m) \quad (38)$$

Wie in Kap. 5.1 dargestellt, sind kumulierte Maßnahmenkosten einer Strategie, die zugleich eine Nutzenkomponente darstellen, jeweils vom betrachteten Zeitraum abhängig. Zur Angabe in diskreten jährlichen Durchschnittswerten ist die Summe der Nutzenkomponenten durch die Anzahl der Jahre im Betrachtungszeitraum zu dividieren:

$$MN_{mj} = \frac{\sum_{j=1}^i \Delta MK_{mj} + \sum_{j=1}^i \Delta IK_{mj} + \sum_{j=1}^i \Delta NA_{mj}}{i} \quad (39)$$

Mit: MN_m Durchschnittlicher jährlicher Nutzen der Maßnahme m [€/Jahr]
 ΔMK_m Maßnahmenkosten (= Wiederbeschaffungskosten) der Maßnahme m [€]
 ΔIK_m Instandhaltungskostendifferenz (mit und ohne Maßnahme) [€]
 ΔNA_m Nutzeraufwanddiffenz (mit und ohne Maßnahme) [€]
i Betrachtungszeitraum (i.d.R. 30) [Jahre]

Da im errechneten Nutzen der Maßnahmen nicht nur Folgekosten und der monetarisierte Nutzeraufwand enthalten sind, sondern auch die jährlichen Maßnahmenkosten, handelt es sich beim Ergebnis um eine gesamtwirtschaftliche Sichtweise. Das Resultat kann direkt zur Reihung der Maßnahmen für das jeweilige Straßensegment herangezogen werden. Die Auswahl der Maßnahme mit dem größten Gesamtnutzen für jedes Straßensegment wäre wünschenswert, ist aber aufgrund der vorhandenen Budgetrestriktion nicht realisierbar. In Kap. 6 wird daher näher auf die Maximierung des Nutzens auf Netzebene unter Berücksichtigung einer Budgetrestriktion eingegangen.

6 Maßnahmenoptimierung auf Netzebene

Zufolge des Kap. 5.4 werden Kosten und Nutzen einzelner Maßnahmen je Straßenabschnitt monetär für einen Betrachtungszeitraum bewertet. Für einen einzelnen Straßenabschnitt kann die Reihung entsprechend des Nutzens bestimmt werden. In der Netzbetrachtung (z.B. in einer Gemeinde) stehen die Maßnahmenvorschläge eines Straßenabschnittes zusätzlich in Konkurrenz zu anderen Abschnitten. Ziel ist es für das gesamte Netz diejenigen Maßnahmen auszuwählen, die einen möglichst großen Gesamtnutzen nach sich ziehen.

Eine Möglichkeit zur Lösung des Problems ist es, je Straßenabschnitt die Maßnahme mit dem größten Nutzen auszuwählen, so lange das Budget dafür reicht. Für Abschnitte deren Maßnahmen mit dem größten Nutzen nicht mehr finanziert werden können, wird jeweils die Maßnahme ausgewählt, die unter den gerade noch finanzierbaren Maßnahmen den größten Nutzen aufweist. Die Güte der Lösung ist von der Reihenfolge der Betrachtung der einzelnen Abschnitte abhängig. Beginnend mit Straßen großer Bedeutung und mit hohen Kosten für die laufende Erhaltung kann i.d.R. ein großer Gesamtnutzen erzielt werden. Auch wenn auf diese Weise gute Lösungen zustande kommen, gibt es keine Garantie, die beste Lösung zu finden.

Für die beste Lösung gilt es die optimale Kombination möglicher Maßnahmen unter Einhaltung der budgetären Rahmenbedingungen zu erhalten; d.h. durch Auswahl der Maßnahmen für einzelne Straßenabschnitte soll der Gesamtnutzen im betrachteten Straßennetz maximiert werden, wobei für jeden Straßenabschnitt nur eine Maßnahme zu setzen ist und das Budget nicht überschritten werden darf.

Das „Knapsack Problem“ (KP, deutsch: Rucksackproblem) ist ein kombinatorisches Optimierungsproblem und bildet den hier vorliegenden Sachverhalt ab. Nach Korte & Vygen (2008) liegt ein Knapsack Problem dann vor, wenn eine optimale Teilmenge mit beschränktem Gesamtgewicht aus einer Menge gewichteter und Gewinn bringender Elemente gewählt werden muss. Martello & Toth (1990) beschreiben das Knapsack Problem anhand eines Investors, der einen Betrag von b Dollar investieren möchte. Der Investor kann dabei aus einer Auswahl von 1 bis n möglichen Investitionen wählen. Durch jede Investition a werden Nutzen u_j und Kosten c_j erwartet. Eine binäre Entscheidungsvariable x_j ($j=1, \dots, n$) mit folgender Bedeutung wird eingeführt:

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{wenn Element } j \text{ ist ausgewählt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Ziel des Investors ist es durch die Auswahl von Projekten einen größtmöglichen Nutzen zu erzielen und daher folgende Zielfunktion zu maximieren:

$$\max \sum_{j=1}^N u_j * x_j \quad (40)$$

Da das Budget begrenzt ist, gilt es eine Nebenbedingung einzuhalten:

$$\sum_{j=1}^N c_j * x_j \leq b \quad (41)$$

Mit:	c_j	Kosten des Objektes j
	u_j	Nutzen des Objektes j
	b	Budgetrestriktion
	x_j	0 oder 1, $j \in N$
	x_j	$\begin{cases} 1 & \text{wenn Element } j \text{ ist ausgewählt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

Das obenstehende Problem kann auch als „0-1 Knapsack Problem“ beschrieben werden, da Maßnahmen aus einem Set an Alternativen entweder ausgewählt werden oder nicht. Wenn das Alternativenset näher in Teilbereiche untergliedert ist, handelt es sich um einen „Multiple Choice Knapsack“ (Martello & Toth, 1990). Die binäre Entscheidung zur Auswahl von Alternativen wird durch die Auswahl einer Alternative aus einem Alternativenset je Teilbereich ersetzt (Kellerer et al., 2004). In vorliegender Arbeit stehen für jeden analysierten Straßenabschnitt verschiedene Maßnahmen zur Verfügung. Das Alternativenset kann dementsprechend in einzelne Straßenabschnitte untergliedert werden. Bei der Auswahl der Maßnahmen muss, wie in Kap. 6.1 beschrieben, darauf geachtet werden, dass pro Abschnitt genau eine Maßnahme gewählt wird. Aus diesem Grund ist, wie in Kap. 6.1 näher erläutert, eine weitere Nebenbedingung erforderlich.

6.1 Mathematische Problemformulierung

Nachstehend wird das Problem für einmalige Betrachtungen (ein Zeitpunkt) und für die Beurteilung eines Zeitraumes mehrerer Jahre beschrieben. Es werden alle Straßenabschnitte mit dem Bedarf an strategischen Maßnahmen berücksichtigt. Für jeden Einzelabschnitt wurden nach Kap. 5 alle möglichen strategischen Maßnahmen abgeleitet und deren Kosten und Nutzen bewertet. Strategische Maßnahmen können, wie in Kap. 5.2 beschrieben, von Erneuerungen, über das Aufstellen von Warnhinweisen bis hin zu Redimensionierungen reichen. Bei der Betrachtung eines Zeitpunktes wird davon ausgegangen, dass für alle betrachteten Abschnitte unmittelbare Maßnahmen erforderlich sind. Es ist das zu diesem Zeitpunkt, für derartige Maßnahmen, zur Verfügung stehende Budget als Restriktion zu berücksichtigen (Kap. 6.1.1). Da in der Praxis durchaus ein zeitlicher Spielraum für die Umsetzung von Maßnahmen besteht, wird in vorliegender Arbeit zusätzlich ein Ansatz zur Berücksichtigung mehrerer Umsetzungsjahre behandelt. Damit soll ausgeschlossen werden, dass beispielsweise eine Straße aufgrund einmalig knapper Finanzmittel rückgebaut wird. In der mehrjährigen Betrachtung mit getrennt berücksichtigten Budgets für die einzelnen Jahre kann eine Verschiebung der Maßnahmen innerhalb der betrachteten Jahre erfolgen (siehe Kap. 6.1.2).

6.1.1 Einmalige Betrachtung

Für einmalige Betrachtungen zur Optimierung des Gesamtnutzens r sind Z Abschnitte a mit jeweils N abgeleiteten Maßnahmen m gegeben. Des Weiteren gilt eine Budgetrestriktion b . Gesucht ist eine Teilmenge an Maßnahmen für die einzelnen Abschnitte, die die Bedingungen

$$NB \quad \sum_{a=1}^Z \sum_{m=1}^N c_{a,m} * x_{a,m} \leq b \quad (42)$$

$$NB \quad \sum_{m=1}^n x_{a,m} = 1 \quad \text{für } a = \{1, \dots, Z\} \quad (43)$$

Mit: $c_{a,m}$ Kosten der Maßnahme a, m
 b Budgetrestriktion
 $x_{a,m}$ 0 oder 1, $m \in \mathbb{N}$, $a=\{1, \dots, Z\}$
 $x_{a,m} \begin{cases} 1 & \text{wenn Element } a, m \text{ ist ausgewählt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

einhält. Die zweite Nebenbedingung stellt sicher, dass pro Straßenabschnitt nur eine Maßnahme gewählt wird. Die Zielfunktion

$$\max r = \sum_{a=1}^Z \sum_{m=1}^N u_{a,m} * x_{a,m} \quad (44)$$

mit: r Gesamtnutzen
 $u_{a,m}$ Nutzen der Maßnahme a, m
 $x_{a,m}$ 0 oder 1, $m \in \mathbb{N}$, $a=\{1, \dots, Z\}$
 $x_{a,m} \begin{cases} 1 & \text{wenn Element } a, m \text{ ist ausgewählt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

soll maximiert werden. Da das Alternativenset in Teilbereiche (unterschiedliche Maßnahmen je Straßensegment) untergliedert ist, handelt es sich in diesem Fall nicht um ein 0-1-Knapsack Problem sondern um ein Multiple Choice Knapsack Problem (Martello & Toth, 1990).

6.1.2 Mehrjährige Betrachtung

Für eine jahresscheibenorientierte Betrachtung (Garber & Hoel, 2015) sind anders als in oben beschriebener einmaliger Betrachtung Z Abschnitte a mit jeweils N abgeleiteten Maßnahmen m in I Umsetzungsjahren j gegeben. Es gilt nun die jahresbezogene Budgetrestriktion b_j einzuhalten. Gesucht ist eine Teilmenge an den einzelnen Jahresscheiben zugeordneten Maßnahmen für die einzelnen Abschnitte, die die Bedingungen

$$NB \quad \sum_{a=1}^Z \sum_{m=1}^N \sum_{j=1}^I c_{a,m,j} * x_{a,m,j} \leq b_j \quad \text{für } j = \{1, \dots, i\} \quad (45)$$

$$NB \quad \sum_{m=1}^N \sum_{j=1}^I x_{a,m,j} = 1 \quad \text{für } a = \{1, \dots, z\} \quad (46)$$

Mit:	$c_{a,m,j}$	Kosten der Maßnahme a (Abschnitt), m (Maßnahme), j (Jahr)
	b_j	Budgetrestriktion des Jahres j
	$x_{a,m,j}$	0 oder 1, $m \in \mathbb{N}$, $a=\{1,\dots,Z\}$
	$x_{a,m,j}$	$\begin{cases} 1 & \text{wenn Element } a, m, j \text{ ist ausgewählt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

enthält und die Zielfunktion

$$\max r = \sum_{a=1}^z \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^i u_{a,m,j} * x_{a,m,j} \quad (47)$$

Mit:	$u_{a,m,j}$	Nutzen der Maßnahme a, m, j
	$x_{a,m,j}$	0 oder 1, $m \in \mathbb{N}$, $a=\{1,\dots,Z\}$
	$x_{a,m,j}$	$\begin{cases} 1 & \text{wenn Element } a, m, j \text{ ist ausgewählt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

maximiert. Durch die Jahresscheibenbetrachtung muss die Budgetrestriktion für jedes Jahr eingehalten werden. In Anlehnung an die Einleitung des Kap. 6 gilt es daher mehrere „Rucksäcke“ zu packen. Dieser spezielle Fall eines Rucksackproblems wird in der Literatur als „Multidimensional Knapsack Problem“ bezeichnet (Kellerer et al., 2004). In Kombination mit den unterschiedlichen Maßnahmen je Straßenqualität kann das vorliegende Problem als „Multidimensional Multiple Choice Knapsack“ bezeichnet werden.

6.2 Problemlklassifizierung

Zur Bestimmung der Anzahl möglicher Kombinationen im in Kap. 6.1 formulierten kombinatorischen Optimierungsproblem kann der Sachverhalt als „Variation mit Zurücklegen“ abgebildet werden. Für jeden Abschnitt a wird eine Maßnahmenart m ausgewählt, wobei der jeweilige Maßnahmentyp mehrfach, d.h. für mehrere Abschnitte, ausgewählt werden kann. In der abzählenden Kombinatorik wird die Anzahl möglicher Kombinationen über die Zahl der vorhandenen Elemente (Maßnahmenarten) und der Zahl an auszuwählenden Elementen bestimmt. Die Zahl der vorhandenen Elemente sind in vorliegendem Problem die Anzahl verschiedener Maßnahmenarten n . Die Zahl der Elemente die ausgewählt werden entspricht der Anzahl an Abschnitten z . Die Anzahl möglicher Kombinationen für die Variante ohne Jahresscheibenbetrachtung (siehe Kap. 6.1) kann daher wie folgt ermittelt werden:

$$N^Z \quad (48)$$

Mit:	N	Anzahl an Maßnahmentypen
	Z	Anzahl betrachteter Abschnitte

In der Variante mit Jahresscheibenbetrachtung wird das Set an Maßnahmentypen erweitert. Aus bautechnischer Sicht handelt es sich nicht um zusätzliche Maßnahmentypen, sondern um eine

zeitliche Verschiebung der einzelnen Maßnahmentypen. Da sich sowohl Kosten als auch Nutzen der Maßnahmen ändern, handelt es sich formal um zusätzlich auswählbare Elemente, welche mathematisch als solche betrachtet werden müssen. Durch Multiplikation der Anzahl an Maßnahmentypen mit den betrachteten Jahren ergibt sich analog zu Formel (48) die Gesamtanzahl an vorhandenen Elementen:

$$(N * I)^Z \quad (49)$$

Mit: N Anzahl an Maßnahmentypen
 I Anzahl an Jahren
 Z Anzahl betrachteter Abschnitte

Um auf **Z=15** Abschnitten zwischen **N=4** verschiedenen Maßnahmentypen über **I=3** Jahre auswählen zu können, kommen in Summe 15,4 Milliarden ($1,54 \times 10^{16}$) mögliche Kombinationen in Frage. Wie in den Formeln (48) und (49) ersichtlich befindet sich lediglich die Anzahl an bewerteten Abschnitten im Exponenten und ist daher maßgeblich für die hohe Anzahl an Kombinationen verantwortlich. Die hohe Anzahl an möglichen Kombinationen bei steigender Anzahl an Abschnitten macht das vorliegende Problem zu einem NP-schwierigen Problem im Sinne der Komplexitätstheorie.

Als zentrales Element der theoretischen Mathematik ermöglicht die **Komplexitätstheorie** eine Aussage über die Komplexität eines Problems. Während die Beurteilung der Effizienz von Algorithmen jeweils an einem konkreten Objekt (Algorithmus) erfolgt, werden bei der Beurteilung der Komplexität eines Problems alle möglichen Verfahren berücksichtigt. In einer höheren Ebene wird die algorithmische Schwierigkeit von Problemen betrachtet (Gritzmann, 2013).

Der Begriff „Effizienz“ bezieht sich auf Algorithmen und deren Laufzeiten sowie Speicherplatzbedarf für die Lösung von Problemen (Wagner, 2003). Nachstehende Erläuterungen zur Komplexität beschränken sich auf das wesentliche Kriterium der Laufzeit.

Prinzipiell ist es nicht einfach die Laufzeit von Algorithmen zur Lösung von Problemen exakt anzugeben. Man begnügt sich im Allgemeinen mit der Einteilung in Klassen. Beispielsweise gilt ein Algorithmus als polynomiell, wenn ein Polynom π existiert und folgendes gilt (Gritzmann, 2013):

$$\lambda(I) \leq \pi(|I|) \quad (50)$$

Mit: λ Laufzeitfunktion
 π Funktion der Inputstrings (Problemgröße)
 I Inputstring (Problemgröße)

Wenn die Laufzeit zur Lösung eines Problems nicht größer als eine Polynomfunktion der Problemgröße ist, spricht man davon, dass ein Problem in polynomieller Zeit lösbar ist (Gritzmann, 2013).

Die Menge dieser Probleme wird „P“ genannt. Entscheidungsprobleme dieser Menge besitzen einen polynomiellen Algorithmus der deterministische Lösungen ermöglicht. Häufig werden die Probleme dieser Menge als „effizient lösbar“ bezeichnet (Gritzmann, 2013; Wagner, 2003; Wilf, 1986).

Im Gegensatz dazu gibt es die Menge der Probleme „NP“ (Nichtdeterministisches Polynomialzeitproblem) für die bis dato kein Polynomialzeitalgorithmus gefunden wurde.

Nichtdeterministisch steht in diesem Fall dafür, dass ein Polynomialzeitalgorithmus die Tätigkeit in mehrere parallele Rechenwege aufteilt (Goldreich, 2008; Gritzmann, 2013; Wagner, 2003). Für Probleme der Menge NP darf es nur Lösungen geben, deren Korrektheit in Polynomialzeit überprüft werden können (Gritzmann, 2013; Wagner, 2003). „NP enthält also alle Probleme, die in polynomieller Zeit lösbar sind, aber auch eine Vielzahl von Problemen, für die kein effizienter Algorithmus bekannt ist, und für die vermutlich auch keiner existiert.“ Auch wenn es naheliegend ist, dass die Menge NP größer ist als P, ist diese Frage noch nicht geklärt (Gritzmann, 2013); d. h. es stellt sich die Frage, ob Probleme aus NP soweit vereinfacht werden können, dass sie Teil von P und somit einfach lösbar werden.

Probleme die mindestens so schwierig zu lösen sind wie Probleme der Menge NP, aber nicht Teil der Menge NP sein müssen, werden NP-schwierige (engl. NP-hard) Probleme genannt (Homer & Selman, 2011).

Nach Kellerer et al. (2004) zählt das vorliegende Knapsack Problem zu den NP-schwierigen Optimierungsproblemen; d.h. es gibt vermutlich keinen polynomiellen Algorithmus, um optimale Lösungen zu berechnen (Kellerer et al., 2004).

6.3 Problemlösung

Für die Lösung mathematisch formulierter Probleme kann prinzipiell zwischen exakten und heuristischen Verfahren unterschieden werden. Während exakte Verfahren garantiert ein globales Optimum erreichen, handelt es sich bei heuristischen Verfahren um Näherungsverfahren. Heuristiken haben gegenüber exakten Verfahren den Vorteil geringerer Rechenzeiten das Finden der optimalen Lösung kann jedoch nicht garantiert werden (Murty, 1995).

In vorliegender Arbeit erfolgte die Umsetzung mittels exaktem Verfahren. Wie in Kap. 6.1 ersichtlich handelt es sich bei der Zielfunktion des vorliegenden Problems um eine lineare Funktion, die es, unter Berücksichtigung linearer Nebenbedingungen zu optimieren gilt. Ein solches kombinatorisches, lineares Optimierungsproblem kann nach Korte & Vygen (2008) auch immer mittels vollständiger Enumeration gelöst werden; d.h. es werden die Lösungen aller möglichen Kombinationen an Maßnahmen untersucht und untereinander verglichen. Lösungen die oberhalb der Budgetrestriktion liegen, werden vernachlässigt. Aufgrund der hohen Anzahl möglicher Kombinationen (siehe Kap. 6.2) ist dieses Verfahren für eine größere Anzahl an Abschnitten ungeeignet.

Die lineare Optimierung kann mittels linearer Programmierung (LP) modelliert werden. Da die Ergebnisse der Optimierung diskrete „Integer“-Werte sind, handelt es sich bei vorliegender Programmierung zusätzlich um ein „Integer-Programming“. Als „Linear Programming Modeler“ wurde in vorliegender Arbeit PuLP-or auf Basis der Programmiersprache Python angewandt. PuLP ermöglicht es das Modell der linearen Programmierung ähnlich der mathematischen Notation aus Kap. 6.1 umzusetzen. Der Python-Programmiercode wurde im Rahmen dieser Arbeit in Zusammenarbeit mit Nikolaus Furian (Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik der TU Graz) umgesetzt. Tabelle 19 stellt die Formulierung der Zielfunktion sowie der beiden Nebenbedingungen (Kap. 6.1.2) als Python Code dar. Über die Befehle „sum“ und „pulp.lpSum“ wird auf entsprechende Bibliotheken zugegriffen.

Tabelle 19: Zielfunktion und Nebenbedingungen als Python Code

<p>Zielfunktion: Maximierung des Nutzens</p> <pre> maintenanceProb+=sum(utilityPerMeasureSegmentYear[measure][segment][year]* x[measure][segment][year] for measure in measures for segment in segments for year in years) </pre>
<p>Nebenbedingung 1: Budgetrestriktion</p> <pre> maintenanceProb+=pulp.lpSum(costPerMeasureSegmentYear[measure][segment][year]* x[measure][segment][year] for measure in measures for segment in segments) <= budgetPerYear[year] </pre>
<p>Nebenbedingung 2: Auswahl genau einer Maßnahme je Straßensegment</p> <pre> maintenanceProb += pulp.lpSum(x[measure][segment][year] for measure in measures for year in years) == 1 </pre>

Durch das Laden eines „Solvers“ kann das Problem gelöst werden (Mitchell, 2009). Für akzeptable Rechenzeiten ist es nicht umsetzbar alle möglichen Kombinationen zu berechnen und zu vergleichen. Aus diesem Grund werden innerhalb der „Solver“ „Branch-and-bound“-Konzepte angewandt. Nach Kellerer et al. (2004) basieren derartige Konzepte auf einer intelligenten vollständigen Analyse des gesamten Suchraumes. Tatsächlich berechnet wird soweit möglich nur ein kleiner Teil an möglichen Lösungen. Es wird dabei sichergestellt, dass die optimale Lösung Teil des analysierten Bereiches ist. „Branch“ steht für das Gliedern des Problems in Teilbereiche. Wenn X als endlicher Lösungsraum gilt, wird ein Teilbereich $X' \subseteq X$ in mehrere kleinere Teilbereiche X_1, \dots, X_m aufgeteilt. Insgesamt müssen diese Teilbereiche den gesamten Lösungsraum X umfassen (Kellerer et al., 2004):

$$X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_m = X' \quad (51)$$

Mit: X_1, \dots, X_m Teilbereiche des Teilbereiches X' des Lösungsraumes X
 X' Teilbereich des Lösungsraumes

Diese Unterteilung wird solange fortgesetzt, bis jeder Teilbereich nur eine mögliche Lösung enthält. Die beste Lösung wird letztendlich ausgewählt, wobei sichergestellt ist, dass es sich um ein globales Optimum handelt (Kellerer et al., 2004).

Eine weitere Reduktion des Lösungsraumes kann durch die Berücksichtigung oberer und unterer Grenzen („bounding“) erfolgen. Die Grenze gilt beispielsweise für das Ergebnis einer Optimierung. Als untere Grenze z^l kann daher die bisher beste Lösung angenommen werden. Solange es noch keine Lösung gibt, kann eine heuristisch ermittelte Lösung zu Beginn als untere Grenze angenommen werden. Die obere Grenze $U_{x'}$ ist eine reelle Zahl für die $U_{x'} \geq f(x)$ gilt, wobei alle x Elemente aus X' sind (Kellerer et al., 2004).

$$f(x) \leq U_{x'} \leq z^l \quad (52)$$

Mit: $f(x)$ Ergebnis der Optimierung
 $U_{x'}$ Obere Grenze
 z^l untere Grenze

In Formel (52) dargestelltem Fall ist die mögliche obere Grenze für einen Teilbereich X' kleiner als die untere Grenze (i.d.R. bisher beste Lösung). Dies bedeutet, dass im Teilbereich X' keine bessere Lösung gefunden werden kann, wodurch der gesamte Teilbereich X' nicht weiter analysiert werden muss. In Kombination der beiden Techniken „branching“ und „bounding“ kann der Lösungsraum, abhängig von den gegebenen Variablen verkleinert werden (Kellerer et al., 2004). Abhängig von oberen und unteren Grenzen können Teilbereichen frühzeitig von der weiteren Lösungsfindung ausgenommen werden (Wegener, 1996).

7 Anwendung der Methodik

7.1 Ausgewählte Beispiele im Überblick

Um die im Rahmen vorliegender Dissertation entwickelte Methodik auf Funktionalität, möglicherweise vorhandene Fehler, Grenzen der Analyse und in weiterer Folge die mittels der Methodik generierten Ergebnisse auf Plausibilität zu überprüfen, wurden Studien für unterschiedliche Untersuchungsgebiete durchgeführt. Einerseits wurde der erste Teil der Methodik zur Beurteilung der Bedeutung von Straßen für den gesamten südsteirischen Bezirk Leibnitz erprobt. Ziel dieser Studie stellte die Überprüfung der Grenzen der räumlichen Ausdehnung sowie eine Plausibilitätsüberprüfung im größeren Rahmen für den Hinweis auf mögliche Fehler (siehe Kap. 7.3) dar. Des Weiteren wurde die gesamte Methodik, d.h. bis zur Optimierung der Maßnahmen, für zwei steirische Gemeinden (Eisenerz und Leutschach) angewandt. Bei der Auswahl der Gemeinden wurde auf größtmögliche Variabilität in der Siedlungs- und Netzstruktur sowie Topographie und klimatische Verhältnisse geachtet. Demnach besitzt Eisenerz eine kompakte Siedlungsstruktur, während Leutschach flächig gegliedert ist (siehe Tabelle 20). Während Eisenerz eine Gemeinde mit deutlicher Bevölkerungsabwanderung (-24,8% bis zum Jahr 2030) ist, handelt sich bei der Gemeinde Leutschach a.d. Weinstraße, die mit 01.01.2016 aus vier Gemeinden zusammengelegt wurde um eine Gemeinde mit nahezu gleichbleibenden Bevölkerungszahlen (-2,3% bis zum Jahr 2030). Die vollständige Bevölkerungsentwicklung seit 1981 ist im Anhang Kap. D aufgelistet.

Tabelle 20: Gemeindestruktur im Vergleich (Auskunft Gemeinden Eisenerz und Leutschach)

Kennzeichen/-werte	Eisenerz	Leutschach an der Weinstraße	Leibnitz
Bezeichnung	Stadtgemeinde	Marktgemeinde	Bezirk
Einwohner	4.524 (Stand: 01.01.2014)	3.794 (Stand: 01.01.2016)	81.305 (Stand: 01.01.2016)
Straßennetzlänge	116 km	261 km	2.354 km
Gemeindefläche	12.453 ha	7.574 ha	72.700 ha
Straßennetzlänge pro Einwohner	25,6 m/EW	68,8 m/EW	29,0 m/EW
Topographische Situation	Tallage	Hügelig	Flach bis hügelig
Seehöhe	736 m ü. A.	352 m ü. A.	275 m ü. A.
Anzahl Straßenlinks	502 Links	1.317 Links	8.846 Links
Durchschnittliche Linklänge	231m/Link	198m/Link	266m/Link
Anzahl Points of Interest	170	450	5.400
Anzahl Verkehrszellen im Modell (gesamt)	3.050 Zellen	2.985 Zellen	15.099 Zellen

7.2 Datengrundlagen

Wie in Kap. 4 erläutert, basiert der erste Teil der in vorliegender Arbeit entwickelten Methodik zur Bewertung der Bedeutung von Straßen sowohl auf Struktur- als auch auf Netzdaten. Nachstehend

werden die verwendeten Grundlagen zu beiden Datenarten näher beschrieben. Unabhängig von der betrachteten Gemeinde wurde in den Anwendungsbeispielen auf dieselben GIS-Daten zurückgegriffen. Informationen die in den bestehenden GIS derzeit nicht verfügbar waren, wurden in den jeweiligen Gemeinden separat erhoben. Für den zweiten Teil der Methodik waren Informationen zu Investitions- und Folgekosten sowie Wirkungsdauern der Maßnahmen erforderlich. Für an die Region angepasste Kostenkennwerte wurden ebenfalls gemeindespezifische Erhebungen durchgeführt.

7.2.1 Strukturdaten

Die zur Anwendung der Methodik erforderlichen Strukturdaten setzten sich aus Arbeitsplatz- und Siedlungsdaten, „Points of Interest“ und Bevölkerungsentwicklungsdaten zusammen.

Arbeitsplatz- und Siedlungsdaten

Arbeitsplatz- und Bevölkerungsdaten wurden dem Geodatenatz „bd.BDA.einw_stat.shp“ des Landes Steiermark entnommen. Es handelt sich dabei um ein Punktraster mit 125m Abstand (Zentrum einer Rasterzelle). Zu jedem Punkt sind im Detail folgende Informationen gespeichert (Land Steiermark, 2015b):

- Object-ID
- Anzahl der Hauptwohnsitze
- Anzahl der Nebenwohnsitze
- Anzahl der Haushalte
- Anzahl der Gebäude
- Anzahl der Wohngebäude
- Anzahl der Wohnungen
- Anzahl der Arbeitsstätten
- Anzahl der Beschäftigten

Daten zu wichtigen Einrichtungen – Points of Interest

Zur Berücksichtigung wichtiger Einrichtungen wurden ausgewählte Inhalte von bestehenden Themen aus dem Bereich kommunale und soziale Einrichtungen, Katastrophenschutz und Gesundheit herangezogen. Die vollständige Liste an mit Februar 2016 verfügbaren Datensätzen befindet sich im Anhang B.1.

Die Inhalte liegen am Geodatenkatalog des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung als Shapefiles vor und wurden im Gauß-Krüger M34 Koordinatensystem angefordert und für Studien im Rahmen der vorliegenden Dissertation übermittelt (Land Steiermark, 2015a).

Da Betriebsstätten, Gastronomiebetriebe, Hotels und Gästehäuser, Tourismus- und Freizeitattraktionen ebenfalls Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen und somit auf die Bedeutung von Straßen haben, wurden diese in Zusammenarbeit mit den Gemeinden vor Ort

erhoben und ebenfalls in der Bewertung der Verkehrspotentiale berücksichtigt. Auch der Verlauf des öffentlichen Verkehrs (Postbus AG) wurde erhoben und in der Verkehrsmodellierung berücksichtigt.

Daten zu Tourismuseinrichtungen, Sehenswürdigkeiten und Gastronomiebetrieben, wie kleinere Cafes wurden der OpenStreetmap entnommen (OSM, 2016).

7.2.2 Netzdaten

Die Straßennetzdaten (hoch- und niederrangiges Netz) entstammen dem GIP-Verkehrsgraphen und liegen in Abschnitten unterteilt vor (GIP, 2016). Der GIP-(Grapheninformationsplattform)-Verkehrsgraph ist ein einheitlicher Verkehrsgraph für Österreich laut Standardbeschreibung GIP.at. Der vollständige Inhalt des GIP-Verkehrsgraphen für die Steiermark ist in Anhang B.2 angeführt (Land Steiermark, 2015b).

7.3 Anwendungsbeispiel Leibnitz

7.3.1 Zielsetzung des Anwendungsbeispiels

Ziel des Anwendungsbeispiels „Leibnitz“ war das Ausloten der Grenzen der räumlichen Ausdehnung. Es stellte sich die Frage, ob es möglich ist die Straßenbedeutung für einen ganzen steirischen Bezirk in vertretbarer Rechenzeit zu ermitteln. Zudem wurde die Studie dazu genutzt Ergebnisse mit vorhandenen Bedeutungsbewertungen des Landes Steiermark zu vergleichen.

7.3.2 Aufbau des Verkehrsmodells Leibnitz

Das Netzmodell (Autobahnen bis Gemeindestraßen) für einen Bezirk kann auf Basis der GIP problemlos auch für die gesamte Steiermark in die Verkehrsplanungssoftware VISUM (Version 15) übertragen werden. Im Anwendungsfall Leibnitz ergibt sich eine Netzlänge von 2.354,34km bestehend aus 8.846 Streckensegmenten. Die Limitierung im Modellaufbau stellt daher nicht die Netzgröße, sondern das Nachfragemodell dar. Konkret hängt die maximal bearbeitbare Netzgröße von der Anzahl an Verkehrseinspeisungspunkten, die in vorliegender Methodik im Vergleich zur klassischen Herangehensweise in großer Anzahl (zumindest bei jedem Knoten) vorkommen (siehe Kap. 4.3.1) ab. In der Erweiterungsstudie Leibnitz wurden für den gesamten Bezirk 15.099 Einspeisungspunkte generiert. Zur Berechnung der Verkehrsnachfrage ist die Ermittlung der Fahrten für alle Quell-/Zielverbindungen erforderlich. Aufgrund der großen Anzahl möglicher Quell-/Zielverbindungen ($15.099^2=227.979.801$) ergibt sich eine Rechenzeit von 2,6 Stunden.

7.3.3 Streckenbedeutungen und Abgleich mit vorhandener Bewertung

Eine Übersichtskarte der mittels des Verkehrsmodells bewerteten Streckenbedeutungen im gesamten Bezirk befindet sich im Anhang F.1.

Nach Auskunft des Landes Steiermark wurden in bisherigen Bewertungen die Straßen u. a. nach funktionalen Bewertungskriterien (Verbindung, Erschließung, Breite) in drei Kategorien eingeteilt (siehe Kap. 3.2). Lt. GIP befinden sich ca. 15,0% der Strecken des Bezirks Leibnitz in der Kategorie mit hoher Bedeutung, 27,5% aller Straßen in der Kategorie mit geringer Bedeutung und die restlichen

57,5% in der mittleren Kategorie. Da diese Einschätzungen im GIS des Landes Steiermark digitalisiert vorliegen, konnten die Ergebnisse vorliegender Studie den bestehenden Ergebnissen des Landes Steiermark gegenübergestellt werden. Für diesen Zweck wurden auch die Ergebnisse (VTEH/24h) in vorliegender Studie den Relationen der Bewertung des Landes Steiermark (Bezirk Leibnitz) entsprechend in die Kategorie 1 (15,0%), Kategorie 2 (57,5%) und Kategorie 3 (27,5%) eingeteilt:

Tabelle 21: Gegenüberstellung der Streckenbedeutungen (Bewertung Land und Methodik Sturm)

Kategorisierung Land STMK	Streckenbedeutungen Methodik Sturm
15,0% in Kategorie 1	216 bis 8676 Verkehrsteilnehmereinheiten / 24 Stunden
57,5% in Kategorie 2	9 bis 215 Verkehrsteilnehmereinheiten / 24 Stunden
27,5% in Kategorie 3	0 bis 8 Verkehrsteilnehmereinheiten / 24 Stunden

Durch die Einteilung in Kategorien war es möglich Übereinstimmungen und Abweichungen digital auszuwerten. Tabelle 22 sind die ermittelten Häufigkeiten für alle möglichen Fälle in der Gegenüberstellung abzulesen. Demnach stimmten in 5.341 der 8.846 Fälle (Anzahl Segmente) die Bewertungen des Landes mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Methodik überein. Abweichungen von mehr als einer Klasse konnten in insgesamt 73 Fällen verzeichnet werden. Vor allem diese Segmente mit größerer Abweichung aber auch weitere Segmente mit einem Klassenunterschied von einer Klasse wurden näher betrachtet.

Tabelle 22: Auswertungstabelle der Gegenüberstellung (Bewertung Land und Methodik Sturm)

		Bedeutungsklasse Methodik Sturm		
		I	II	III
Bedeutungsklasse Land Steiermark	I	932	599	<u>48</u>
	II	914	3133	766
	III	<u>25</u>	1153	1276

Auch wenn die Bewertung in der Mehrheit (60,4%) der Fälle eine exakte Übereinstimmung der Klasse und nur in 73 (0,8%) der insgesamt 8.846 Fälle einen größeren Unterschied ergab, wurden zur Verbesserung der Methodik 135 Stellen zufällig ausgewählt und im Zuge von Befahrungen in Zusammenarbeit mit dem Land Steiermark näher betrachtet.

Im Zuge der Befahrungen wurde festgestellt, dass an 106 (78,5%) der 135 kontrollierten Stellen, die Ursache in den unterschiedlichen Grundkonzepten lag und es sich daher um keinen Mangel im vorliegenden System handelt. Wie in Kap. 3.1 beschrieben werden in der Praxis funktionale Klassifizierungen entsprechend der Normen zur Bewertung der Bedeutung herangezogen. Im Gegensatz dazu, wird in vorliegender Arbeit ein bedarfsorientierter Ansatz gewählt. Der Unterschied zwischen funktionaler und bedarfsorientierter Bedeutungsklassifizierung wird in Kap. 3.3 im Detail erläutert.

Die verbleibenden, kontrollierten 29 Unterschiede im Vergleich zur Bewertung des Landes stellten tatsächlich Mängel dar, die es im Zuge der weiteren Bearbeitung und den folgenden Studien zu beheben galt.

Im Detail konnten folgende Ursachen für mangelhafte Bewertungen festgestellt werden:

- Fehlerhafte Information zur Belagsart (unbefestigte Straßen wurde nicht als solche erkannt)
- Fehlerhafte Information zu Verkehrszeichen
 - Anrainerverkehr
 - Einfahrt verboten
 - Privatstraße
- Zu geringe Anzahl an Einspeisungspunkten (längere Straßensegmente müssen weiter unterteilt werden)
- Fehlende „Points of Interest“ (z.B. einzelne Standorte des Gastgewerbes nicht vorhanden)

Im nachfolgenden Kapitel wird auf getroffene Maßnahmen zur weiteren Verbesserung der Ergebnissicherheit eingegangen. Die Verbesserungen wurden im Zuge der Umsetzung der Studien Eisenerz und Leutschach (Kap. 7.4 und Kap. 7.5) bereits integriert.

7.3.4 Ergebnisinterpretation und Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung

Die Durchführung der Studie im Bezirk Leibnitz hat gezeigt, dass der erste Teil der Methodik für eine Fläche entsprechend des Bezirkes Leibnitz anwendbar ist. Aufgrund der ermittelten Rechenzeit kann davon ausgegangen werden, dass auch die Analyse von zwei Bezirken in einem Durchlauf mit einer geschätzten Anzahl von bis zu 500 Mio. Verkehrsbeziehungen unter vertretbarem Aufwand möglich ist.

Wie in Tabelle 21 ersichtlich befinden sich in der derzeitigen Zuordnung der Streckenbedeutungen in Leibnitz 15,0% der Straßen in der höchsten Bedeutungskategorie und die Mehrheit der Straßensegmente in der mittleren Kategorie (57,5%). Fragestellungen, wie z.B. Ausgabe der 10% oder 30% wichtigsten Straßen sind auf Basis der vorhandenen Informationen daher nicht möglich. Vorliegende Methodik hingegen bietet eine Quantifizierung der Straßenbedeutung in Verkehrsteilnehmereinheiten pro 24h, wodurch alle möglichen Quantile auswertbar sind.

In bestehenden Bedeutungsbewertungen wurden Bedeutungsklassen nur für gesamte Straßenzüge mit eindeutigen Straßenbezeichnungen dokumentiert. Vorliegende Methodik generiert Ergebnisse für einzelne Kanten des Netzmodells. Für bauliche Fragestellungen können Einzelwerte über die gewichteten Längen auf ein entsprechendes Niveau aggregiert werden.

Die Ergebnisse sind dabei in der Mehrheit der Fälle mit vorangegangenen manuellen Bewertungen seitens des Landes Steiermark vergleichbar (Kap. 7.3.3). Wenn es zu Abweichungen kommt, liegt das in der Regel an der angestrebten bedarfsorientierten (im Gegensatz zur funktionalen) Herangehensweise (Kap. 3.3).

Für offensichtlich fehlerhafte Ergebnisse werden den einzelnen Ursachen Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität zugeordnet (Tabelle 23).

Tabelle 23: Ursachen und Verbesserungsmöglichkeiten für mangelhafte Ergebnisse

Ursache der mangelhaften Bewertung	Maßnahme zur Verbesserung der Ergebnisqualität
Fehlerhafte Information zur Belagsart	<i>Kurzfristig:</i> Plausibilisierung seitens ortskundiger Personen und manuelle Korrektur <i>Langfristig:</i> Berücksichtigung in der GIP (siehe Kap. 3.2)
Fehlerhafte Information zu Verkehrszeichen	<i>Kurzfristig:</i> Plausibilisierung seitens ortskundiger Personen und manuelle Korrektur <i>Langfristig:</i> Berücksichtigung in der GIP (siehe Kap. 3.2)
Zu geringe Anzahl an Einspeisungspunkten	Generelle Unterteilung aller Kanten größer 500m (ländlicher Bereich), größer 250m (städtischer Bereich) und Einfügen zusätzlicher Einspeisungspunkte
Fehlende Points of Interest	<i>Kurzfristig:</i> Plausibilisierung und Ergänzung seitens ortskundiger Personen <i>Langfristig:</i> Automatisierte Vernetzung verschiedener Informationssysteme mit Informationen zu Sehenswürdigkeiten, Betrieben usw.

Die in Tabelle 23 erarbeiteten Maßnahmen zur Verbesserung der Ergebnisqualität wurden in den Studien Eisenerz und Leutschach (Kap. 7.4 und Kap. 7.5) bereits berücksichtigt.

7.4 Anwendungsbeispiel Eisenerz

7.4.1 Ergebnis der Streckenbedeutung

Auf Basis der Grundlagendaten wurde unter Berücksichtigung der Definitionen und spezifischen Entwicklungen der in Kap. 4 beschriebenen Methodik ein Verkehrsmodell aufgebaut. Als Umlegungsergebnis ergibt sich entsprechend der Abbildung 31 eine Straßenbedeutungskarte. Die angezeigten Ausschnitte sind im Anhang F.2 vergrößert dargestellt. Aufgrund der verwendeten Daten und berücksichtigten Aspekte handelt es sich entsprechend der Definition (siehe Kap. 4.1) nicht um klassische Verkehrszahlen, sondern um, nach Aspekten des Gemeinwohls gewichtete, prognostizierte Verkehrsteilnehmereinheiten pro 24 Stunden (VTEH/24h).

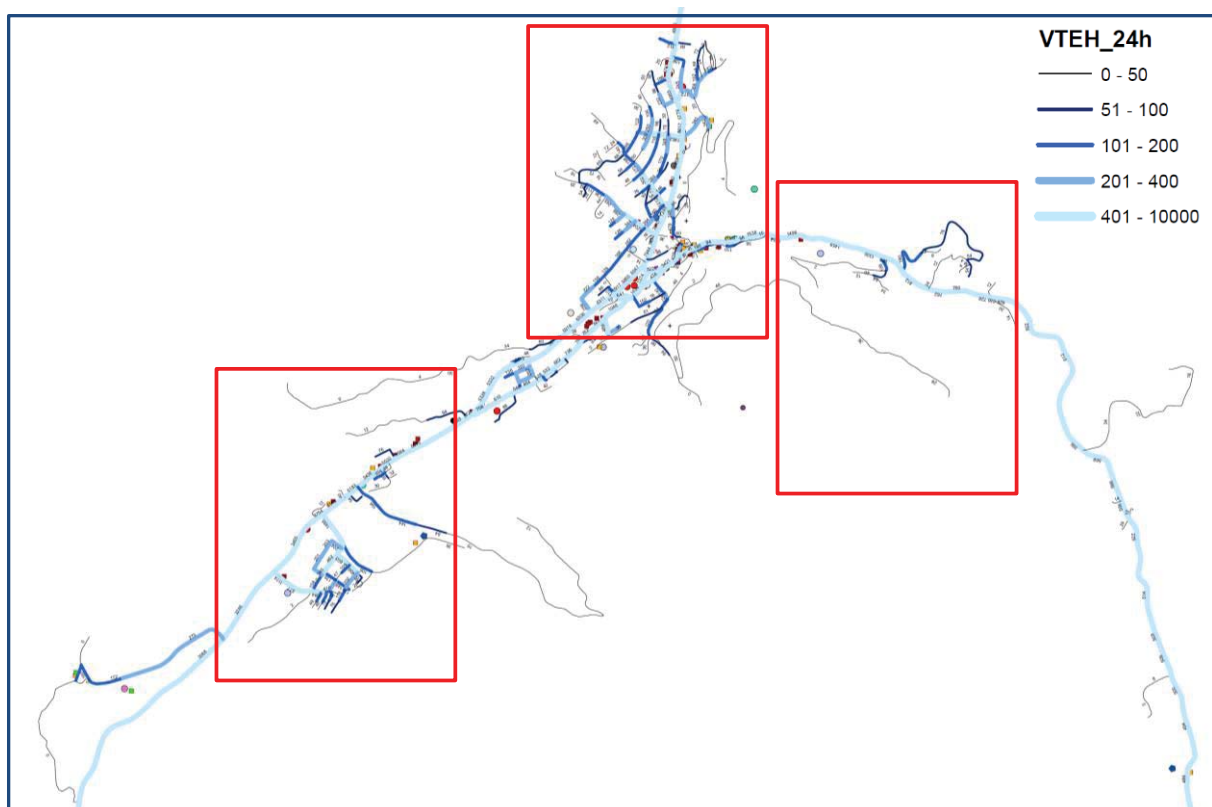


Abbildung 31: Ergebnis der Streckenbedeutungen im Projektgebiet Eisenerz

7.4.2 Auswahl der Abschnitte und Definition von Maßnahmenalternativen

Aus den in Kap. 2.2.4 beschriebenen Erhaltungsstrategien geht hervor, dass die Beurteilung strategischer Maßnahmen am Ende der Lebensdauer zu erfolgen hat. Solange die Substanz des Straßenaufbaus in Ordnung ist, können Lebenszykluskosten durch frühzeitige, regelmäßige Maßnahmen gesenkt werden. Strategische Maßnahmen wie „Liegenlassen“ und Redimensionierung an Straßen mit intakter Substanz hätten eine Verringerung der Nutzungsdauer und eine Vermögensreduktion zur Folge und sind daher wirtschaftlich nicht vertretbar (siehe Kap. 2.2.4). Es ist daher ausreichend Straßen der Kategorie C, entsprechend der Definition für kommunale Straßen des Landes Steiermark (Tabelle 3), heranzuziehen. Bei dieser Kategorie handelt es sich um Straßen, deren Zustand aufgrund struktureller Schäden eine Erneuerung erfordert. Da die, in vorliegender Arbeit präsentierte, Methodik Lebenszykluskosten berücksichtigt, hätte eine Auswahl an Straßen besseren

Zustandes keine Auswirkung auf die Ableitung strategischer Maßnahmen. Um diese Aussage verifizieren zu können, wurde mit der „Hieflauerstraße“ (siehe Tabelle 24) eine Straße in die Analyse miteinbezogen, deren Lebensdauer noch nicht erreicht wurde. In vorliegendem Beispiel wurden die in Abbildung 32 dargestellten zwölf Abschnitte ausgewählt.



Abbildung 32: Auswahl schadhafter Straßensegmente - Eisenerz

Für die ausgewählten Straßen wurde neben den Werten der Straßenbedeutung auch die jeweilige Abschnittslänge aus dem Netzgraphen ausgelesen. Informationen zu Belagsart, Breite und Zustand schadhafter Elemente wurden durch die Gemeinde zur Verfügung gestellt. Die für die Bewertung erforderliche Bestandsbeurteilung kann der Tabelle 24 entnommen werden.

Tabelle 24: Bestandsbeschreibung schadhafter Straßensegmente - Eisenerz

Nr.	Bezeichnung	Belag (aktuell)	Länge [km]	Breite [m]	Bedeutung [VTEH/24]	Zustand (A,B,C)	Schadhafte Elemente
1	Krumpentalerstraße I	Asphalt	0.96	5	1 500	C	S + K
2	Kaiserschildstraße	Asphalt	0.28	5	877	C	S +K
3	Europasiedlung	Asphalt	0.30	4.5	301	C	S + K
4	Vordernberger Straße	Pflaster	0.18	4.5	250	C	S
5	Hieflauerstraße	Asphalt	1.08	5	700	B	S + 50%K
6	Trofengbachgasse	Asphalt	0.14	5	700	C	S
7	Waldmeisterstraße	Asphalt	0.12	5	78	C	S + W + K
8	Kohlröserlweg/Zyklamenweg/Edelrautenweg	Asphalt	0.35	5	98	C	S + W + 66% K
9	Galleitenweg	unbefestigt	1.26	5	24	C	S
10	Schichtturmweg	unbefestigt	0.62	4	2	C	S
11	Leopoldsteinerseestraße	Asphalt	0.16	5	116	C	S
12	Krumpentalerstraße II	Asphalt	0.38	5	750	C	S + K

Erläuterung:
Bedeutung: Streckenbedeutungen aus Abbildung 31 in Zahlenwerten (Ergebnisse Methodik Teil 1)
Zustand: Einschätzung des Zustandes entsprechend der Kategorisierung des Landes Steiermark (Tabelle 3)
Schadhafte Elemente: Geltungsbereich mangelhafter Zustand; S...Straße, K...Kanal, W...Wasser

Auf Basis der Bestandsbeurteilung können alle technisch realisierbaren Maßnahmen abgeleitet werden. Entsprechend Kap. 5.2 und Tabelle 14 können folgende Maßnahmen aus technischer Sicht grundsätzlich an jedem Straßensegment durchgeführt werden:

- M1: Erneuerung – Grundlegende Substanzverbesserung
- M2: Instandsetzung – Sanierung der Deckschicht, keine Substanzverbesserung
- M3: Warnhinweise aufstellen – Keine bauliche Maßnahme, Absicherung gefährlicher Stellen
- M4: Unbefestigter Belag – Asphaltdeckschicht durch z.B. Recycling-Asphalt ersetzen
- M5: Kein Zugang – Schließung für Öffentlichkeit (Privatstraße)

Abhängig von der bestehenden Belagsart ergeben sich für die Studie Eisenerz folgende drei Ausnahmen:

- **Vordernberger Straße:** Aufgrund der bestehenden Pflasterung ist eine Instandsetzung technisch kaum umsetzbar
- **Galleitenweg:** Aufgrund der bestehenden unbefestigten Ausführung handelt es sich bei der Maßnahme M4 nicht um einen Umbau zur Schotterstraße, sondern um eine Erneuerung der bestehenden Schotterstraße
- **Schichtturmweg:** Aufgrund der bestehenden unbefestigten Ausführung handelt es sich bei der Maßnahme M4 nicht um einen Umbau zur Schotterstraße, sondern um eine Erneuerung der bestehenden Schotterstraße

Um maßnahmenbedingte Veränderungen im Zeitaufwand für Straßennutzer und in weiterer Folge den durch Zustand und Maßnahmen resultierenden Nutzeraufwand bewerten zu können, ist eine Abschätzung der fahrbaren Geschwindigkeit v_{fahrbar} entsprechend Kap. 5.4.3 erforderlich. Maßgebend ist hierbei jeweils die fahrbare Komfortgeschwindigkeit bei mangelhaftem Straßenzustand sowie bei einer durchgeführten Maßnahme. Die in Zusammenarbeit mit der Gemeinde abgeschätzte Geschwindigkeitsmatrix (Tabelle 25) beinhaltet Ansätze für den aktuellen Zustand und für die einzelnen analysierten Maßnahmen.

Tabelle 25: Geschwindigkeitenmatrix für Maßnahmen - Eisenerz

Bestandsbeschreibung und aktuell fahrbare Geschwindigkeit v_0				Geschwindigkeiten v_m nach Maßnahme					
Nr.	Bezeichnung	Belag (aktuell)	Zustandskategorie	Geschw. aufgrund aktuellem Zustand	M1: Erneuerung	M2: Instandsetzung	M3: Warnhinweis	M4: Unbefestigt	M5: kein Zugang
				v_0 [km/h]	v_1 [km/h]	v_2 [km/h]	v_3 [km/h]	v_4 [km/h]	v_5 [km/h]
1	Krumpentalerstraße I	Asphalt	C	40	50	50	30	20	0
2	Kaiserschildstraße	Asphalt	C	25	30	30	20	20	0
3	Europasiedlung	Asphalt	C	15	20	20	15	10	0
4	Vordernberger Straße	Pflaster	C	15	20	20	15	15	0
5	Hiefbauerstraße	Asphalt	B	30	30	30	30	20	0
6	Trofengbachgasse	Asphalt	C	20	25	25	15	15	0
7	Waldmeisterstraße	Asphalt	C	15	20	20	15	10	0
8	Kohlröserlweg/Zyklamenweg/Edelrautenweg	Asphalt	C	15	20	20	15	10	0
9	Galleitenweg	unbefestigt	C	10	20	15	10	15	0
10	Schichtturmweg	unbefestigt	C	10	20	15	10	15	0
11	Leopoldsteinerseestraße	Asphalt	C	15	25	25	15	15	0
12	Krumpentalerstraße II	Asphalt	C	40	50	50	30	20	0

Im Rahmen dieser Anwendung gilt es unter Berücksichtigung des gegebenen Budgets Entscheidungsgrundlagen dafür zu treffen, welche Abschnitte im ersten Schritt tatsächlich erneuert werden, welche Straßensegmente möglicherweise sogar rückgebaut werden sollten und für welche Maßnahmen eine „Minimalversorgung“ unter Berücksichtigung von verkehrlichen Einschränkungen in Frage kommt.

7.4.3 Maßnahmenbewertung

Die in Kap. 7.4.2 vorgeschlagenen Maßnahmen wurden getrennt für jeden betrachteten Abschnitt hinsichtlich der Investitions- und Folgekosten sowie des Nutzeraufwandes bewertet.

Zur Bewertung der Straßenbaulasträgerkosten (Investitions- und Folgekosten) nach Kap. 5.4 wurden im Rahmen dieser Studie lokale Kostenkennwerte (Werte aus Kostenvoranschlägen und Erfahrung in

der Straßenverwaltung) durch die Gemeinde Eisenerz zur Verfügung gestellt. Die Gesamtheit aller Kostenannahmen für die einzelnen Straßensegmente ist in Anhang D angeführt.

Nutzeraufwand und Kosten für Dritte

Entsprechend der in Kap. 5.4.3 beschriebenen Herangehensweise werden an den mangelhaften Stellen aktuelle Geschwindigkeiten zufolge des schlechten Zustandes im Verkehrsmodell berücksichtigt. Zur Bestimmung der Reisezeitdifferenzen aufgrund der durchgeführten Maßnahme, werden je beurteilten Abschnitt die Gesamtreisezeiten im Basisfall den Prognosefällen gegenübergestellt.

Tabelle 26 zeigt beispielhaft für einen Abschnitt sowohl die absoluten Gesamtreisezeiten und Gesamtreisedistanzen im betrachteten Netz, als auch die relativen Veränderungen jeweils im Vergleich zum Basisfall für einen Abschnitt (Kaiserschildstraße). Erwartungsgemäß ergeben sich demnach für die Fälle M1 und M2 kürzere und für die Fälle, „Warnhinweise aufstellen“ (M3), Schotterstraße (M4) und Totalsperre (M5) längere Zeiten für die Verkehrsteilnehmer. Die Reisezeitauswertungen für die Gesamtheit aller betrachteten Abschnitte befinden sich in Anhang E.1.

Tabelle 26: Gesamtreisezeiten und Differenzen Basisfall/Prognosefälle - Eisenerz

2 Kaiserschildstraße		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Bedeutung: 877 VTEH/24h Länge: 278 m				
M0	Basisfall	25	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	30	664.225,5	-605,9
M2	Instandsetzung	30	664.225,5	-605,9
M3	Gefahrenzeichen	20	665.509,8	678,3
M4	Unbefestigte Straße	20	665.509,8	678,3
M5	Kein Zugang	0	683.943,5	19.112,1

Über die Reisezeitdifferenzen Δ RZ und entsprechender Zeitkostensätze wird der Nutzeraufwand monetarisiert. Als Zeitkostensatzmischwert ZKS_m wurden in Bezug auf die RVS 02.01.22 unter Annahme einer Aufteilung zwischen Geschäfts-, Berufspendel- und Freizeit-/Ausbildungsverkehr von 7%, 23% und 70% und unter Berücksichtigung der Wertanpassung 15,8 [€/h] veranschlagt (siehe Kap. 5.4.3).

Über die Wegelängendifferenzen sind der Nutzeraufwand aus Fahrzeugbetriebskosten und Kosten für Dritte analog zur Monetarisierung des Nutzeraufwandes ermittelbar, wurden in vorliegender Fallstudie jedoch vernachlässigt.

7.4.4 Aggregation und Gegenüberstellung der bewerteten Maßnahmen

Wie in Kap. 5.5 beschrieben setzt sich die Nutzenveränderung einzelner Maßnahmen aus folgenden Nutzenkomponenten zusammen:

- Jährliche Maßnahmenkosten der Investition (JMK_m , jährliche Wiederbeschaffungskosten) der Maßnahme m [€/Jahr]
- Differenz der laufenden Erhaltung (ΔIK , mit und ohne Maßnahme) [€/Jahr]
- Effekt der Kanalerneuerung (Risiko durch Schäden, Umweltwirkung, mögliche Strafzahlungen und Risiko durch verpflichtende Zusatzinvestitionen)
- Nutzeraufwandsdifferenz (ΔNA , mit und ohne Maßnahme) [€/Jahr]

Nachstehend sind zwei Beispiele (Trofengbachgasse und Galleitenweg) für Bewertungsergebnisse einzelner Maßnahmen für unterschiedliche Streckenabschnitte angeführt.

Dabei werden, wie in nachstehenden Abbildungen und Tabellen, die einzelnen Nutzerkomponenten zur gesamten monetären Nutzenveränderung aufgrund der getroffenen Maßnahme angezeigt. Die Darstellung erfolgt in Abbildung 33 und Abbildung 34 (das Sperren des Zuganges wurde als unattraktivste Maßnahme aus Lesbarkeitsgründen nicht dargestellt) als kumulierte Werte über die Nutzungsjahre. In Tabelle 27 und Tabelle 28 erfolgt die Darstellung in diskreten Werten als jährliche Kosten. Während durch das Beispiel Trofengbachstraße (Abbildung 33 und Tabelle 27) Kosten und Nutzen für eine Gemeindestraße mit hoher Bedeutung (700 VTEH/24h) dargestellt werden, zeigt das Beispiel des Galeitenweges (Abbildung 34 und Tabelle 28) die Ergebnisse für eine unbefestigte Straße geringer Bedeutung (24 VTEH/24h). Die Straßenbedeutung schlägt sich in weiterer Folge im Nutzeraufwand und letztendlich in der monetären Nutzenveränderung nieder.

Über Rangbildung in Tabelle 27 und Tabelle 28 (Spalte rechts außen) lässt sich die für den Einzelabschnitt beste Variante kennzeichnen.

Für die Straße hoher Priorität wird die Erneuerungsmaßnahme (M1) als Maßnahme mit der größten Nutzenverbesserung ausgewählt. Bei einer Instandsetzung (M2) kommt es hier ebenfalls zu einer positiven Nutzenveränderung. Durch das Aufstellen von Warnhinweisen (M3, ohne bauliche Maßnahme) und durch einen möglichen Umbau zur unbefestigten Straße kommt es durch den steigenden Nutzeraufwand (Zeitaufwand) für Verkehrsteilnehmer zu einer negativen Nutzenveränderung. Das Sperren des Zugangs (M5) zu vorliegendem Straßensegment bildet in diesem Fall die ungünstigste Maßnahme.

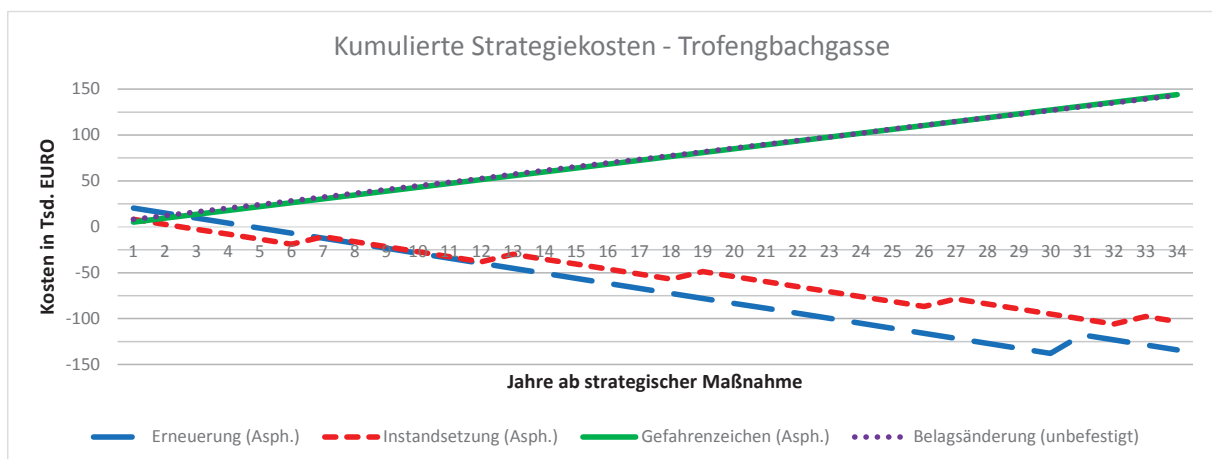


Abbildung 33: Kumulierte Strategiekosten für eine Straße höherer Bedeutung - Eisenerz

Tabelle 27: Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnis Kaiserschildstraße

6 Trofengbachg.		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 700 VTEH/24h Länge: 136 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	25.840	-1.715	218	5.242	0	3.745	1
M2	Instandsetzung	13.600	-2.267	190	5.242	0	3.166	2
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	109	-4.314	0	-4.206	3
M4	Schotter	4.080	-272	258	-4.314	0	-4.328	4
M5	Sperre	1.000	0	326	-∞	0	-∞	5

Für eine Straße geringerer Bedeutung zeigt sich hingegen ein anderes Bild. Bei dieser Straße handelt es sich um einen derzeit unbefestigten Weg. Eine Erneuerung inklusive Asphaltbelag (M1) erscheint hier aufgrund der hohen kalk. Abschreibung als nicht günstig. Die Erneuerung der unbefestigten Straße (M4) wird in diesem Fall als günstigste Maßnahme ausgewiesen. Die Maßnahme „kein Zugang“ erhält in diesem Fall eine unendlich negative Nutzenveränderung, da es sich um eine Erschließungsstraße handelt und im Falle einer Sperre Bewohner vom restlichen Straßennetz abgeschnitten wären.

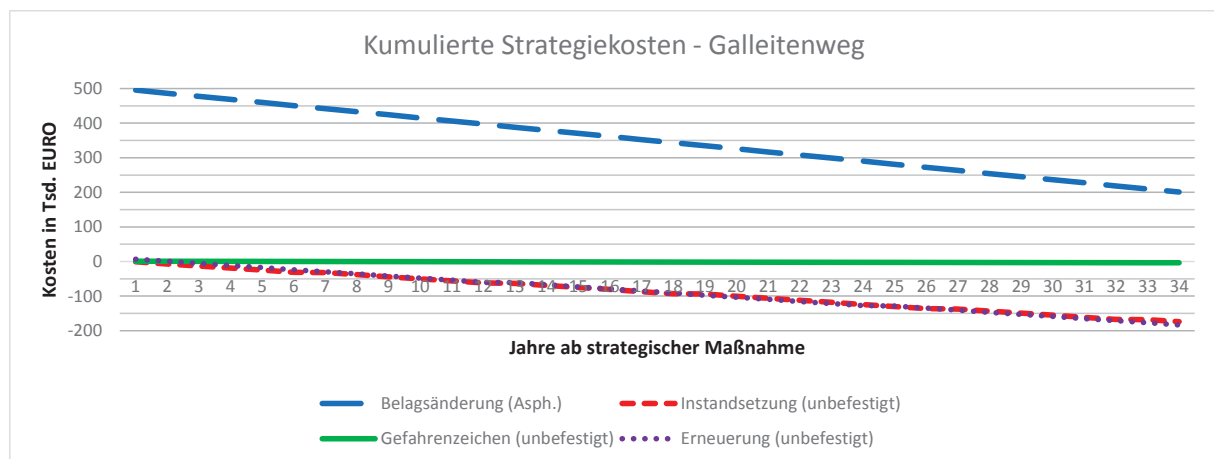


Abbildung 34: Kumulierte Strategiekosten für eine Straße niedriger Bedeutung - Eisenerz

Tabelle 28: Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnis Galleitenweg

9 Galleitenweg		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 24 VTEH/24h Länge: 1261 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	504.400	-17.567	189	8.740	0	-8.638	4
M2	Instandsetzung	5.044	-1.009	189	5.826	0	5.007	2
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	142	0	0	142	3
M4	Unbefestigte Straße	12.610	-901	227	5.826	0	5.153	1
M5	Kein Zugang	1.000	0	567	-∞	0	-∞	5

Die Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnisse samt Rangbildung befinden sich für alle betrachteten Abschnitte in Anhang E.2.

7.4.5 Optimierung und Ergebnisse

Für eine Optimierung im gesamten Gemeinденetz ist gemäß Kap. 6.1.2 die Angabe des für strukturelle Maßnahmen voraussichtlich zur Verfügung stehenden Budgets für die kommenden Jahre Grundvoraussetzung. Im vorliegenden Beispiel werden 200.000€ als jährliches Budget angenommen.

Tabelle 29: Verfügbare Budgetmittel für die kommenden fünf Jahre bei Standardbudget - Eisenerz

	2016	2017	2018	2019	2020
Budget f. Straßen *	200.000 €	200.000 €	200.000 €	200.000 €	200.000 €

*da Instandhaltungsmaßnahmen nicht Teil der Optimierung sind und ausschließlich übergeordnete strategische Maßnahmen evaluiert werden, dürfen im angegebenen Budget keine Beträge für die laufende Erhaltung enthalten sein.

Als Vergleich dazu wird ein Szenario mit Eventualbudget zusätzlich beurteilt. Im vorliegenden Fall wurden für das Jahr 2017 zusätzliche 800.000€ und für das Jahr 2019 zusätzliche 300.000€ berücksichtigt.

Tabelle 30: Verfügbare Budgetmittel für die kommenden fünf Jahre bei Eventualbudget - Eisenerz

	2016	2017	2018	2019	2020
Budget f. Straßen *	200.000 €	1.000.000 €	200.000 €	500.000 €	200.000 €

*da Instandhaltungsmaßnahmen nicht Teil der Optimierung sind und ausschließlich übergeordnete strategische Maßnahmen evaluiert werden, dürfen im angegebenen Budget keine Beträge für die laufende Erhaltung enthalten sein.

In der Optimierung wird der Nutzen durch die Auswahl von je einer Maßnahme pro Straßensegment über die in Tabelle 19 beschriebene Zielfunktion maximiert. Die Budgetrestriktionen aus obenstehenden Tabellen müssen daher für jedes Jahr eingehalten werden. Die durch den Python Code generierte Ausgabe befindet sich in Anhang F.3. Die Ergebnisse strategischer Maßnahmen können für das Standard- und Eventualbudget, wie in Tabelle 31 ersichtlich, zusammengefasst dargestellt werden. Während sich für das Segment Nr. 1 Krumpentalerstraße I bei Standardbudget lediglich eine Instandsetzung finanzieren lässt, kann bei Eventualbudget eine Erneuerung durchgeführt werden. Für den in Tabelle 28 durch Kosten und Nutzen beschriebenen unbefestigten Galleitenweg wird auch bei Eventualbudget keine Erneuerung mit Asphaltbelag vorgeschlagen.

Tabelle 31: Ergebnis: Maßnahmen – Standard- und Eventualbudget - Eisenerz

Nr.	Straßenbezeichnung	Belag aktuell	Elemente	Bedeutung [VTEH/24h]	Zustand	Länge	Ausgewählte MASSNAHME bei STANDARD-Budget	Ausgewählte MASSNAHME bei EVENTUAL-Budget
					[A-C]	[km]		
1	Krumpentalerstraße I	Asph.	S+K	1500	C	0,96	Instandsetzung	Erneuerung
2	Kaiserschildstraße	Asph.	S+K	877	C	0,28	Instandsetzung	Erneuerung
3	Europasiedlung	Asph.	S+K	301	C	0,30	Instandsetzung	Instandsetzung
4	Vordernberger Straße	Pflast.	S	250	C	0,18	Erneuerung	Erneuerung
5	Hiefbauerstraße	Asph.	S+50%K	700	B	1,08	Gefahrenhinweis	Gefahrenhinweis
6	Trofengbachgasse	Asph.	S	700	C	0,14	Erneuerung	Erneuerung
7	Waldmeisterstraße	Asph.	S+W+K	78	C	0,12	Erneuerung	Erneuerung
8	Kohlr./Zykl./Edelr.	Asph.	S+W+66%K	99	C	0,35	Gefahrenhinweis	Erneuerung
9	Galleitenweg	unbef.	S	24	C	1,26	Unbef. Erneuerung	Unbef. Erneuerung
10	Schichtturmweg	unbef.	S	2	C	0,62	Gefahrenhinweis	Gefahrenhinweis
11	Leopoldsteinerseestr.	Asph.	S	116	C	0,16	Erneuerung	Erneuerung
12	Krumpentalerstraße II	Asph.	S+K	750	C	0,38	Instandsetzung	Instandsetzung

S...Straße, K...Kanal, W...Wasserleitung, unbef... unbefestigter Weg, Asph...asphaltierte Straße

In nachstehenden Tabellen ist jeweils der Investitionsplan bei Standard- (Tabelle 32) und Eventualbudget (Tabelle 33) dargestellt.

Tabelle 32: Ergebnis: Investitionsplan für das Szenario Standardbudget - Eisenerz

Nr.	Straßenbezeichnung	Ausgewählte MASSNAHME bei STANDARD-Budget	Einmalige Maßnahmenkosten [€]				
			Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
1	Krumpentalerstraße I	Instandsetzung		95.500			
2	Kaiserschildstraße	Instandsetzung	27.800				
3	Europasiedlung	Instandsetzung		30.000			
4	Vordernberger Straße	Erneuerung			33.440		
5	Hiefbauerstraße	Gefahrenhinweis	1.000				
6	Trofengbachgasse	Erneuerung		25.840			
7	Waldmeisterstraße	Erneuerung	124.809				
8	Kohlr./Zykl./Edelr.	Gefahrenhinweis	1.000				
9	Galleitenweg	Unbef. Erneuerung		12.610			
10	Schichtturmweg	Gefahrenhinweis	1.000				
11	Leopoldsteinerseestr.	Erneuerung		30.400			
12	Krumpentalerstraße II	Instandsetzung	38.200				
Summe pro Jahr			193.809	194.350	33.440		

Tabelle 33: Ergebnis: Investitionsplan für das Szenario Eventualbudget - Eisenerz

Nr.	Straßenbezeichnung	Ausgewählte MASSNAHME bei EVENTUAL-Budget	Einmalige Maßnahmenkosten [€]				
			Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
1	Krumpentalerstraße I	Erneuerung		760.021			
2	Kaiserschildstraße	Erneuerung		221.242			
3	Europasiedlung	Instandsetzung			30.000		
4	Vordernberger Straße	Erneuerung			33.440		
5	Hieflauerstraße	Gefahrenhinweis	1.000				
6	Trofengbachgasse	Erneuerung	25.840				
7	Waldmeisterstraße	Erneuerung	124.809				
8	Kohlr./Zykl./Edelr.	Erneuerung				330.076	
9	Galleitenweg	Unbef. Erneuerung		12.610			
10	Schichtturmweg	Gefahrenhinweis	1.000				
11	Leopoldsteinerseestr.	Erneuerung			30.400		
12	Krumpentalerstraße II	Instandsetzung	38.200				
Summe pro Jahr			190.849	993.873	93.840	330.076	

7.5 Anwendungsbeispiel Leutschach

7.5.1 Ergebnis der Streckenbedeutung

Auf Basis der Grundlagendaten wurde unter Berücksichtigung der Definitionen und spezifischen Entwicklungen der in Kap. 4 beschriebenen Methodik ein Verkehrsmodell aufgebaut. Als Umlegungsergebnis ergibt sich entsprechend der Abbildung 35 eine Straßenbedeutungskarte. Die angezeigten Ausschnitte sind im Anhang F.2 vergrößert dargestellt. Aufgrund der verwendeten Daten und berücksichtigten Aspekte handelt es sich entsprechend der Definition (siehe Kap. 4.1) nicht um klassische Verkehrszahlen, sondern um, nach Aspekten des Gemeinwohls gewichtete, prognostizierte Verkehrsteilnehmereinheiten pro 24 Stunden (VTEH/24h).

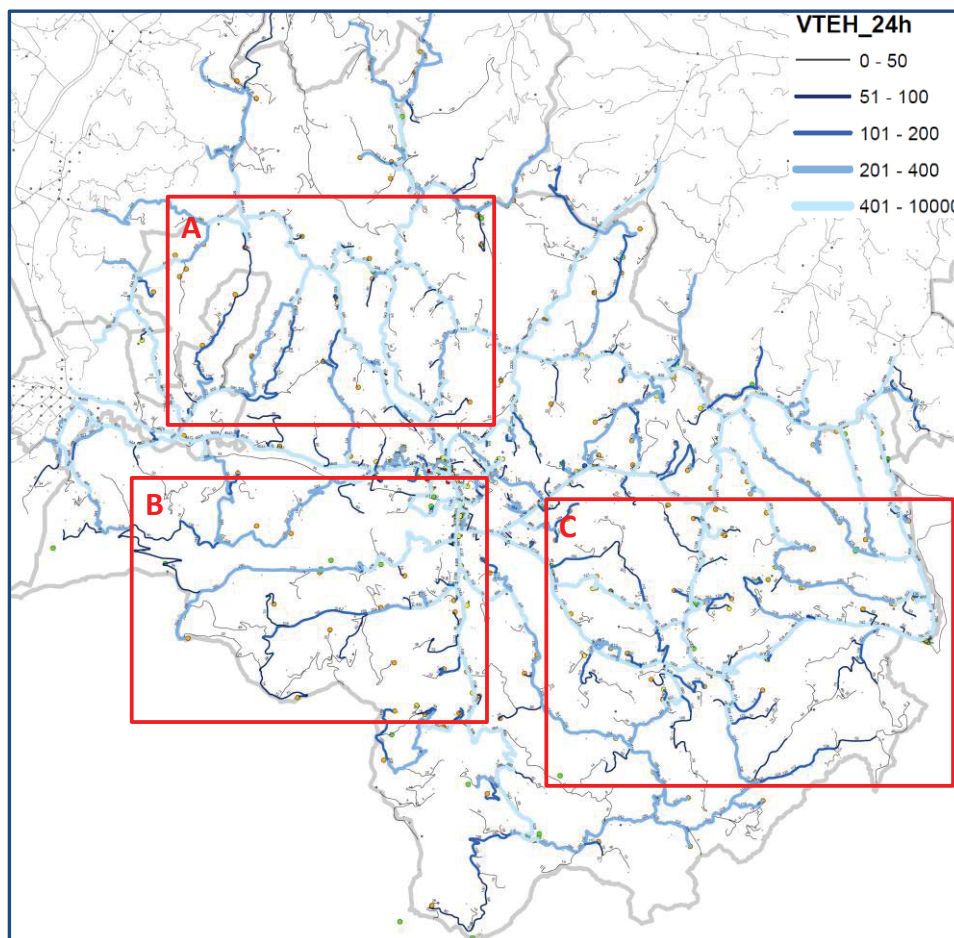


Abbildung 35: Ergebnis der Streckenbedeutungen im Projektgebiet Leutschach

7.5.2 Auswahl der Abschnitte und Definition von Maßnahmenalternativen

Aus den in Kap. 2.2.4 beschriebenen Erhaltungsstrategien geht hervor, dass die Beurteilung strategischer Maßnahmen am Ende der Lebensdauer zu erfolgen hat. Solange die Substanz des Straßenaufbaus in Ordnung ist, können Lebenszykluskosten durch frühzeitige, regelmäßige Maßnahmen gesenkt werden. Strategische Maßnahmen wie „Liegenlassen“ und Redimensionierung an Straßen mit intakter Substanz hätten eine Verringerung der Nutzungsdauer und eine Vermögensreduktion zur Folge und sind daher wirtschaftlich nicht vertretbar (siehe Kap. 2.2.4). Es ist daher ausreichend Straßen der Kategorie C, entsprechend der Definition für kommunale Straßen des Landes Steiermark (Tabelle 3), heranzuziehen. Bei dieser Kategorie handelt es sich um Straßen, deren

Zustand aufgrund struktureller Schäden eine Erneuerung erfordert. Mit der Rosenberggasse wurde auf Wunsch der Gemeinde eine Straße der Zustandskategorie A mitberücksichtigt. Hier wird keine Erneuerung der Straße angedacht, sondern eine Mauerversetzung zur Behebung einer Engstelle. Es gilt zu verifizieren, ob vorliegende Methodik auch derartige Fragestellungen behandeln kann. In vorliegendem Beispiel wurden die in Abbildung 36 dargestellten 17 Abschnitte ausgewählt.

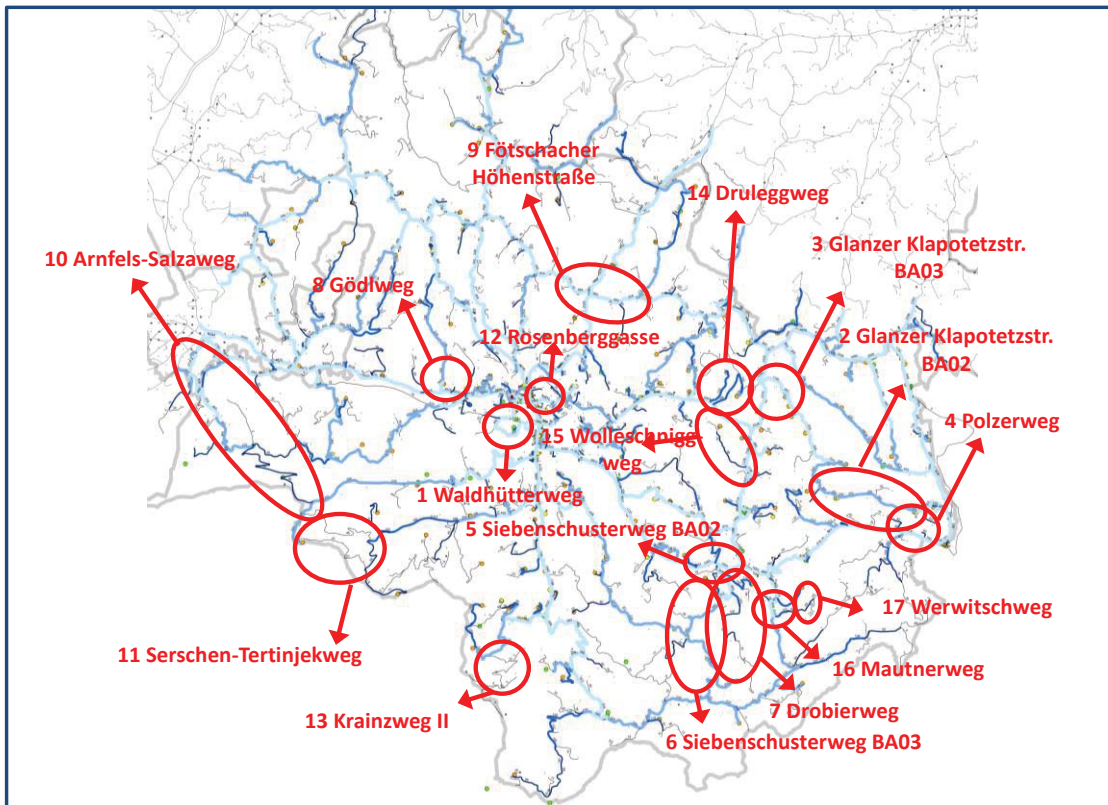


Abbildung 36: Auswahl schadhafter Straßensegmente - Leutschach

Für die ausgewählten Straßen wurde neben den Werten der Straßenbedeutung auch die jeweilige Abschnittslänge aus dem Netzgraphen ausgelesen. Informationen zu Belagsart, Breite und Zustand schadhafter Elemente wurden durch die Gemeinde zur Verfügung gestellt. Die für die Bewertung erforderliche Bestandsbeurteilung kann der Tabelle 34 entnommen werden.

Tabelle 34: Bestandsbeschreibung schadhafter Straßensegmente - Leutschach

Nr.	Bezeichnung	Belag (aktuell)	Länge [km]	Breite [m]	Bedeutung [VTEH/24]	Zustand (A,B,C)	Schadhafte Elemente
1	Waldhütterweg	Asphalt	1.21	3.0	450	C	S + B + G
2	Glanzer Klapotetzstraße BA02	Asphalt	1.40	3.0	400	C	S
3	Glanzer Klapotetzstraße BA03	Asphalt	1.00	3.0	1100	C	S
4	Polzerweg	Pflaster	0.13	2.6	62	C	S
5	Siebenschusterweg BA02	Asphalt	0.10	3.0	800	C	S + B
6	Siebenschusterweg BA03	Asphalt	1.20	3.0	300	B	S
7	Drobierweg	Asphalt	2.35	3.0	50	C	S

8	Gödlweg (Eichberg)	Asphalt	1.00	3.0	400	C	S
9	Fötschacher Höhenstraße BA 03	Asphalt	1.20	3.0	900	C	S
10	Arnfels-Salzaweg	Asphalt	2.50	3.0	175	C	S
11	Serschen-Tertinjekweg	Asphalt	2.00	3.0	22	C	S
12	Rosenberggasse	Asphalt	0.10	3.0	2000	A	Engstelle
13	Krainzweg II	Asphalt	2.31	3.0	16	C	S
14	Druleggweg	Asphalt	0.98	3.0	180	C	S
15	Wolleschniggweg	Asphalt	1.02	3.0	80	C	S
16	Mautnerweg	Asphalt	0.75	3.0	58	C	S
17	Werwitschweg	Asphalt	0.32	3.0	32	C	S
Erläuterung:							
<u>Bedeutung:</u> Streckenbedeutungen aus Abbildung 35 in Zahlenwerten (Ergebnisse Methodik Teil 1)							
<u>Zustand:</u> Einschätzung des Zustandes entsprechend der Kategorisierung des Landes Steiermark (Tabelle 3)							
<u>Schadhafte Elemente:</u> Geltungsbereich mangelhafter Zustand; S...Straße, B...Brücke, G...Gehsteig							

Auf Basis der Bestandsbeurteilung können alle technisch realisierbaren Maßnahmen abgeleitet werden. Für das vorliegende Projekt wurden folgende Standardmaßnahmen je Straßenabschnitt untersucht:

- M1: Erneuerung (Asphalt oder Recyclingasphalt mit Spritzdecke) inkl. Begleitmaßnahmen – Grundlegende Substanzverbesserung
- M2: Warnhinweise aufstellen – Keine bauliche Maßnahme, Absicherung gefährlicher Stellen
- M3: Unbefestigter Belag – Asphaltdeckschicht durch z.B. Recycling-Asphalt ersetzen
- M4: Kein Zugang – Schließung

Abhängig von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten ergeben sich für die Studie Leutschach folgende zwei Ausnahmen:

- **Siebenschusterweg BA 02:** Mängel betreffend Brückentragfähigkeit – Unbefestigte Straße daher keine adäquate Lösung
- **Rosenberggasse:** Sonderfall: Keine Substanzschäden, daher Warnhinweise und unbefestigte Variante keine adäquate Lösung – Engstelle ist das zu behebende Problem, als investive Maßnahme wurde Mauerversetzung berücksichtigt. Als weitere Variante wurde ein Einbahnsystem getestet

Um maßnahmenbedingte Veränderungen im Zeitaufwand für Straßennutzer und in weiterer Folge den durch Zustand und Maßnahmen resultierenden Nutzeraufwand bewerten zu können, ist eine Abschätzung der fahrbaren Geschwindigkeit v_{fahrbar} entsprechend Kap. 5.4.3 erforderlich. Maßgebend ist hierbei jeweils die fahrbare Komfortgeschwindigkeit bei mangelhaftem Straßenzustand sowie bei einer durchgeführten Maßnahme. Die in Zusammenarbeit mit den Gemeinde- und Landesvertretern abgeschätzte Geschwindigkeitsmatrix (Tabelle 35) beinhaltet Ansätze für den aktuellen Zustand und für die einzelnen analysierten Maßnahmen.

Tabelle 35: Geschwindigkeitenmatrix für Maßnahmen - Leutschach

Bestandsbeschreibung und aktuell fahrbare Geschwindigkeit v_0									
Nr.	Bezeichnung	Belag (aktuell)	Zustandskategorie	Geschw. aufgrund aktuellem Zustand	M1: Erneuerung	M2: Warnhinweis	M3: Unbefestigt	M4: kein Zugang	
				v_0 [km/h]	v_1 [km/h]	v_3 [km/h]	v_4 [km/h]	v_5 [km/h]	
1	Waldhütterweg	Asphalt	C	25	30	20	15	0	
2	Glanzer Klapotetzstraße BA02	Asphalt	C	25	30	20	15	0	
3	Glanzer Klapotetzstraße BA03	Asphalt	C	25	30	20	15	0	
4	Polzerweg	Pflaster	C	20	20	20	15	0	
5	Siebenschusterweg BA02	Asphalt	C	30	30	20	15	0	
6	Siebenschusterweg BA03	Asphalt	B	35	40	30	15	0	
7	Drobierweg	Asphalt	C	25	35	20	15	0	
8	Gödlweg (Eichberg)	Asphalt	C	25	30	20	15	0	
9	Fötschacher Höhenstraße BA 03	Asphalt	C	25	30	20	15	0	
10	Arnfels-Salzaweg	Asphalt	C	25	30	20	15	0	
11	Serschen-Tertinjekweg	Asphalt	C	20	25	20	15	0	
12	Rosenberggasse	Asphalt	A	25	30	20	15	0	
13	Krainzweg II	Asphalt	C	20	25	20	15	0	
14	Druleggweg	Asphalt	C	25	30	20	15	0	
15	Wolleschniggweg	Asphalt	C	25	30	20	15	0	
16	Mautnerweg	Asphalt	C	25	30	20	15	0	
17	Werwitschweg	Asphalt	C	20	25	20	15	0	

Im Rahmen dieser Anwendung gilt es unter Berücksichtigung des gegebenen Budgets Entscheidungsgrundlagen dafür zu treffen, welche Abschnitte im ersten Schritt tatsächlich erneuert werden, welche Straßensegmente möglicherweise sogar rückgebaut werden sollten und für welche Maßnahmen eine „Minimalversorgung“ unter Berücksichtigung von verkehrlichen Einschränkungen in Frage kommt.

7.5.3 Maßnahmenbewertung

Die in Kap. 7.5.2 vorgeschlagenen Maßnahmen wurden getrennt für jeden betrachteten Abschnitt hinsichtlich der Investitions- und Folgekosten sowie des Nutzeraufwandes bewertet.

Zur Bewertung der Straßenbaulastträgerkosten (Investitions- und Folgekosten) nach Kap. 5.4 wurden im Rahmen dieser Studie lokale Kostenkennwerte (Werte aus Kostenvoranschlägen und Erfahrung in der Straßenverwaltung) durch die Gemeinde Leutschach sowie durch die Abteilung 7 des Amtes der

Steiermärkischen Landesregierung zur Verfügung gestellt. Die Gesamtheit aller Kostenannahmen für die einzelnen Straßensegmente ist in Anhang D angeführt.

Nutzeraufwand und Kosten für Dritte

Entsprechend der in Kap. 5.4.3 beschriebenen Herangehensweise werden an den mangelhaften Stellen aktuelle Geschwindigkeiten zufolge des schlechten Zustandes im Verkehrsmodell berücksichtigt. Zur Bestimmung der Reisezeitdifferenzen aufgrund der durchgeführten Maßnahme, werden je beurteilten Abschnitt die Gesamtreisezeiten im Basisfall den Prognosefällen gegenübergestellt.

Tabelle 36 zeigt beispielhaft für einen Abschnitt sowohl die absoluten Gesamtreisezeiten und Gesamtreisedistanzen im betrachteten Netz, als auch die relativen Veränderungen jeweils im Vergleich zum Basisfall (Glanzer Klapotetzstraße BA03). Erwartungsgemäß ergeben sich demnach für den Fall Asphalterneuerung (M1) kürzere und für die Fälle, „Warnhinweise aufstellen“ (M2), Schotterstraße (M3) und Totalsperre (M4) längere Zeiten für die Verkehrsteilnehmer. Die Reisezeitauswertungen für die Gesamtheit aller betrachteten Abschnitte befinden sich in Anhang E.1.

Tabelle 36: Gesamtreisezeiten und Differenzen Basisfall/Prognosefälle - Leutschach

3 Glanzer Klapotetzstraße BA03			
Bedeutung: 1100 VTEH/24h	Geschw. v	Reisezeit (RZ)	Δ RZ
Länge: 1000 m	[km/h]	[h/a]	[h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Asphalterneuerung	30	5.030.069,5	-2.201,6
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.035.559,6	3.288,5
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.040.969,3	8.698,1
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

Über die Reisezeitdifferenzen Δ RZ und entsprechender Zeitkostensätze wird der Nutzeraufwand monetarisiert. Als Zeitkostensatzmischwert ZKS_m wurden in Bezug auf die RVS 02.01.22 unter Annahme einer Aufteilung zwischen Geschäfts-, Berufspendel- und Freizeit-/Ausbildungsverkehr von 7%, 23% und 70% und unter Berücksichtigung der Wertanpassung 15,8 [€/h] veranschlagt (siehe Kap. 5.4.3).

Über die Wegelängendifferenzen sind der Nutzeraufwand aus Fahrzeugbetriebskosten und Kosten für Dritte analog zur Monetarisierung des Nutzeraufwandes ermittelbar, wurden in vorliegender Fallstudie jedoch vernachlässigt.

7.5.4 Aggregation und Gegenüberstellung der bewerteten Maßnahmen

Wie in Kap. 5.5 beschrieben setzt sich die Nutzenveränderung einzelner Maßnahmen aus folgenden Nutzenkomponenten zusammen:

- Jährliche Maßnahmenkosten der Investition (JMK_m , jährliche Wiederbeschaffungskosten) der Maßnahme m [€/Jahr]
- Differenz der laufenden Erhaltung (ΔIK , mit und ohne Maßnahme) [€/Jahr]
- Nutzeraufwandsdifferenz (ΔNA , mit und ohne Maßnahme) [€/Jahr]

Nachstehend sind zwei Beispiele (Glanzer Klapotetzstraße und Werwitschweg) für Bewertungsergebnisse einzelner Maßnahmen für unterschiedliche Streckenabschnitte angeführt. Dabei werden, wie in nachstehenden Abbildungen und Tabellen, die einzelnen Nutzerkomponenten zur gesamten monetären Nutzenveränderung aufgrund der getroffenen Maßnahme angezeigt. Die Darstellung erfolgt in Abbildung 37 und Abbildung 38 (das Sperren des Zuganges wurde als unattraktivste Maßnahme aus Lesbarkeitsgründen nicht dargestellt) als kumulierte Werte über die Nutzungsjahre. In Tabelle 37 und Tabelle 38 erfolgt die Darstellung in diskreten Werten als jährliche Kosten. Während durch das Beispiel Glanzer Klapotetzstraße (Abbildung 37 und Tabelle 37) Kosten und Nutzen für eine Gemeindestraße mit hoher Bedeutung (1100 VTEH/24h) dargestellt werden, zeigt das Beispiel des Werwitschwegs (Abbildung 38 und Tabelle 38) die Ergebnisse für eine unbefestigte Straße geringer Bedeutung (32 VTEH/24h). Die Straßenbedeutung schlägt sich in weiterer Folge im Nutzeraufwand und letztendlich in der monetären Nutzenveränderung nieder. Über Rangbildung in Tabelle 37 und Tabelle 38 (Spalte rechts außen) lässt sich die für den Einzelabschnitt beste Variante kennzeichnen.

Für die Straße hoher Priorität wird die Erneuerungsmaßnahme als Maßnahme mit der größten Nutzenverbesserung ausgewählt. Durch das Aufstellen von Warnhinweisen (M2, ohne bauliche Maßnahme) sowie durch den Umbau zur unbefestigten Straße (M3) kommt es durch den steigenden Nutzeraufwand (Zeitaufwand) für Verkehrsteilnehmer zu einer negativen Nutzenveränderung. Das Sperren des Zugangs (M4) zu vorliegendem Straßensegment stellt einen unendlich negativen Nutzen dar, da aufgrund der Abschnittslänge Anrainer vom restlichen Netz abgeschnitten wären.

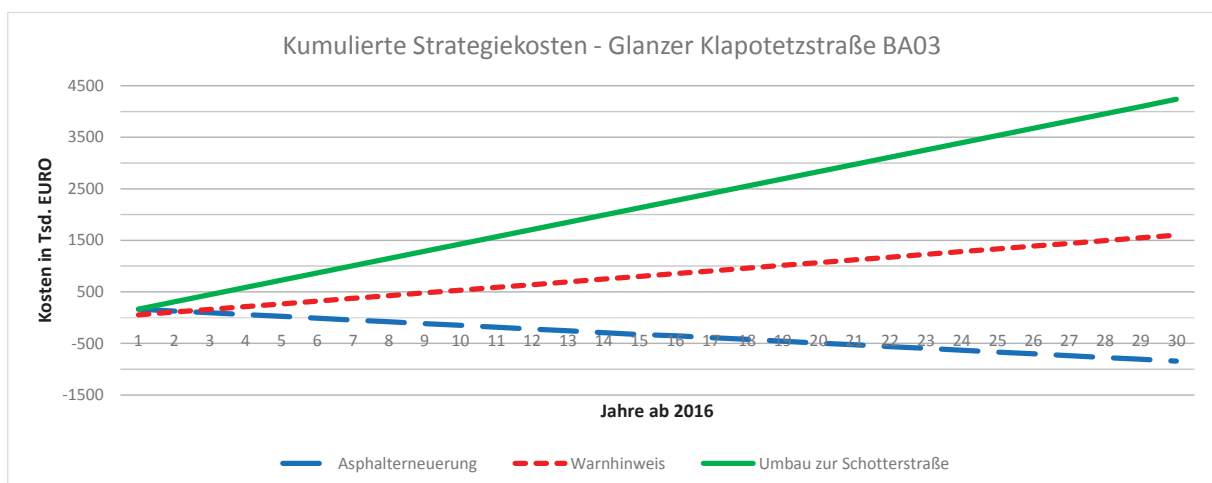


Abbildung 37: Kumulierte Strategiekosten für eine Straße höherer Bedeutung - Leutschach

Tabelle 37: Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnis Glanzer Klapotetzstraße

3 Glanzer Klapotetzstraße BA03 Bedeutung: 1100 VTEH/24h Länge: 1000 m	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
M1: Asphalterneuerung	200.000	-7.000	270	34.814	28.084	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-1.350	-51.999	-53.366	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	25.500	-6.510	2.830	-137.540	-141.220	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	270	-∞	-∞	4

Für eine Straße geringerer Bedeutung zeigt sich hingegen ein anderes Bild. Eine Erneuerung mit Recycling-Asphalt inkl. Spritzdecke (M1) erscheint hier aufgrund der hohen Investitionskosten als nicht günstig. Das „Liegenlassen“ unter Warnhinweisen (M2) wird in diesem Fall als günstigste Maßnahme ausgewiesen. Die Maßnahme „kein Zugang“ (M4) erhält in diesem Fall eine unendlich negative Nutzenveränderung, da es sich um eine Erschließungsstraße handelt und im Falle einer Sperre Bewohner vom restlichen Straßennetz abgeschnitten wären.

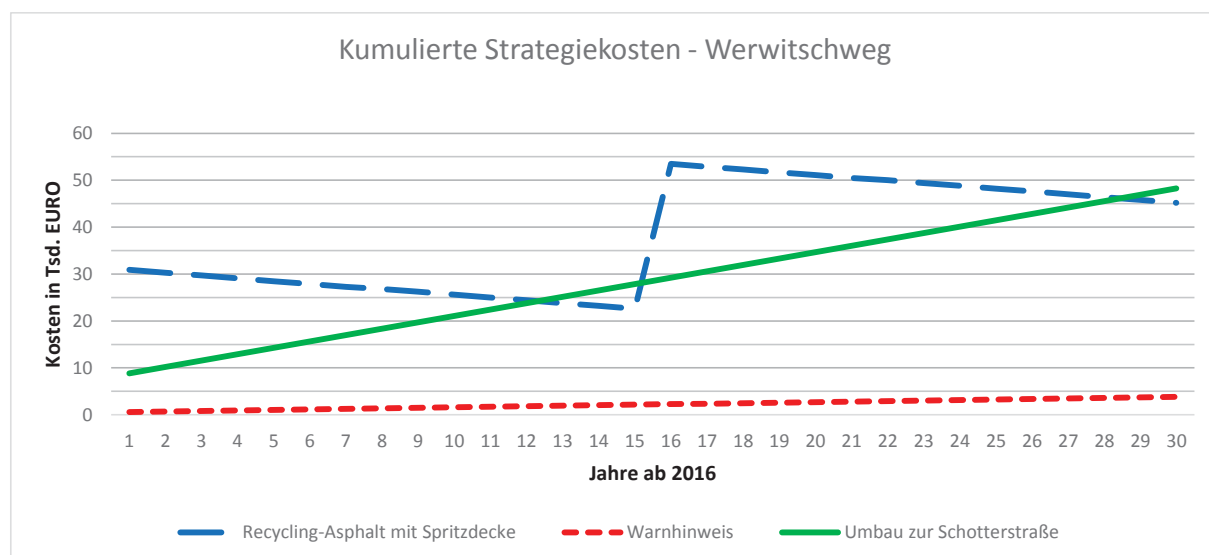


Abbildung 38: Kumulierte Strategiekosten für eine Straße niedriger Bedeutung - Leutschach

Tabelle 38: Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnis Werwitschweg

17 Werwitschweg Bedeutung: 32 VTEH/24h Länge: 315 m	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
M1: Recycl.-Asph. mit SD	31.500	-2.111	22	582	-1.506	2
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-110	0	-127	1
M3: Umbau zur Schotterstraße	7.497	-1.025	387	-970	-1.608	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	22	-∞	-∞	4

Die Kosten/Nutzen-Bewertungsergebnisse samt Rangbildung befinden sich für alle betrachteten Abschnitte in Anhang E.2.

7.5.5 Optimierung und Ergebnisse

Für eine Optimierung im gesamten Gemeindefnetz ist gemäß Kap. 6.1.2 die Angabe des für strukturelle Maßnahmen voraussichtlich zur Verfügung stehenden Budgets für die kommenden Jahre Grundvoraussetzung. Im vorliegenden Beispiel werden 420.000€ als jährliches Budget angenommen.

Tabelle 39: Verfügbare Budgetmittel für die kommenden fünf Jahre bei Standardbudget - Leutschach

	2017	2018	2019	2020	2021
Budget f. Straßen*	420.000 €	420.000 €	420.000 €	420.000 €	420.000 €

*da Instandhaltungsmaßnahmen nicht Teil der Optimierung sind und ausschließlich übergeordnete strategische Maßnahmen evaluiert werden, dürfen im angegebenen Budget keine Beträge für die laufende Erhaltung enthalten sein.

Als Vergleich dazu wird ein Szenario mit Eventualbudget zusätzlich beurteilt. Im vorliegenden Fall wurden für das Jahr 2018 zusätzliche 500.000€ berücksichtigt.

Tabelle 40: Verfügbare Budgetmittel für die kommenden fünf Jahre bei Eventualbudget - Leutschach

	2017	2018	2019	2020	2021
Budget f. Straßen*	420.000 €	920.000 €	420.000 €	420.000 €	420.000 €

*da Instandhaltungsmaßnahmen nicht Teil der Optimierung sind und ausschließlich übergeordnete strategische Maßnahmen evaluiert werden, dürfen im angegebenen Budget keine Beträge für die laufende Erhaltung enthalten sein.

In der Optimierung wird der Nutzen durch die Auswahl von je einer Maßnahme pro Straßensegment über die in Tabelle 19 beschriebene Zielfunktion maximiert. Die Budgetrestriktionen aus obenstehenden Tabellen müssen daher für jedes Jahr eingehalten werden. Die durch den Python Code generierte Ausgabe befindet sich in Anhang F.3. Die Ergebnisse strategischer Maßnahmen können für das Standard- und Eventualbudget, wie in Tabelle 41 ersichtlich, zusammengefasst dargestellt werden. Während sich für das Segment Nr. 7 Drobierweg bei Standardbudget lediglich ein Warnhinweis und keine Investition finanzieren lässt, kann bei Eventualbudget eine Erneuerung (Recycling-Asphalt mit Spritzdecke) durchgeführt werden. Für die Wege Nr. 4 Polzerweg, Nr. 16 Mautnerweg und Nr. 17 Werwitschweg wird auch bei Eventualbudget keine Erneuerung sondern lediglich das „Liegenlassen“ unter Gewährleistung der Sicherheit (Warnhinweis) vorgeschlagen.

Tabelle 41: Ergebnis: Maßnahmen – Standard- und Eventualbudget - Leutschach

Straßenbezeichnung	Belag aktuell	Bedeutung [VTEH/24h]	Zustand	Länge	Ausgewählte MASSNAHME bei STANDARD-Budget	Ausgewählte MASSNAHME bei EVENTUAL-Budget
			[1-3]	[km]		
1 Waldhütterweg	Asphalt	450	3	1,21	M2: Warnhinweis aufstellen	M2: Warnhinweis aufstellen
2 Glanzer Klapotetzstraße BA02	Asphalt	400	3	1,40	M1: Asphalterneuerung	M1: Asphalterneuerung
3 Glanzer Klapotetzstraße BA03	Asphalt	1100	3	1,00	M1: Asphalterneuerung	M1: Asphalterneuerung
4 Polzerweg	Asphalt	62	3	0,13	M2: Warnhinweis aufstellen	M2: Warnhinweis aufstellen
5 Siebenschusterweg BA02	Asphalt	800	3	0,10	M1: Brückenerneuerung	M1: Brückenerneuerung
6 Siebenschusterweg BA03	Asphalt	300	2	1,20	M1: Asphalterneuerung	M1: Asphalterneuerung
7 Drobierweg	Asphalt	50	3	2,35	M2: Warnhinweis aufstellen	M1: 1/3 Asphalt u. 2/3 Recycl.& Spritzdecke
8 Gödlweg (Eichberg)	Asphalt	400	3	1,00	M1: Asphalterneuerung; Linienführung	M1: Asphalterneuerung; Linienführung
9 Fötschacher Höhenstraße BA 03	Asphalt	900	3	1,20	M1: Asphalterneuerung	M1: Asphalterneuerung
10 Arnfels-Salzaweg	Asphalt	175	3	2,50	M2: Warnhinweis aufstellen	M2: Warnhinweis aufstellen
11 Serschen-Tertinjekweg	Asphalt	22	3	2,00	M2: Warnhinweis aufstellen	M1: Asphaltinstandsetzung
12 Rosenberggasse	Asphalt	2000	1	0,10	M1: Mauerversetzung - Ausweichmöglichkeit	M1: Mauerversetzung - Ausweichmöglichkeit
13 Krainzweg II	Asphalt	16	3	2,31	M2: Warnhinweis aufstellen	M2: Warnhinweis aufstellen
14 Druleggweg	Asphalt	180	3	0,98	M1: Recycl.-Asph. mit SD	M1: Recycl.-Asph. mit SD
15 Wolleschniggweg	Asphalt	80	3	1,02	M1: Recycl.-Asph. mit SD	M1: Recycl.-Asph. mit SD
16 Mautnerweg	Asphalt	58	3	0,75	M2: Warnhinweis aufstellen	M2: Warnhinweis aufstellen
17 Werwitschweg	Asphalt	32	3	0,32	M2: Warnhinweis aufstellen	M2: Warnhinweis aufstellen

In nachstehenden Tabellen ist jeweils der Investitionsplan bei Standard- (Tabelle 42) und Eventualbudget (Tabelle 43) dargestellt.

Tabelle 42: Ergebnis: Investitionsplan für das Szenario Standardbudget - Leutschach

Straßenbezeichnung	Ausgewählte Maßnahme	Einmalige Maßnahmenkosten [€]				
		Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
1 Waldhütterweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
2 Glanzer Klapotetzstraße BA02	M1: Asphalterneuerung	0 €	0 €	308.000 €	0 €	0 €
3 Glanzer Klapotetzstraße BA03	M1: Asphalterneuerung	200.000 €	0 €	0 €	0 €	0 €
4 Polzerweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
5 Siebenschusterweg BA02	M1: Brückenerneuerung	0 €	0 €	0 €	0 €	240.000 €
6 Siebenschusterweg BA03	M1: Asphalterneuerung	0 €	226.800 €	0 €	0 €	0 €
7 Drobierweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
8 Gödlweg (Eichberg)	M1: Asphalterneuerung; Linienführung	0 €	0 €	0 €	322.000 €	0 €
9 Fötschacher Höhenstraße BA 03	M1: Asphalterneuerung	216.000 €	0 €	0 €	0 €	0 €
10 Arnfels-Salzaweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
11 Serschen-Tertinjekweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
12 Rosenberggasse	M1: Mauerversetzung - Ausweichmöglichkeit	0 €	63.000 €	0 €	0 €	0 €
13 Krainzweg II	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
14 Druleggweg	M1: Recycl.-Asph. mit SD	0 €	102.900 €	0 €	0 €	0 €
15 Wolleschniggweg	M1: Recycl.-Asph. mit SD	0 €	0 €	89.760 €	0 €	0 €
16 Mautnerweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
17 Werwitschweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
Summe pro Jahr		416.000 €	392.700 €	397.760 €	322.000 €	244.000 €

Tabelle 43: Ergebnis: Investitionsplan für das Szenario Eventualbudget - Leutschach

Straßenbezeichnung	Ausgewählte Maßnahme	Einmalige Maßnahmenkosten [€]				
		Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
1 Waldhütterweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
2 Glanzer Klapotetzstraße BA02	M1: Asphalterneuerung	0 €	294.000 €	0 €	0 €	0 €
3 Glanzer Klapotetzstraße BA03	M1: Asphalterneuerung	0 €	210.000 €	0 €	0 €	0 €
4 Polzerweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
5 Siebenschusterweg BA02	M1: Brückenerneuerung	0 €	0 €	0 €	0 €	240.000 €
6 Siebenschusterweg BA03	M1: Asphalterneuerung	0 €	226.800 €	0 €	0 €	0 €
7 Droberweg	M1: 1/3 Asphalt u. 2/3 Recycl. & Spritzdecke	0 €	0 €	396.367 €	0 €	0 €
8 Gödlweg (Eichberg)	M1: Asphalterneuerung; Linienführung	0 €	0 €	0 €	322.000 €	0 €
9 Fötschacher Höhenstraße BA 03	M1: Asphalterneuerung	216.000 €	0 €	0 €	0 €	0 €
10 Arnfels-Salzaweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
11 Serschen-Tertinjekweg	M1: Asphaltinstandsetzung	140.000 €	0 €	0 €	0 €	0 €
12 Rosenberggasse	M1: Mauerversetzung - Ausweichmöglichkeit	60.000 €	0 €	0 €	0 €	0 €
13 Krainzweg II	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
14 Druleggweg	M1: Recycl.-Asph. mit SD	0 €	102.900 €	0 €	0 €	0 €
15 Wolleschniggweg	M1: Recycl.-Asph. mit SD	0 €	85.680 €	0 €	0 €	0 €
16 Mautnerweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
17 Werwitschweg	M2: Warnhinweis aufstellen	0 €	0 €	0 €	0 €	500 €
Summe pro Jahr		416.000 €	919.380 €	396.367 €	322.000 €	243.000 €

8 Diskussion und Empfehlungen

8.1 Zusammenfassung

Ziel vorliegender Dissertation war die Entwicklung einer Methodik zur gesamtheitlichen Optimierung von Erneuerungs- und Umbaumaßnahmen im untergeordneten Straßennetz auf Basis objektiver Daten. Dazu galt es, die Zielgröße „Nutzen“ der ausgewählten Maßnahmen im Netz des Untersuchungsgebietes zu maximieren, wobei die jeweiligen Budgetrestriktionen einzuhalten waren. Um eine Reaktion auf demografische Entwicklungen zu ermöglichen, wurde dazu im Gegensatz zu gängigen Erhaltungsmanagementsystemen das Set an Maßnahmenalternativen um einschränkende Maßnahmen (z.B. Rückbau, Redimensionierung) erweitert. Mögliche Auswirkungen für Verkehrsteilnehmer nahmen dadurch ein beachtenswertes Ausmaß an. Um diese Auswirkungen berücksichtigen zu können, wurden kommunale Verkehrsmodelle zur Beurteilung der Straßenbedeutungen entwickelt und in weiterer Folge zur Bewertung der Maßnahmen aus Nutzersicht herangezogen. In Zusammenarbeit mit dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung wurden Teile der Methodik zur Beurteilung von Straßenbedeutungen anhand eines Bezirkes überprüft. Dazu wurden als Vergleich vergangene manuelle Bedeutungseinschätzungen herangezogen. Abweichungen wurden mittels Befahrungen bewertet. Die gesamte Methodik bis hin zur Maßnahmenoptimierung wurde schließlich in zusätzlicher Zusammenarbeit mit den Gemeinden Eisenerz und Leutschach angewandt. Die Ergebnisse auf Bezirks- und Gemeindeebene waren durchgängig plausibel und die Praxistauglichkeit der Methodik wurde bescheinigt. Im Gegensatz zu bisherigen Bewertungen der Straßenbedeutung basieren Anwendungsergebnisse vorliegender Methodik auf objektiven Daten, wodurch die Reproduzierbarkeit gewährleistet ist. Zudem ergibt sich ein höherer Detaillierungsgrad, da ohne Zunahme des Aufwandes Bedeutungsunterschiede auch innerhalb von Straßenzügen ermittelbar sind. Die Maßnahmenoptimierung erfolgt durch vorliegende Methodik halbautomatisch, berücksichtigt neben der Straßenerhaltersicht auch die Nutzersicht und beruht auf transparent dargestellten Informationen.

Die in vorliegender Arbeit generierte Methode erfordert die Beurteilung von Kosten und Nutzen einzelner Maßnahmenalternativen. Während Kosten der Maßnahmen, wie in der gängigen Praxis, über Kennwerte bestimmbar sind, wurde der Maßnahmennutzen im Detail betrachtet, wobei der Begriff Nutzen nicht nur positive, sondern auch negative Effekte (Schaden) abdeckt. In der Bewertung des Nutzens eines Maßnahmenvorschlages erfolgt jeweils ein Vergleich mit der bestehenden Nullvariante (keine Investition, Berücksichtigung der jeweiligen Kosten für die laufende Erhaltung).

Nutzenkomponenten von Maßnahmenvorschlägen ergeben sich zum einen aus der Betrachtung der Straßenerhalterkosten (Maßnahmen- und Folgekosten). Diese werden als Lebenszykluskosten mittels Kennwerten und unter Festlegung eines Betrachtungszeitraumes ermittelt und als durchschnittliche jährliche Kosten ausgedrückt. Um Maßnahmen- und Lebenszykluskosten der Maßnahmen bewerten zu können, ist die Kenntnis über den Zustand und die bestehende Substanz Grundvoraussetzung.

Da das Maßnahmenportfolio auch Redimensionierungsmaßnahmen beinhaltet, ist die Bewertung der Maßnahmenauswirkungen für Verkehrsteilnehmer (z.B. zusätzliche Reisezeit aufgrund geringer Fahrbahnqualität) als zusätzliche Nutzenkomponente von besonderer Wichtigkeit.

Eine isolierte Betrachtung des Verkehrsaufkommens ist dabei im Gegensatz zu hochrangigen Netzen nicht ausreichend, da übergeordnete Aspekte des Gemeinwohls und zukünftige Planungen jedenfalls zu beachten sind. Aus diesem Grund wurde in vorliegender Arbeit die Kenngröße

„Straßenbedeutung“ generiert. Die „Straßenbedeutung“ ist nicht mit der Verkehrsbelastung einer Straße gleichzusetzen. Um sowohl das reale als auch das fiktive Verkehrsaufkommen abbilden zu können, wurde die Straßenbedeutung als Funktion aus realem Verkehrsaufkommen, zukünftigem Verkehrsaufkommen aus Raum- und Standortplanung hervorgehend sowie fiktivem Verkehrsaufkommen aus Gemeinwohlaspekten definiert.

Die Herausforderung in der Ermittlung der kommunalen Straßenbedeutung lag im erforderlichen Detaillierungsgrad. Durch Verschränkung hochaufgelöster, GIS-basierter Netz- und Strukturdaten (GIS Steiermark) als Grundlage für Verkehrspotentiale waren Verkehrsnachfragemodelle auch für das untergeordnete Straßennetz unter vertretbarem Aufwand generierbar. Während in makroskopischen Verkehrsmodellen Verkehrszellen üblicherweise politischen Bezirken oder Gemeinden entsprechen, wurden in vorliegender Arbeit Strukturdaten über die Zuteilung mittels Thiessen-Polygone einzelnen Einspeisungspunkten des Netzmodelles zugeordnet. Die Grundlagedaten werden dabei direkt aus geografischen Informationssystemen für den Aufbau des Verkehrsnachfragemodells integriert. Auf diese Weise wird die Straßenbedeutung einzelner Straßen im Untersuchungsgebiet für das untergeordnete Straßennetz ermittelt.

Da in Umlegungsergebnissen des Nachfragemodells zukünftige Planungen sowie das öffentliche Gemeinwohl bereits berücksichtigt sind, handelt es sich beim Ergebnis bereits um die Straßenbedeutung, ausgedrückt durch prognostizierte, gewichtete Verkehrsteilnehmereinheiten (VTEH).

Unter Anwendung des Nachfragemodells werden unterschiedliche Maßnahmenalternativen über Straßenzustände mit ihren Auswirkungen auf die Reisezeiten im Modell simuliert. Auf diese Weise werden Netzeffekte und somit der Nutzen (positiv oder negativ) für Straßennutzer beurteilt. Auch die erforderliche Erreichbarkeit aller Standorte wird auf diese Weise berücksichtigt.

Mittels Zeit- und Wegekostenansätzen wird der Nutzeraufwand letztendlich monetarisiert und stellt gemeinsam mit den Nutzenkomponenten des Straßenerhalters den Nutzen einzelner Maßnahmen dar.

Durch diese Verschneidung von Straßenerhalterkosten und Nutzeraufwand wird eine gesamtwirtschaftliche Sichtweise eingenommen.

Um die optimale Maßnahmenkombination im Netz zu ermitteln, gilt es aus dem gegebenen Maßnahmenset genau eine Maßnahme je Straßensegment auszuwählen, sodass für das gesamte Netz unter Einhaltung der Budgetbedingung der maximale Nutzen lukriert wird. Diese Problemstellung wird als Multidimensional Multiple Choice Knapsack formuliert. Beispielsweise bei 17 Abschnitten, 4 möglichen Maßnahmen je Abschnitt und der Möglichkeit die Maßnahmen innerhalb von 5 Jahren umzusetzen, ergeben sich 13 Trilliarden Möglichkeiten die Maßnahmen zu kombinieren. Das resultierende kombinatorische Optimierungsproblem wurde in vorliegender Anwendung mittels exaktem Verfahren gelöst. Da eine vollständige Enumeration aufgrund der großen Anzahl möglicher Kombinationen nicht möglich ist, wurde der „Linear Programming Modeler“ „PuLP-or“ angewandt. Mittels Solver und den darin implementierten Suchalgorithmen ist das Problem in vorliegender Größenordnung innerhalb weniger Sekunden lösbar.

Da die entwickelte Methodik auf objektiven Daten und transparenten Kennwerten beruht, ist sie, wie in Kap. 8.2 erläutert, als Entscheidungsgrundlage und Argumentationshilfe für verschiedene Fragestellungen anwendbar. Den Prämissen Verkehrssicherheit, Substanzerhalt und Einhaltung raumplanerischer Ziele wird durch Anwendung vorliegender Methodik jedenfalls Rechnung getragen.

8.2 Ergebnisse und Anwendbarkeit

Die vorgestellte Methodik ermöglicht im ersten Schritt die Bedeutung einzelner Straßensegmente auch für niederrangige Straßennetze automatisiert zu ermitteln. Im Gegensatz zu derzeit manuell durchgeführten Bewertungen sind Aktualisierungen, insbesondere auch nach Gemeinde- und Standortzusammenlegungen, mit geringem Aufwand durchführbar. Im Vergleich zu derzeit gängigen Bedeutungsbewertungen mittels Befahrung wird die Objektivität erhöht.

Die Basisstudie Leibnitz hat gezeigt, dass die Ermittlung der Straßenbedeutung auch für gesamte Bezirke möglich ist. Die ermittelten Ergebnisse konnten mit vorliegenden Ergebnissen von Bedeutungseinschätzungen des Landes Steiermark verglichen werden. Die Gründe für Abweichungen liegen dabei in den meisten Fällen in der höheren Genauigkeit vorliegender Methodik sowie in der bedarfsorientierten anstatt funktionalen Herangehensweise (siehe Kap. 3.3). Festgestellte Mängel waren auf fehlende Informationen zu Belagsart und Verkehrsbeschränkungen (z.B. „Fahrverbot“ oder „Ausgenommen Anrainer“) zurückzuführen. Sowohl Belagsarten als auch Verkehrsbeschränkungen werden bereits in die Graphenintegrationsplattform integriert und sollten künftig digital verfügbar sein.

In den beiden Studien Eisenerz und Leutschach wurden die Datengrundlagen auf Informationen zu Belagsart und Verkehrsbeschränkungen bereits ausgeweitet. Weitere Daten zu z.B. Nächtigungszahlen wurden durch die Gemeinde zur Verfügung gestellt. Die Resultate zur „Straßenbedeutung“ wurden durch Gemeindevertreter und ortskundige Vertreter des Landes Steiermark plausibilisiert und bestätigt. Im Vergleich zur bezirksweiten Anwendung Leibnitz konnten in der Detailanwendung in der Gemeinde noch genauere Ergebnisse erzielt werden.

Dieses Zwischenergebnis der Straßenbedeutung dient bereits als Grundlage für die Auswahl eines Kernnetzes unter Berücksichtigung des öffentlichen Interesses. Auch als Beitrag zur Priorisierung bei Ausstattungsmaßnahmen (Straßenbeleuchtung) ist die Straßenbedeutung maßgebend. Für unmittelbar sicherheitsrelevante Entscheidungen ist das Ergebnis der Straßenbedeutung allerdings nicht direkt anwendbar. Entscheidungen des Winterdienstes sind zum Beispiel lediglich von aktuellen Verkehrsbelastungen und Gewichtungen des Gemeinwohls abhängig. Des Weiteren sind Fragen zur Abgrenzung zwischen Landes- und Gemeindestraßen hinsichtlich ihrer Bedeutung unter Anwendung des ersten Teiles der Methodik beantwortbar.

Die weiterführende Methodik ermöglicht eine Maßnahmenoptimierung im Netz. Als Besonderheit im Vergleich zu gängigen Pavement Management Systemen gilt die Ausweitung des Maßnahmenportfolios auf weitreichende Maßnahmen (wie z.B. Belagsänderung und Redimensionierung). Mit dieser Funktionalität ist die Methodik nicht nur als Instrument zur langfristigen und nachhaltigen Anpassung der Infrastruktur an demografische Veränderungen einsetzbar, sondern auch als Entscheidungsgrundlage und Argumentationshilfe in der Finanzmittelverteilung. Verschiedene Budgetszenarien und die Wirkung von Schwerpunktsetzungen können dargestellt werden. Des Weiteren trägt die Methodik zur Vernetzung der Interessen aus Politik, Raumplanung, Verkehrsplanung, Straßenerhaltung und Öffentlichkeit bei. Die Anwendung der gesamten Methodik anhand der beiden Pilotprojekte Eisenerz und Leutschach hat gezeigt, dass durchschnittliche Kostenkennwerte und Maßnahmenwirkdauern für Einzelentscheidungen je Straßensegment zu ungenau sind. Die Bewertung der technisch möglichen Maßnahmenvorschläge je Straßensegment ist daher unter Einbeziehung der örtlichen Erfahrung manuell durchzuführen. Es ist dabei auf den jeweils spezifischen Straßenzustand und die örtlichen Gegebenheiten einzugehen.

Sind Kosten und Nutzen der einzelnen Maßnahmenalternativen monetär bewertet, kann die optimale Maßnahmenkombination unter Verwendung des in Kap. 6.3 angeführten Solvers ermittelt werden. Durch die Anwendung des Solvers konnte bestätigt werden, dass die exakte Lösung des Optimierungsproblems von bis zu ca. 20 betroffenen Straßensegmenten in wenigen Sekunden generierbar ist. Zwar konnten als Gesamtergebnis keine Straßensegmente zur tatsächlichen Auflassung identifiziert werden, Einsparungspotentiale wurden dennoch sichtbar. Beispielsweise ergeben Analysen einzelner für den Umbau von unbefestigtem Belag zu Asphaltbelag in Frage kommender Abschnitte, dass der unbefestigte Belag zu belassen sei. Zudem werden durch die Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten Methodik auch „Sparmaßnahmen“ wie „Liegenlassen“ als Teil des Optimierungsergebnisses ausgegeben.

Aufgrund der großen Bedeutungsunterschiede im Gemeindestraßennetz bietet sich durch Anwendung vorliegender Methodik die Möglichkeit an Straßen mit geringem öffentlichen Interesse bewusst Einschränkungen in Kauf zu nehmen und dadurch Einsparungen zu erzielen. Im Gegenzug dazu können Straßen mit hohem öffentlichen Interesse prioritär behandelt werden. Durch das Hinterfragen des bestehenden Netzes mit den vorhandenen Ausbaugraden kann eine Konzentration auf ein Kernnetz sowie eine langfristige Anpassung an den zukünftigen Bedarf erfolgen.

Durch die spezifische Auswahl der Einflussparameter können zusätzlich zur Ableitung strategischer Maßnahmen noch weitere Fragestellungen beurteilt werden. Durch Bewertung der aktuellen Verkehrsbelastung sowie des aktuellen Zustandes kann beispielsweise die Priorität von Sicherheitsmaßnahmen sowie operativen Maßnahmen an Straßen intakter Substanz beurteilt werden. Gemeinwohlaspekte, Raumplanungsziele und zukünftige Bevölkerungsentwicklungen haben im Vergleich zu den strategischen Maßnahmen vorliegender Arbeit keinen Einfluss auf kurzfristige operative Maßnahmen.

8.3 Forschungspotential

Innerhalb der Routenwahl wird in vorliegender Arbeit die Reisezeit als maßgebender Widerstand im Umlegungsverfahren berücksichtigt. Weiche Kriterien, wie z.B. Kurvigkeit, Erlebnis, Komfort oder Sicherheit wurden als mögliche Beiträge zur generalisierten Kostenfunktion angeführt, im Verkehrsmodell jedoch nicht berücksichtigt. Verfahren zur automatisierten Berücksichtigung weicher Faktoren könnten einen Beitrag zur Erhöhung der Genauigkeit der Umlegungsergebnisse leisten.

Die Gewichtung gemeinwirtschaftlicher Einrichtungen und die Beurteilung des öffentlichen Interesses von Standorten erfolgten in vorliegender Arbeit durch Einschätzungen in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Testgemeinden, wobei Rücksicht auf Nutzen durch Ertragsanteile oder Kommunalabgaben genommen wurde. Für eine weitere Objektivierung wäre eine Umfrage unter Gemeindevertretern und Bürgern zur Beurteilung der Bedeutung verschiedener Einrichtungen für das Gemeinwohl in Gemeinden erstrebenswert.

Der Zusammenhang zwischen Zuständen und Auswirkungen auf Reisegeschwindigkeiten wurde in vorliegender Arbeit durch Befahrungen abgeschätzt. Für höherrangige Netze wurden funktionale Zusammenhänge zwischen Ebenheit und fahrbarer Geschwindigkeit hergestellt. Auf Ebene der Gemeinestraßen, wo auch die Zustandsbeurteilung aufgrund der hohen Netzdichte nicht in dem Detaillierungsgrad der höherrangigen Straßen erfolgt, konnten im Zuge der Literaturrecherche keine Publikationen zu funktionalen Zusammenhängen zwischen Zustand und Geschwindigkeiten gefunden werden. Eine Analyse hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen Schadensmerkmalen und fahrbaren Geschwindigkeiten auf kommunaler Ebene könnte die Ergebnisgenauigkeit weiter verbessern.

Maßnahmenkosten und Folgekosten werden in vorliegender Arbeit über durchschnittliche jährliche Kosten abgeschätzt. In diesen Abschätzungen werden Straßenaufbau und die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt. Forschungspotential besteht in der standardisierten Aufbereitung von Kostenkennwerten oder in der Entwicklung praxistauglicher Kostenmodelle mit der Möglichkeit zur Anpassung an die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten.

Auswirkungen von Maßnahmen für Dritte wurden methodisch berücksichtigt, im Aufbau des Modells und somit in den Ergebnissen allerdings vernachlässigt. Forschungspotential besteht daher darin, externe Aufwände, z.B. für Lärm und Schadstoffe (durch geänderte Routenwahl) automatisiert zu bestimmen.

In vorliegender Arbeit wurden große Wechselwirkungen, die das Ergebnis stark beeinflussen könnten, bereits durch Berücksichtigung in den Maßnahmenvorschlägen ausgeschlossen. Um Wechselwirkungen bereits im Zuge der Optimierung vollständig berücksichtigen zu können, sind aufgrund der hohen Anzahl an möglichen Kombinationen für die praktische Umsetzung heuristische Verfahren oder geeignete Solver in Kombination mit dem Verkehrsmodell erforderlich. Die Umsetzung einer derartigen Softwarelösung war nicht Teil dieser Dissertation und stellt somit ein weiteres Forschungspotential dar.

Die Variablen der Nutzenfunktion (Maßnahmenkosten, Instandhaltungskosten und fiktive Nutzerkosten) wurden in vorliegender Arbeit als deterministische Größen berücksichtigt. Forschungspotential besteht in der Berücksichtigung der Unsicherheiten in den Annahmen bei der Kosten- und Nutzenbewertung.

Literaturverzeichnis

- Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch vom 01.06.1811, JGS 946/1811, i.d.F. vom 21.01.2015, BGBl I 29/2015.
- Albuquerque, F.,S., & Nunez, W.,Peres (2011). Development of Roughness Prediction Models for Low-Volume Road Networks in Northeast Brazil. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2205, pp. 198-205.
- Archondo-Callao, R. (1999). Economic Decision Model for Low-Volume Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1652, pp. 18-30.
- Archondo-Callao, R. (2007). Evaluating Economically Justified Road Works Expenditures on Unpaved Roads in Developing Countries. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1989, pp. 41-49.
- Balmer, M., Rieser, M., Meister, K., Charypar, D., Lefebvre, N., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2007). MATSim-T: Architektur und Rechenzeiten. *Unveröffentlicht*.
- Batista dos Santos, B. M., Guilherme de Picado-Santos, L. G., & Pissarra Cavaleiro, V. M. (2011). Simplified model of road-user costs for Portuguese highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2225, pp. 3-10.
- Ben-Akiva, M. & Lerman, S.R. (2000). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. Cambridge: The MIT Press.
- Bernhard, F. (2016). Verkehrsinfrastrukturen und Mobilitätsverhalten - Analyse des Mobilitätsverhaltens und der Verkehrsinfrastrukturen in ländlichen Räumen unter dem Aspekt des regionalen, demografischen und sozialen Wandels am Beispiel der Steiermark. In R. Egger & A. Posch (Eds.), *Lebensentwürfe im ländlichen Raum - Ein prekärer Zusammenhang?*. pp. 203-242.
- Biermann, B. (1999). *Taschenlexikon Finanzmathematik/Statistik*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- BMVIT (2015). *Statistik Straße und Verkehr: Österreich in Zahlen*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- BMVIT, & ASFINAG (2010). *Straßenverkehrszählung - Auswertung der Straßenverkehrszählung 2010 auf Autobahnen, Schnellstraßen und Landesstraßen B*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Bosserhoff, D. (2001). Verkehrserzeugung durch Vorhaben der Bauleitplanung - Möglichkeiten zur Beeinflussung des Verkehrsaufkommens durch Integration von Verkehrs- und räumlicher Planung. *Zeitschrift Straßenverkehrstechnik, Heft Nr. 8/2001 und Nr. 9/2001*.
- Breyer, G., Fuchs, M., & Pichler, W. (1988). *Pavement Management System für die Österreichische Bundesstraßenverwaltung*. Wien: Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Bundesstraßenverwaltung.
- Brožek, B., Litzka, J., & Weninger-Vycudil, A. (2009). *Entwicklung eines Nutzerkostenmoduls im österreichischen PMS; Straßenforschungsauftrag Nr. 3.326 des Bundesministeriums für Verkehr*,

- Innovation und Technologie*. Wien: Republik Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Bundesstraßenverwaltung.
- Bundesamt für Statistik, & Bundesamt für Raumentwicklung (2012). *Mobilität in der Schweiz - Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010*. Neuchatel und Bern: Bundesamt für Statistik (BFS).
- Bydlinski, F. (1998). Verkehrssicherungspflichten des Wegehalters im Bergland. *ZVR: Zeitschrift Für Verkehrsrecht*, 1998, 326.
- Cascetta, E. (2009). *Transportation systems analysis; models and applications*. New York: Springer.
- Cools, M., Moons, E., & Wets, G. (2010). Calibrating Activity-Based Models with External Origin-Destination Information: Overview of Possibilities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2175, pp. 98-110.
- Doubek, C., & Zanetti, G. (1999). *Siedlungsstruktur und öffentliche Haushalte: Gutachten des Österreichischen Instituts für Raumplanung (ÖIR)*. Vol. 143. Wien: Geschäftsstelle der Österr. Raumordnungskonferenz (ÖROK).
- Dujmovits, R. (2016). Regionale Entwicklungsstrategien: Theoretische und empirische Begründungen und ihre Implikationen. In R. Egger & A. Posch (Eds.), *Lebensentwürfe im ländlichen Raum - Ein prekärer Zusammenhang?*. pp. 29-56.
- Dworak, T., & Eisenberger, G. (2010). *Steiermärkisches Landes-Straßenverwaltungsgesetz. Kommentar*. Wien: Linde Verlag.
- Eisenerz - Stadtgemeinde. (2016). *Daten, Zahlen und Fakten*. <http://www.eisenerz.at/stadtgemeinde/service-info/daten-zahlen-und-fakten>, Zugriff am 12.02.2016.
- Elhadidy, A. A., Elbeltagi, E. E., & Ammar, M. A. (2015). Optimum analysis of pavement maintenance using multi-objective genetic algorithms. *HBRC Journal*, 11, 107-113.
- Erath, A. (2011). *Vulnerability assessment of road transport infrastructure*. Zurich: Ph.D. Thesis, ETH Zurich.
- Feil, M. (2010). *Choosing the daily schedule: Expanding activity-based travel demand modelling*. Zurich: Ph.D. Thesis, ETH Zurich.
- Fellendorf, M., Marauli, A., Hansmann, F., Berger, M., Bergmann, U., & Frewein, M. (2011). *GUARD-Verkehrsmodell aus IWN-Daten*. (Vol. Forschungsbericht). Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Fellendorf, M., Haupt, T., Heidl, U., & Scherr, W. (1997). An Activity-Based Micro-Simulation Model for Travel Demand Forecasting. In D. Ettema & H. Timmermans (Eds.), *Activity-Based Approaches to Travel Analysis*. pp. 55-72.
- Ferdous, N., Vana, L., Bowman, J.,L., Pendyala, R.,M., Giaimo, G., Bhat, C.,R., Schmitt, D., Bradley, M., & Anderson, R. (2012). Comparison of Four-Step Versus Tour-Based Models for Prediction of Travel Behavior Before and After Transportation System Changes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2303, pp. 46-60.

- Friesecke, F. (2010). Stadtumbau als Gemeinschaftsaufgabe - Argumente für ein neues Planungsverständnis unter Schrumpfungsbedingungen. *Zfv, 135. Jahrgang, Heft 3*, 160-172.
- Gao, W., Balmer, M., & Miller, E.,J. (2010). Comparison of MATSim and EMME/2 on Greater Toronto and Hamilton Area Network, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2197, pp. 118-128.
- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2015). *Traffic and Highway Engineering*. (Fifth Edition ed.). Stamford, Conn. [u.a.]: Cengage Learning.
- Gemeindebund (2016). *Gemeindefinanzen-online*. <http://www.gemeindefinanzen.at/>, Zugriff am 30.01.2016.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) Arbeitsausschuss Netzgestaltung (2008). *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung; RIN*. Köln: FGSV Verlag
- Goldreich, O. (2008). *Computational Complexity: A Conceptual Perspective*. New York: Cambridge University Press.
- Gritzmann, P. (2013). *Grundlagen der mathematischen Optimierung; diskrete Strukturen, Komplexitätstheorie, Konvexitätstheorie, lineare Optimierung, Simplex-Algorithmus, Dualität*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Han, D., & Bray, M. (2006). Automated Thiessen polygon generation. *Water Resources Research Vol. 42*. pp. 1-5.
- Hatbauer, J. (2012). Rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen eines qualitätsgesicherten Winterdienstes in den Vorarlberger Gemeinden. Graz: Masterarbeit, TU Graz.
- Hellmann, L. (2008). *Entwicklung von Verfahrenshilfen zur Berücksichtigung baustellenbedingter Nutzerkosten im Erhaltungsmanagement*. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verl. für neue Wissenschaft.
- Henning, T.,F. P., Bennett, C.,R., & Kadar, P. (2007). Guidelines for Selecting Surfacing Alternatives for Unsealed Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 237-246.
- Henry, G., & Kerali, R. (2002). *Highway Development & Management: Overview of HDM-4*. www.lpcb.org/index.php/documents/hdm-4/general/38-2003-hdm-4-overview-of-hdm-4/file, Zugriff am 05.07.2015.
- Hensher, D. A., & Button, K. J. (2002). *Handbook of transport modelling*. Amsterdam [u.a.]: Pergamon.
- Herrmann, C. (2010). *Ganzheitliches Life Cycle Management*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hillenbrand, T., Niederste-Hollenberg, J., Menger-Krug, E., Klug, S., Holländer, R., Lautenschläger, S., & Geisler, S. (2010). *Demografischer Wandel als Herausforderung für die Sicherung und Entwicklung einer kosten- und ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur. Abschlussbericht zum Vorhaben FKZ 3708 16 305*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

- Hoffmann, M. (2006). Instandsetzung von Straßen - Ein Beitrag zur Lebenszykluskostenrechnung und effizienten Instandsetzungsstrategien für Landes- und Gemeindestraßen. Graz: Dissertation, TU Graz.
- Hoffmann, M. (2010). Entwurf und Erhaltung von Verkehrsanlagen - *Skript zur gleichnamigen Vorlesung, SS 2010*, TU Graz.
- Hoffmann, M. (2012). Systematisches Erhaltungsmanagement mit Lebenszykluskosten. 38. *Gestrata-Bauseminar*.
- Homer, S., & Selman, A. L. (2011). *Computability and Complexity Theory*. (Second Edition ed.). New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer.
- Horni, A., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2016). *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. Zürich, Berlin.
- Jusi, P., Mumu, R., Jarvenpaa, S.,H, Neausemale, B., & Sangrador, E. (2003). Road Asset Management System Implementation in Pacific Region: Papua New Guinea. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2303, pp. 323-332.
- Kellerer, H., Pferschy, U. & Pisinger, D. (2004). *Knapsack problems*. Berlin [u.a.]: Springer-Verlag.
- Kerali, H.,R, & Mannisto, V. (1999). Prioritization Methods for Strategic Planning and Road Work Programming in a New Highway Development and Management Tool. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1655 pp. 49-54.
- Kletecka, A., & Schauer, M. (2010). *ABGB-ON; Kommentar zum Allgemeinen bürgerlichen Gesetzbuch*. Wien: Manz.
- Korte, B., & Vygen, J. (2008). *Kombinatorische Optimierung - Theorie und Algorithmen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Koziol, H., Bydlinski, P., & Bollenberger, R. (2014). *Kurzkomentar zum ABGB: Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch*. (4. Auflage ed.). Wien: Verlag Österreich.
- Krause, G., & Maerschalk, G. (2010). *Auswertung von Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung des Pavement Management Systems (PMS); [Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 09.139/2006/MRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung]*. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW.
- Kulkarni, R.,B, & Miller, R.,W (2003). Pavement Management Systems: Past, Present and Future. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1655 pp. 65-71.
- Kumar, A., & Kumar, P. (1999). User-Friendly model for planning rural road. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1652, pp. 31-39.
- Land Steiermark (2015): Verkehrsserver. <http://www.verkehr.steiermark.at/cms/ziel/11160763/DE/>, Zugriff am 29.06.2015.

- Land Steiermark (2015a): Geodatenkatalog. Wichtige Einrichtungen – Points of Interest. <http://gis.stmk.gv.at/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7BAFF31393-5C07-426D-A717-6DF9C6ABDA4F%7D>, Zugriff am 27.02.2015.
- Land Steiermark (2015b): Geodatenkatalog. Verkehrsgraph GIP-Abschnitte Steiermark (GIP-Edge). <http://gis.stmk.gv.at/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B813F133B-AC66-4620-BC90-2B3C2E7151EB%7D>, Zugriff am 27.02.2015.
- Landesrechnungshof Steiermark (2015). *Prüfbericht: Erhaltungsmanagement an steirischen Landesstraßen*. (Bericht szahl: LRH - 255238/ 2015 - 9 ed.). Graz.
- Leutschach an der Weinstraße - Marktgemeinde. (2016). *Zahlen und Fakten*. <http://www.leutschach-weinstrasse.gv.at/Zahlen-Fakten.805.0.html>, Zugriff am 13.09.2016.
- Lexer, W. (2004). *Zerschnitten, versiegelt, verbaut? - Flächenverbrauch und Zersiedelung versus nachhaltige Siedlungsentwicklung*: Umweltbundesamt GmbH.
- Li, Z., Kaul, H., Kapoor, S., Veliou, Z., Veliou, E., Zhou, B., & Lee, S. H. (2012). New Methodology for Transportation Investment Decisions with Consideration of Project Interdependencies. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2285, pp. 36-46.
- Li, J., Muench, S.,T., Mahoney, J.,P., Sivaneswaran, N., Pierce, L.,M., & White, G.,C. (2005). The Highway Development and Management System in Washington State: Calibration and Application for the Department of Transportation Road Network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1933, pp. 51-61.
- Li, N., Huot, M., & Haas, R. (1997). Cost-effectiveness-based Priority Programming of Standardized Pavement Maintenance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1592, pp. 8-16.
- Litzka, J., & Haslehner, W. (1989). *Straßenerhaltung. Kolloquium Pavement Management Systeme. 6. Juni 1989. Mit Beitr. v. F(riedrich) Freudenreich [u.a.] - Technisches Erhaltungsmodell für ländliche Straßen*. Wien.
- Litzka, J., & Haslehner, W. (1999). Maintenance of the Austrian Rural Road Network: Organization and Financial Aspects. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1652, pp. 171-174.
- Maerschalk, G. (1998). *Erstellung einer ablauffähigen Folge von Algorithmen für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen und der Mittelverwendung im Rahmen eines PMS*. Bonn-Bad Godesberg: Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau.
- Maerschalk, G., Krause, G., Socina, M., Köhler, M., & Stöckner, M. (2013). *Daten und Methoden für ein systematisches Erhaltungsmanagement innerörtlicher Straßen*. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verl. f. Neue Wiss.
- Martello, S., & Toth, P. (1990). *Knapsack problems; algorithms and computer implementations*. Chichester [u.a.]: Wiley.
- Mayer, M. (2010). *Regionale Bevölkerungsprognose Steiermark 2009/2010, Bundesland, Bezirke und Gemeinden*. (Vol. Heft 13/2010). Graz: Landesstatistik Steiermark.

- McNally, A. G. (1997). An Activity-Based Micro-Simulation Model for Travel Demand Forecasting. In D. Ettema & H. Timmermans (Eds.), *Activity-Based Approaches to Travel Analysis*. pp. 37-54.
- Mitchell, S. (2009). An Introduction to pulp for Python Programmers. *The Python Papers Monograph, Vol. 1*, pp. 1-12.
- Mitterer, P. (2007). Wegehalterhaftung aus der Sicht des Straßenerhalters – Zusammenfassung. Klagenfurt: Kärntner Verwaltungsakademie.
- Mladenovic, G., Cirilovic, J., & Queiroz, C. (2011). Network-Level Pavement Management: Case of Serbian Low-Volume Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2205, pp. 221-228.
- Müller, K., & Axhausen, K. W. (2012). *Multi-level fitting algorithms for population synthesis*. (Working paper). ETH Zurich: Institute for Transport Planning and Systems (IVT).
- Murty, K. G. (1995). *Operations Research: Deterministic Optimization Models*. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Nemuth, T. (2006). *Aus Forschung und Praxis: Risikomanagement bei internationalen Bauprojekten*. Renningen: Expert-Verlag.
- Oeser, M., Kemper, D., Wang, D., Vallée, D., & Schneider, M. (2014). *Entwicklung von Prognosefunktionen für den Straßenzustand kommunaler Straßen*. Bremen: Wirtschaftsverlag NW.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV) (2010): *Richtlinie RVS 02.01.22 – Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen*. Wien.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV) (2012): *Richtlinie RVS 03.01.11 – Beurteilung des Verkehrsablaufes auf Straßen*. Wien.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV) (2012): *Richtlinie RVS 03.01.13 – Kategorisierung und Anforderungsprofile von Straßen*. Wien.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV) (2014): *Richtlinie RVS 03.03.23 – Linienführung und Trassierung*. Wien.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV) (2005): *Richtlinie RVS 03.03.31 – Querschnittselemente Freilandstraßen; Verkehrs- und Lichtraum*. Wien.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV) (2005): *Richtlinie RVS 03.03.31 – Ländliche Straßen und Güterwege; Verkehrs- und Lichtraum*. Wien.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV) (2001): *Richtlinie RVS 03.04.12 – Querschnittsgestaltung von Innerortsstraßen*. Wien.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV) (2016): *Richtlinie RVS 03.08.63 – Oberbaubemessung*. Wien.

- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV) (1988): *Richtlinie RVS 13.01.41 – Straßeninstandsetzung Asphaltstraßen – Grundlagen zur Zustands- und Maßnahmenbeurteilung*. Wien.
- Ortúzar, J. D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling transport*: Fourth Edition. Chichester [u.a.]: Wiley.
- Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (2011). *Ermittlung der "Support Measures" für den Wohnbau - Zusammenhänge zur Zersiedelung in Österreich. Bericht zu Arbeitspaket AP3 des Projektes ZERSiedelt*.
- Parantainen, J., & Meriläinen, A. (2003). Meeting challenges of rural road management caused by decreasing population and changes in industrial structure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1819, pp. 53-58.
- PIARC, & AIPCR (2000). *Highway Development & Management*. (Volume one: Overview of HDM-4): Association mondiale de la Route AIPCR, World Road Association PIARC.
- Rechnungshof (2014). *Prüfbericht: Verländerung der Bundesstraßen*. (Steiermark 2014/2 ed.). Wien.
- Reddy, K., Rathnakara, & Veeraragavan, A. (2011). Application of Highway Development and Management Tool in Rural Road Asset Management. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2204, pp. 29-34.
- Rommerskirchen, S., Helms, M., Vödisch, M., Rothengatter, W., Liedtke, G., & Doll, C. (2002). *Wegekostenrechnung für das Bundesfernstraßennetz unter Berücksichtigung der Vorbereitung einer streckenbezogenen Autobahnbenutzungsgebühr*. (Vol. FE-Nr. 96.693/2001). Basel/Karlsruhe: Prognos AG.
- Rübensam, J. (2005). *Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit und bautechnischen Bewährung von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt und Beton auf bestehenden Bundesautobahnen*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Rübensam, J., Schwiethal, S., & Maerschalk, G. (2010). *Erarbeitung eines Prototypen eines technisch-wirtschaftlichen Kostenminimierungsmoduls für das Erhaltungsmanagement (PMS); [Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 09.141/2006/MGB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung]*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verl. für neue Wiss.
- Sauermoser, K. (2010). Das Straßennetz in der Steiermark: Umfangreichstes Verkehrsnetz Österreichs. *25.000 Kilometer Ländliches Wegenetz in Der Steiermark*, pp. 4-7.
- Schierenbeck, H. (2002). *Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre*. (16. Auflage ed.). München: Oldenbourg.
- Schiller, C. (2007). *Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum- und Infrastrukturplanung*. Dresden: Dissertation, TU Dresden.
- Schmuck, A. (1987). *Straßenerhaltung mit System; Grundlagen des Managements*. Bonn: Kirschbaum.
- Schmuck, A., & Maerschalk, G. (1989). *Auswirkungen örtlich begrenzt auftretender Mängel der Straßenbefestigung auf die Notwendigkeit rechtzeitiger Erhaltungsmaßnahmen*. Bonn-Bad Godesberg: Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau.

- Schnabel, W., & Lohse, D. (2011). *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung: Band 2 - Verkehrsplanung*. Berlin: Beuth Verlag.
- Schwimann, M. (2006). *ABGB-Praxiskommentar*. (3., neu bearb. Aufl. ed.). (Vol. Band 6). Wien: LexisNexis-Verl. ARD Orac.
- Schwimann, M. (2013). *ABGB Taschenkommentar*. Wien: LexisNexis Verlag ARD Orac.
- Sheffi, Y. (1985). *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Socina, M., & Komma, C. (2015). *Kennzahlen für die gesamtwirtschaftliche Bewertung von Erhaltungsstrategien*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Souvaine, D., Horn, M., & Weber, G. (2004). Voronoi Diagrams. *Comp 163: Computational Geometry - Tufts University*.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien, New York: Springer-Verlag.
- Stadtgemeinde Eisenerz (2011). *Rahmenkonzept - redesign - Eisenerz - 2021*. Eisenerz.
- STATISTIK AUSTRIA (2009). *Kleinräumige ÖROK-Bevölkerungsprognose 2009-2050*. Wien.
- Steiermärkisches Landes-Straßenverwaltungsgesetz 1964 - LStVG. 196, LGBl. Nr. 154/1964 (WV), i.d.F vom 02.10.2016.
- Sturm, P., & Fellendorf, M. (2015). Nachfrageorientiertes Priorisierungssystem für die ländliche Straßenerhaltung. *Zfv, 140. Jahrgang, Heft 3*, pp. 164-172.
- Vadakpat, G., Stoffels, S., & Dixon, K. (2000). Road user cost models for network-level pavement management. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1699*, pp. 49-57.
- Veeraragavan, A., & P, M., Krishna (2011). Decision Support Models for Asset Management of Low-Volume Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2205*, pp. 181-188.
- Vrtic, M., Fröhlich, P., Schüssler, N., Dasen, S., Erne, S., Singer, B., Axhausen, K. W., & Lohse, D. (2005). *Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr, Research Report*. Zurich: Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
- Wagner, K. W. (2003). *Theoretische Informatik: Eine kompakte Einführung*. (Zweite überarbeitete Auflage ed.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Wang, L., Waddell, P., & Outwater, M.,L. (2011). Incremental Integration of Land Use and Activity-Based Travel Modeling: Workplace Choices and Travel Demand. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2255*, pp. 1-10.
- Weber, G. (2016). Vom Streben nach Wachstum zur Gestaltung von Schrumpfung. In R. Egger & A. Posch (Eds.), *Lebensentwürfe im ländlichen Raum - Ein prekärer Zusammenhang?*. pp. 91-103.

- Wegener, I. (1996). *Effiziente Algorithmen für grundlegende Funktionen*. (Zweite Auflage ed.). Stuttgart: Teubner.
- Weninger-Vycudil, A., & Litzka, J. (2010). *Bauliche Erhaltung kommunaler Straßen* (Handbuch).
- Weninger-Vycudil, A. (2001). *Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System*. Wien: Dissertation, TU Wien.
- Weninger-Vycudil, A. (2009). *Handbuch Pavement-Management in Österreich 2009; Straßenforschungsauftrag Nr. 3.329 des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie*. Wien: Republik Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Bundesstraßenverwaltung.
- Weninger-Vycudil, A. (2015). *Straßenerhaltung und Straßenbetrieb - Straßen nachhaltig und wirtschaftlich sanieren und betreiben*. Wien: FVH Forum Verlag Herkert GmbH.
- Wermuth, M. (2005). Modellvorstellungen zur Prognose. In G. Steierwald, H. D. Künne, & W. Vogt (Eds.), *Stadtverkehrsplanung - Grundlagen, Methoden, Ziele*. (2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage ed., pp. 243-295). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Wilf, H. S. (1986). *Algorithms and complexity*. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Zhang, L., & Levinson, D. (2004). Agent-Based Approach to Travel Demand Modeling: Exploratory Analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.1898, pp. 28-36.

Anhang

A Funktionale Gliederung

Verkehrsbedeutung nach Functional Road Classes (GIP.EDGE.FUNCTIONALCLASS, GIP 2016)

-1	nicht anwendbar
0	Straßen des transnationalen Netzes (Kategorie I)
1	Straßen des transregionalen Netzes (Kategorie II)
2	Straße des zentralörtlichen Netzes (Kategorie III)
3	Straßen des regionalen Netzes (Kategorie IV)
4	Straße die als Gemeindeverbindungen dienen (Kategorie V)
5	Straßen des innerörtlichen Netzes (Kategorie V)
6	Sammelstraßen
7	Straßen der internen Erschließung
8	Sonstige Straße
10	Rad-/Fußweg
11	Wirtschaftsweg
12	Sonstiger Weg
20	Bahntrasse Hauptnetz
21	Bahntrasse Ergänzungsnetz
22	Bahntrasse Anschlussbahn, Verbindungsgleis, sonstiges Gleis
24	Straßenbahntrasse
25	U-Bahn-Trasse
31	Fähre
45	Treppe
46	Rolltreppe
47	Aufzug
48	Rampe für den nichtmotorisierten Verkehr
98	Betriebsumkehr
99	Betriebsweg
101	Fußweg ohne Anzeige
102	Fußwegpassage
103	Seilbahn und Sonstige
105	Almaufschließungsweg
106	Forstaufschließungsweg
107	Gebäudezufahrt
115	Friedhofsweg
200	Singletrail (MTB)
300	Wanderweg

B GIS-Grundlagedaten

B.1 Liste der Points of Interest (Land Steiermark, 2015a)

Abfallwirtschaftliche Anlagen	Apotheken
Arzt	Aufstiegshilfen
Bäder	Bahnhof
Bildungsstandorte	Burgen und Schlösser
Feuerwehren	Flugplatz
Gemeindeamt	Gericht
Haltestellen	Heilbad/Kurort
Kaserne	Kino
Krankenanstalten	Landesdienststellen
Museen	Niedergelassene Ärzte
Notfallzentrum	Park und Ride
Polizeiinspektionen	Raststätte
Religiöse Einrichtung	Sanitätseinrichtung
Soziale Einrichtung	Theater/Oper
Tourismusinformationen	

B.2 Inhalte des Geodatensatzes GIP Edge (Land Steiermark, 2015b)

Bezeichnung	Erläuterung
ACTION_OBJ	Objektnummer
FUNCTIONAL	Functional Road Class (siehe Anhang A)
FEATURENAME	Bezeichnung des Straßensegments (z.B. A1-Westautobahn oder Badstraße mit Hinweis auf angrenzende Straßen)
SHAPELENGT	Länge des Straßensegmentes (in Metern)
EDGECATEGORY	Kategorie des Straßensegmentes A ...Autobahnen S ...Schnellstraßen B ...Landesstraßen B L ... Landesstraßen L G ... Gemeindestraßen P ... Privatstraßen I ... Interessentenwege R ... Radwege W... Weg FS ... Forststraßen N ... Nicht bekannt

	PS ... Privatstraße WW ... Wirtschaftsweg
MAINNAMETE	Bezeichnung des Straßensegments (z.B. A1- Westautobahn oder Badstraße)
NODEFROM_O	Anfangsknoten des Straßensegments z.B. 15460003557
NODETO_OBJ	Endknoten des Straßensegments z.B. 15460003555

C Bewertungsgrundlagen

C.1 Zeitkostensätze

Zeitkostensätze im Verkehr (RVS 02.01.22, 2009)

Reisezweck [Kosten pro Personenstunde]	Kostensatz [EUR/Personenstunde]
Geschäftsverkehr	30
Berufspendelverkehr	11
Ausbildungs-, Freizeit-, Einkaufs- und Erledigungsverkehr	8

C.2 Erzeugungsraten und Gewichtungsfaktoren

POI	Strukturgröße	Erzeugungsraten			Reales VA [VTEH/24h]	Veränd. VA [VTEH/24h]	Fiktives VA [VTEH/24h]	Ziel-VA [VTEH/24h]	
		α	β	γ					
Apotheke	Kunden / Tag	90	1	0	0,6	90	0	50	140
Arzt	Patienten / Tag	25	1	0	2,0	25	0	50	75
Bad	Besucher / Tag	20	1	0	3,5	20	0	70	90
Bahnhof	Fahrgäste / Tag	100	1	0	1,0	100	0	100	200
Betriebsstätte	Mitarbeiter	30	0,667	0	2,3	20	0	70	90
Bildungsstandort	Schüler	220	0,773	0	2,3	170	0	500	670
Feuerwehr	Einwohner	4500	0,001	0	0,1	5	0	500	505
Gastronomiebetrieb	Gäste / Tag	40	1	0	1,3	40	0	50	90
Gemeindeamt	Parteien / Tag	40	1	0	1,8	40	0	70	110
Haltestelle	Fahrgäste / Tag	30	1	0	0,7	30	0	20	50
Hotel od. Gästehaus	Gäste / Tag	50	1	0	2,0	50	0	100	150
Krankenhaus	Einwohner	4500	0,007	0	0,3	30	0	1500	1530
Museen	Besucher / Tag	20	1	0	0,5	20	0	10	30
Polizei	Einwohner	4500	0,006	0	0,2	25	0	1000	1025
Religiöse Einrichtung	Besucher / Tag	20	1	0	0,5	20	0	10	30
Sanitätseinrichtung	Patienten / Tag	15	1	0	3,3	15	0	50	65
Soziale Einrichtung	Parteien / Tag	15	1	0	2,7	15	0	40	55
Tourismus- oder Freizeattraktion	Gäste / Tag	60	1	0	2,8	60	0	170	230
Wohnsitz	Wohnsitzfahrten / Tag	1	1	0	0,0	1	0	0	1

VA ... Verkehrsaufkommen

123 ... In Zusammenarbeit mit Gemeinde abgeschätzte Werte

123 ... Errechnete Werte

D Gemeindespezifische Grundlagedaten

Bevölkerungsentwicklung in den Pilotgemeinden

Anm.: Die Gemeinde Leutschach a. d. Weinstraße ist in der bestehenden Form mit 01.01.2016 durch die Zusammenlegung von vier bis dahin selbstständigen Gemeinden entstanden. Die Zahlen der Bevölkerungsprognosen wurden daher aus den Einzelinformationen errechnet.

Jahr	Eisenerz [Einwohner]	Leutschach + Schloßberg + Glanz + Eichberg-Trautenburg [Einwohner]
1981	10.068	$515 + 1.318 + 1.509 + 992 = 4.334$
1991	7.759	$540 + 1.350 + 1.541 + 897 = 4.328$
2001	6.435	$627 + 1.212 + 1.376 + 884 = 3.215$
2009	5.256	$582 + 1.084 + 1.403 + 807 = 3.876$
2015	4.539	$545 + 1.009 + 1.447 + 765 = 3.766$
2020	4.070	$523 + 983 + 1.471 + 734 = 3.711$
2025	3.702	$514 + 966 + 1.497 + 715 = 3.692$
2030	3.414	$504 + 959 + 1.511 + 704 = 3.678$
Prozentuelle Veränderung 2015 bis 2030	-24,8%	-2,3%

Gemeindespezifische Kostenkennwerte Eisenerz

Segmente 1-6

	Segmentnummer					
	1	2	3	4	5	6
Bezeichnung	Krumpentalerstraße I	Kaiserschildstraße	Europasiedlung	Vordernberger Straße	Hieflauerstraße	Trofengbachg.
Belag (aktuell)	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Pflaster	Asphalt	Asphalt
Schadhafte Elemente (S,K,W)	S+K	S+K	S+K	S	S+50%K	S
Bedeutung [VTEH/24]	1.500	877	301	250	700	700
Länge [km]	0,96	0,28	0,30	0,18	1,08	0,14
Breite [m]	5,0	5,0	4,5	4,5	5,0	5,0
Zustand (A=1, B=2, C=3)	● 3	● 3	● 3	● 3	● 2	● 3
Geschw. akt. [km/h]	40	25	15	15	30	20
Laufende Erhaltung [€/a]	3.056	667	300	211	1.075	326
Risiko durch Schäden K/W [€/a]	19.500	5.676	6.126	0	10.975	0
Risiko verpflichtende Investition [€/a]	1.937	456	431	0	975	0
Erneuerung Investition [€]	760.021	221.242	238.750	33.440	529.885	25.840
Erneuerung Wirkdauer [a]	17	21	24	25	19	23
Wirkdauer bis Instandsetzung [a]	9	13	14	15	11	14
Wirkdauer K/W [a]	40	40	40	-	40	-
Laufende Erhaltung [€/a]	764	222	150	141	860	109
Effekt durch Verschiebung [€/a]	21.792	6.121	6.276	70	11.190	218
Instandsetzung [€]	95.500	27.800	30.000		107.500	13.600
Instandsetzung Wirkdauer [a]	5	6	8		6	6
Effekt durch Verschiebung [€/a]	2.101	389	113		129	190
Auswirkung schadhafter Kanal [€/a]	21.437	6.133	6.557		11.951	0
Laufende Erhaltung [€/a]	955	278	188		946	136
Kosten Warnhinweis [€]	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Laufende Erhaltung [€/a]	1.528	445	225	141	946	218
Effekt durch Verschiebung [€/a]	1.528	222	75	70	129	109
Auswirkung schadhafter Kanal [€/a]	21.437	6.133	6.557	0	11.951	0
Umbau/Erneuerung Investition [€]	28.650	8.340	9.000	5.280	32.250	4.080
Wirkdauer [a]	8	10	12	12	10	10
Instandsetzung [€]	9.550	2.780	3.000	1.760	10.750	1.360
Laufende Erhaltung €/a	478	139	90	88	538	68
Effekt durch Verschiebung [€/a]	2.579	528	210	123	538	258
Hinweistafel €	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Effekt durch Verschiebung [€/a]	3.056	667	300	211	1.075	326

Segmente 7-12

		Segmentnummer					
		7	8	9	10	11	12
Ausgangsszenario GL	Bezeichnung	Waldmeisterstraße	Kohlröserweg etc.	Galleitenweg	Schichtturmweg	Leopoldsteinerseestr.	Krumpentalerstraße II
	Belag (aktuell)	Asphalt	Asphalt	unbefestigt	unbefestigt	Asphalt	Asphalt
	Schadhafte Elemente (S,K,W)	S+W+K	S+W+66%K	S	S	S	S+K
	Bedeutung [VTEH/24]	78	99	24	2	116	750
	Länge [km]	0,12	0,35	1,26	0,62	0,16	0,38
	Breite [m]	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0
	Zustand (A=1, B=2, C=3)	● 3	● 3	● 3	● 3	● 3	● 3
	Geschw. akt. [km/h]	15	15	10	10	15	40
	Laufende Erhaltung [€/a]	122	349	567	187	260	1.222
	Risiko durch Schäden K/W [€/a]	4.982	11.829	0	0	0	7.800
Risiko verpflichtende Investition [€/a]	162	305	0	0	0	693	
M1	Erneuerung Investition [€]	124.809	330.076	504.400	248.800	30.400	304.008
	Erneuerung Wirkdauer [a]	26	26	29	29	26	19
	Wirkdauer bis Instandsetzung [a]	16	16	18	18	16	11
	Wirkdauer K/W [a]	40	40	-	-	-	40
	Laufende Erhaltung [€/a]	61	175	378	124	104	306
Effekt durch Verschiebung [€/a]	5.043	12.004	189	62	156	8.717	
M2	Instandsetzung [€]	12.200	34.900	5.044	2.488	16.000	38.200
	Instandsetzung Wirkdauer [a]	8	8	5	6	7	6
	Effekt durch Verschiebung [€/a]	46	131	189	62	130	840
	Auswirkung schadhafter Kanal [€/a]	5.144	12.135	0	0	0	8.493
	Laufende Erhaltung [€/a]	76	218	378	124	130	382
M3	Kosten Warnhinweis [€]	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Laufende Erhaltung [€/a]	92	262	426	140	208	611
	Effekt durch Verschiebung [€/a]	31	87	142	47	52	611
	Auswirkung schadhafter Kanal [€/a]	5.144	12.135	0	0	0	8.493
M4	Umbau/Erneuerung Investition [€]	3.660	10.470	12.610	6.220	4.800	11.460
	Wirkdauer [a]	14	14	14	12	10	8
	Instandsetzung [€]	1.220	3.490	12.610	6.220	1.600	3.820
	Laufende Erhaltung €/a	37	105	340	112	80	191
	Effekt durch Verschiebung [€/a]	85	244	227	75	180	1.031
M5	Hinweistafel €	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Effekt durch Verschiebung [€/a]	122	349	567	187	260	1.222

Gemeindespezifische Kostenkennwerte Leutschach

Segmente 1-6

		Segmentnummer					
		1	2	3	4	5	6
Ausgangsszenario - Grundlagen	Straßenbezeichnung	Waldhüterweg	Glanzer Klapotetzstraße BA02	Glanzer Klapotetzstraße BA03	Polzerweg	Siebenschusterweg BA02	Siebenschusterweg BA03
	Belagsart	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt
	Besonderheiten & Anmerkungen	Umfahrung bei Platzsperre	Bohrungen zur Bestimmung des Aufbaus	-	-	Spitzzufahrt	-
	Mängel (Oberbau, Entwässerung DL...)	Strukturschäden Straße u. Brücken	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Brücke	Beginnende Strukturschäden Straße
	Bedeutung [VTEH/24] rd.	450	400	1.100	62	800	300
	Länge [m]	1.212	1.400	1.000	134	100	1.200
	Breite [m]	3,0	3,0	3,0	2,6	3,0	3,0
	Zustand (A=1, B=2, C=3)	● 3	● 3	● 3	● 3	● 3	● 2
	Erhaltungsintensität	kaum Ausbesserungen	kaum Ausbesserungen	aktuelle Flickstellen	kaum Ausbesserungen	keine Ausbesserungen	keine Ausbesserungen
	Laufende Erhaltung AKTUELL [€/a]	1.018	1.344	1.170	122	94	1.152
M1: Abgeleitete Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	M1: Asphalt- und Brückenerneuerung	M1: Asphalterneuerung	M1: Asphalterneuerung	M1: Straßenerneuerung + Entwässerung	M1: Brückenerneuerung	M1: Asphalterneuerung
	Einheitspreis Straßenerneuerung [€/m]	200	200	200	500		180
	Wirkdauer Straßenerneuerung [a]	30	30	30	30		30
	Brückenerneuerung (Pauschale) [€]	400.000				200.000	
	Wirkdauer Brückenerneuerung [a]	80				80	
	Begleitmaßn. z.B. Mauer, Gehsteig (PA) [€]	200.000					
	Wirkdauer Begleitmaßnahmen [a]	30					
	Erneuerung Investition Gesamt [€]	842.400	280.000	200.000	67.000	200.000	216.000
	Erneuerung Invest. 5 Jahre Versch. [€]	1.010.880	336.000	240.000	80.400	240.000	259.200
	Kosten möglicher Instandsetzung [€]	12.120	14.000	10.000	1.340	30.000	12.000
	Kosten mögl. Instandsetzung 5 Jahre Versch. [€]	14.544	16.800	12.000	1.608	36.000	14.400
	Wirkdauer bis möglicher Instandsetzung [a]	15	15	15	15	20	15
	Laufende Erhaltung EHP [€/km/a]	700	800	900	700	850	800
Laufende Erhaltung auf Abschnitt [€/a]	848	1.120	900	94	85	960	
M2: Warnhinweis aufstellen	Kosten Warnhinweis [€]	500	500	500	500	500	500
	Laufende Erhaltung auf Abschnitt [€/a]	1.866	2.464	2.520	263	136	2.112
M3: Umbau zur Schotterstraße	Umbau/Erneuerung Investition [€]	30.906	35.700	25.500	2.961		30.600
	Laufende Erhaltung EHP [€/km/a]	1.500	3.000	4.000	900		2.500
	Laufende Erhaltung auf Abschnitt [€/a]	1.818	4.200	4.000	121		3.000
M4: Eingegrenzter Zugang	Kosten Hinweistafel [€]	700	700	700	700	700	700
	Laufende Erhaltung auf Abschnitt [€/a]	848	1.120	900	94	85	960

Segmente 7-12

		Segmentnummer					
		7	8	9	10	11	12
Ausgangsszenario GL	Straßenbezeichnung	Drobierweg	Gödlweg (Eichberg)	Fötschacher Höhenstraße BA 03	Arnfels-Salzaweg	Serschen-Tertinjekweg	Rosenberggasse
	Belagsart	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt
	Besonderheiten & Anmerkungen	-	Spitzzufahrt	-	Punktuelle Verwindungen	teilweise in Slowenien	Als M4 wird Einbahnsystem betrachtet
	Mängel	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße	Engstelle
	Bedeutung [VTEH/24] rd.	50	400	900	175	22	2.000
	Länge [km]	2.350	1.000	1.200	2.500	2.000	100
	Breite [m]	3,0	3,0	3,0	2,5	2,8	3,0
	Zustand	● 3	● 3	● 3	● 3	● 3	● 1
	Erhaltungsintensität	keine Ausbesserungen	ältere Flickstellen	aktuelle Flickstellen	aktuelle Flickstellen	kaum Ausbesserungen	keine Ausbesserungen
	Laufende Erhaltung AKTUELL [€/a]	2.139	900	1.404	2.763	1.540	80
M1: Abgeleitete Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	M1: 1/3 Asphalt u. 2/3 Recycl.& Spritzdecke	M1: Asphaltenerueung; Linienführung	M1: Asphaltenerueung	M1: Asphaltenerueung	M1: Asphaltinstandsetzung	M1: Mauerversetzung - Ausweichmöglichkeit
	Einheitspreis Straßenerneuerung [€/m]	153	280	180	250	70	
	Wirkdauer Straßenerneuerung [a]	23	30	30	30	15	
	Brückenerneuerung (Pauschale) [€]						
	Wirkdauer Brückenerneuerung [a]						
	Begleitmaßn. z.B. Mauer, Gehsteig (PA) [€]						60.000
	Wirkdauer Begleitmaßnahmen [a]						80
	Erneuerung Investition Gesamt [€]	360.333	280.000	216.000	625.000	140.000	60.000
	Erneuerung Invest. 5 Jahre Versch. [€]	432.400	336.000	259.200	750.000	400.000	72.000
	Kosten möglicher Instandsetzung [€]	8.608	10.000,00	12.000,00	25.000,00	1.000	
	Kosten mögl. Instandsetzung 5 Jahre Versch. [€]	10.330	12.000	14.400	30.000	20.000	
	Wirkdauer bis möglicher Instandsetzung [a]	10	15	15	15	11	
	Laufende Erhaltung EHP [€/km/a]	700	750	900	850	700	800
Laufende Erhaltung auf Abschnitt [€/a]	1.645	750	1.080	2.125	1.400	80	
M2: Warnhinweis aufstellen	Kosten Warnhinweis [€]	500	500	500	500	500	
	Laufende Erhaltung auf Abschnitt [€/a]	4.606	1.650	3.024	5.950	2.240	
M3: Umbau zur Schotterstraße	Umbau/Erneuerung Investition [€]	59.925	25.500	30.600	53.125	47.600	
	Laufende Erhaltung €/a	3.000	3.000	4.000	3.500	2.000	
	Laufende Erhaltung auf Abschnitt [€/a]	7.050	3.000	4.800	8.750	4.000	
M4: Eingeschränkter Zugang	Kosten Hinweistafel [€]	700	700	700	700	700	700
	Laufende Erhaltung auf Abschnitt [€/a]	1.645	750	1.080	2.125	1.400	80

Segmente 13-17

		Segmentnummer				
		13	14	15	16	17
Ausgangsszenario GL	Straßenbezeichnung	Krainzweg II	Druleggweg	Wolleschniggweg	Mautnerweg	Werwitschweg
	Belagsart	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt
	Besonderheiten & Anmerkungen	-	-	-	-	-
	Mängel	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße	Strukturschäden Straße
	Bedeutung [VTEH/24] rd.	16	180	80	58	32
	Länge [km]	2.313	980	1.020	748	315
	Breite [m]	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8
	Zustand	● 3	● 3	● 3	● 3	● 3
	Erhaltungsintensität	keine Ausbesserungen	keine Ausbesserungen	aktuelle Flickstellen	aktuelle Ausbesserungen	keine Ausbesserungen
	Laufende Erhaltung AKTUELL [€/a]	1.908	823	995	628	243
M1: Abgeleitete Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	M1: Recycl.-Asph. mit SD	M1: Recycl.-Asph. mit SD	M1: Recycl.-Asph. mit SD	M1: Recycl.-Asph. mit SD	M1: Recycl.-Asph. mit SD
	Einheitspreis Straßenerneuerung [€/m]	90	100	80	100	100
	Wirkdauer Straßenerneuerung [a]	15	15	15	15	15
	Brückenerneuerung (Pauschale) [€]					
	Wirkdauer Brückenerneuerung [a]					
	Begleitmaßn. z.B. Mauer, Gehsteig (PA) [€]					
	Wirkdauer Begleitmaßnahmen [a]					
	Erneuerung Investition Gesamt [€]	208.170	98.000	81.600	74.800	31.500
	Erneuerung Invest. 5 Jahre Versch. [€]	249.804	117.600	97.920	89.760	37.800
	Kosten möglicher Instandsetzung [€]	1.157	490	510	374	158
	Kosten mögl. Instandsetzung 5 Jahre Versch. [€]	1.388	588	612	449	189
	Wirkdauer bis möglicher Instandsetzung [a]	7	7	7	7	7
	Laufende Erhaltung EHP [€/km/a]	750	700	750	700	700
Laufende Erhaltung auf Abschnitt [€/a]	1.735	686	765	524	221	
M2: Warnhinweis aufstellen	Kosten Warnhinweis [€]	500	500	500	500	500
	Laufende Erhaltung [€/a]	2.776	1.509	2.142	1.152	353
M3: Umbau zur Schotterstraße	Umbau/Erneuerung Investition [€]	58.982	24.990	26.010	19.074	7.497
	Laufende Erhaltung €/km/a	3.000	1.000	2.500	2.500	2.000
	Laufende Erhaltung €/a	6.939	980	2.550	1.870	630
M4: Eingeschränkter Zugang	Kosten Hinweistafel [€]	700	700	700	700	700
	Laufende Erhaltung [€/a]	1.735	686	765	524	221

E Maßnahmenbewertung

E.1 Auswertung Reisezeiten

Eisenerz

1 Krumpentalerstraße I				
Bedeutung: 1500 VTEH/24h Länge: 955 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	40	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	50	662.233,2	-2.598,2
M2	Instandsetzung	50	662.233,2	-2.598,2
M3	Gefahrenzeichen	30	669.145,6	4.314,2
M4	Unbefestigte Straße	20	677.330,2	12.498,8
M5	Kein Zugang	0	∞	∞

2 Kaiserschildstraße				
Bedeutung: 877 VTEH/24h Länge: 278 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	25	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	30	664.225,5	-605,9
M2	Instandsetzung	30	664.225,5	-605,9
M3	Gefahrenzeichen	20	665.509,8	678,3
M4	Unbefestigte Straße	20	665.509,8	678,3
M5	Kein Zugang	0	683.943,5	19.112,1

3 Europasiedlung				
Bedeutung: 301 VTEH/24h Länge: 300 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	15	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	20	664.282,3	-549,2
M2	Instandsetzung	20	664.282,3	-549,2
M3	Gefahrenzeichen	15	664.831,4	0,0
M4	Schotter	10	665.910,1	1.078,7
M5	Sperre	0	∞	∞

4 Vordernberger Straße				
Bedeutung: 250 VTEH/24h Länge: 176 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	15	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	20	664.615,0	-216,4
M2	Instandsetzung	20	664.615,0	-216,4
M3	Gefahrenzeichen	15	664.831,4	0,0
M4	Schotter	15	664.831,4	0,0
M5	Sperre	0	∞	∞

5 Hieflauerstraße				
Bedeutung: 700 VTEH/24h Länge: 1075 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	30	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	30	664.831,4	0,0
M2	Instandsetzung	30	664.831,4	0,0
M3	Gefahrenzeichen	30	664.831,4	0,0
M4	Schotter	20	667.860,2	3.028,8
M5	Sperre	0	∞	∞

6 Trofengbachg.				
Bedeutung: 700 VTEH/24h Länge: 136 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	20	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	25	664.499,9	-331,5
M2	Instandsetzung	25	664.499,9	-331,5
M3	Gefahrenzeichen	15	665.104,3	272,8
M4	Schotter	15	665.104,3	272,8
M5	Sperre	0	∞	∞

7 Waldmeisterstraße				
Bedeutung: 78 VTEH/24h Länge: 122 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	15	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	20	664.774,2	-57,2
M2	Instandsetzung	20	664.774,2	-57,2
M3	Gefahrenzeichen	15	664.831,4	0,0
M4	Schotter	10	664.924,4	93,0
M5	Sperre	0	∞	∞

8 Kohlröserlweg etc.				
Bedeutung: 99 VTEH/24h Länge: 349 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	15	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	20	664.621,1	-210,3
M2	Instandsetzung	20	664.621,1	-210,3
M3	Gefahrenzeichen	15	664.831,4	0,0
M4	Schotter	10	665.252,1	420,7
M5	Sperre	0	∞	∞

9 Galleitenweg				
Bedeutung: 24 VTEH/24h Länge: 1261 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	10	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	20	664.278,7	-552,7
M2	Instandsetzung	15	664.462,9	-368,5
M3	Gefahrenzeichen	10	664.831,4	0,0
M4	Unbefestigte Straße	15	664.462,9	-368,5
M5	Kein Zugang	0	∞	∞

10 Schichtturmweg				
Bedeutung: 2 VTEH/24h Länge: 622 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	10	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	20	664.808,7	-22,7
M2	Instandsetzung	15	664.816,3	-15,1
M3	Gefahrenzeichen	10	664.831,4	0,0
M4	Schotter	15	664.816,3	-15,1
M5	Sperre	0	∞	∞

11 Leopoldsteinerseestr.				
Bedeutung: 116 VTEH/24h Länge: 160 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	15	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	25	664.650,6	-180,8
M2	Instandsetzung	25	664.650,6	-180,8
M3	Gefahrenzeichen	15	664.831,4	0,0
M4	Schotter	15	664.831,4	0,0
M5	Sperre	0	∞	∞

12 Krumpentalerstraße II				
Bedeutung: 750 VTEH/24h Länge: 382 m		Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
M0	Basisfall	40	664.831,4	0,0
M1	Erneuerung	50	664.308,2	-523,2
M2	Instandsetzung	50	664.308,2	-523,2
M3	Gefahrenzeichen	30	665.703,4	872,0
M4	Schotter	20	667.447,5	2.616,1
M5	Sperre	0	∞	∞

Leutschach

1 Waldhütterweg			
Bedeutung: 450 VTEH/24h Länge: 1212 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Asphalt- und Brückenerneuerung	30	5.030.943,1	-1.328,0
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.034.263,2	1.992,1
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.037.583,3	5.312,2
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

2 Glanzer Klapotetzstraße BA02			
Bedeutung: 400 VTEH/24h Länge: 1400 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Asphalterneuerung	30	5.031.297,0	-974,1
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.033.698,7	1.427,6
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.035.987,8	3.716,7
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

3 Glanzer Klapotetzstraße BA03			
Bedeutung: 1100 VTEH/24h Länge: 1000 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Asphalterneuerung	30	5.030.069,5	-2.201,6
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.035.559,6	3.288,5
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.040.969,3	8.698,1
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

4 Polzerweg			
Bedeutung: 62 VTEH/24h Länge: 134 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	20	5.032.271,1	0,0
M1: Straßenerneuerung + Entwässerung	20	5.032.271,1	0,0
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.032.271,1	0,0
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.032.321,7	50,6
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

5 Siebenschusterweg BA02			
Bedeutung: 800 VTEH/24h Länge: 100 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	30	5.032.271,1	0,0
M1: Brückenerneuerung	30	5.032.271,1	0,0
M2: Sperre für SV	0	5.034.794,7	2.523,6
M3: Gen. Sperre	0	∞	∞

6 Siebenschusterweg BA03			
Bedeutung: 300 VTEH/24h Länge: 1200 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	35	5.032.271,1	0,0
M1: Asphalterneuerung	40	5.031.681,0	-590,1
M2: Warnhinweis aufstellen	30	5.033.040,6	769,5
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.037.955,1	5.684,0
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

7 Drohierweg			
Bedeutung: 50 VTEH/24h Länge: 2350 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: 1/3 Asphalt u. 2/3 Recycl.& Spritzdecke	35	5.031.780,7	-490,5
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.032.700,3	429,2
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.033.415,6	1.144,5
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

8 Gödlweg (Eichberg)			
Bedeutung: 400 VTEH/24h Länge: 1000 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Asphalterneuerung; Linienführung	30	5.031.522,8	-748,4
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.033.126,6	855,4
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.034.131,1	1.860,0
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

9 Fötschacher Höhenstraße BA 03			
Bedeutung: 900 VTEH/24h Länge: 1200 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Asphalterneuerung	30	5.029.662,8	-2.608,3
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.035.552,5	3.281,4
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.040.120,4	7.849,3
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

10 Arnfels-Salzaweg			
Bedeutung: 175 VTEH/24h Länge: 2500 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Asphalterneuerung	30	5.031.693,6	-577,5
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.033.431,9	1.160,8
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.035.714,7	3.443,6
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

11 Serschen-Tertinjekweg			
Bedeutung: 22 VTEH/24h Länge: 2000 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	20	5.032.271,1	0,0
M1: Asphaltinstandsetzung	25	5.031.559,0	-712,1
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.032.271,1	0,0
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.033.399,5	1.128,3
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

12 Rosenberggasse			
Bedeutung: 2000 VTEH/24h Länge: 100 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Mauerversetzung - Ausweichmö	30	5.031.466,8	-804,4
M4: Einbahnsystem	0	∞	∞

13 Krainzweg II			
Bedeutung: 16 VTEH/24h Länge: 2313 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	20	5.032.271,1	0,0
M1: Recycl.-Asph. mit SD	25	5.032.136,0	-135,2
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.032.271,1	0,0
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.032.496,4	225,3
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

14 Druleggweg			
Bedeutung: 180 VTEH/24h Länge: 980 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Recycl.-Asph. mit SD	30	5.031.848,8	-422,4
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.032.859,8	588,7
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.033.738,0	1.466,8
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

15 Wolleschniggweg			
Bedeutung: 80 VTEH/24h Länge: 1020 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Recycl.-Asph. mit SD	30	5.032.072,4	-198,7
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.032.569,2	298,0
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.033.065,9	794,8
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

16 Mautnerweg			
Bedeutung: 58 VTEH/24h Länge: 748 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	25	5.032.271,1	0,0
M1: Recycl.-Asph. mit SD	30	5.032.165,5	-105,6
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.032.429,6	158,5
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.032.693,7	422,6
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

17 Werwitschweg			
Bedeutung: 32 VTEH/24h Länge: 315 m	Geschw. v [km/h]	Reisezeit (RZ) [h/a]	Δ RZ [h/a]
Basisfall	20	5.032.271,1	0,0
M1: Recycl.-Asph. mit SD	25	5.032.234,3	-36,8
M2: Warnhinweis aufstellen	20	5.032.271,1	0,0
M3: Umbau zur Schotterstraße	15	5.032.332,5	61,4
M4: Eingeschränkter Zugang	0	∞	∞

E.2 Bewertung Einzelmaßnahmen

Eisenerz

1 Krumpentalerstraße I		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 1500 VTEH/24h Länge: 955 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	760.021	-31.559	2.292	41.085	21.437	33.255	1
M2	Instandsetzung	95.500	-19.100	2.101	41.085	0	24.086	2
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	1.528	-68.219	0	-66.691	3
M4	Unbefestigte Straße	28.650	-2.388	2.579	-197.639	0	-197.448	4
M5	Kein Zugang	1.000	0	3.056	-∞	0	-∞	5

2 Kaiserschildstraße		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 877 VTEH/24h Länge: 278 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	221.242	-8.206	445	9.581	6.133	7.953	1
M2	Instandsetzung	27.800	-4.633	389	9.581	0	5.337	2
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	222	-10.726	0	-10.504	3
M4	Unbefestigte Straße	8.340	-556	528	-10.726	0	-10.754	4
M5	Kein Zugang	1.000	0	667	-302.212	0	-301.545	5

3 Europasiedlung		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 301 VTEH/24h Länge: 300 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	238.750	-8.293	150	8.684	6.557	7.097	1
M2	Instandsetzung	30.000	-3.750	113	8.684	0	5.046	2
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	75	0	0	75	3
M4	Schotter	9.000	-500	210	-17.058	0	-17.348	4
M5	Sperre	1.000	0	300	-∞	0	-∞	5

4 Vordernberger Straße		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 250 VTEH/24h Länge: 176 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	33.440	-1.338	70	3.423	0	2.155	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	70	0	0	70	2
M4	Schotter	5.280	-293	123	0	0	-170	3
M5	Sperre	1.000	0	211	-∞	0	-∞	4

5 Hiefelauerstraße		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 700 VTEH/24h Länge: 1075 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	529.885	-22.858	215	0	11.951	-10.693	2
M2	Instandsetzung	107.500	-17.917	129	0	0	-17.788	3
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	129	0	0	129	1
M4	Schotter	32.250	-2.150	538	-47.894	0	-49.506	4
M5	Sperre	1.000	0	1.075	-∞	0	-∞	5

6 Trofengbachg.		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 700 VTEH/24h Länge: 136 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	25.840	-1.715	218	5.242	0	3.745	1
M2	Instandsetzung	13.600	-2.267	190	5.242	0	3.166	2
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	109	-4.314	0	-4.206	3
M4	Schotter	4.080	-272	258	-4.314	0	-4.328	4
M5	Sperre	1.000	0	326	-∞	0	-∞	5

7 Waldmeisterstraße		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 78 VTEH/24h Länge: 122 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	124.809	-4.043	61	904	5.144	2.066	1
M2	Instandsetzung	12.200	-1.525	46	904	0	-575	3
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	31	0	0	31	2
M4	Schotter	3.660	-174	85	-1.471	0	-1.560	4
M5	Sperre	1.000	0	122	-∞	0	-∞	5

8 Kohlröserlweg etc.		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 99 VTEH/24h Länge: 349 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	330.076	-10.794	175	3.326	12.135	4.841	1
M2	Instandsetzung	34.900	-4.363	131	3.326	0	-906	3
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	87	0	0	87	2
M4	Schotter	10.470	-499	244	-6.652	0	-6.906	4
M5	Sperre	1.000	0	349	-∞	0	-∞	5

9 Galleitenweg		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 24 VTEH/24h Länge: 1261 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	504.400	-17.567	189	8.740	0	-8.638	4
M2	Instandsetzung	5.044	-1.009	189	5.826	0	5.007	2
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	142	0	0	142	3
M4	Unbefestigte Straße	12.610	-901	227	5.826	0	5.153	1
M5	Kein Zugang	1.000	0	567	-∞	0	-∞	5

10 Schichtturmweg		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 2 VTEH/24h Länge: 622 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	248.800	-8.665	62	359	0	-8.244	4
M2	Instandsetzung	2.488	-415	62	239	0	-113	2
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	47	0	0	47	1
M4	Schotter	6.220	-518	75	239	0	-204	3
M5	Sperre	1.000	0	187	-∞	0	-∞	5

11 Leopoldsteinerseestr.		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 116 VTEH/24h Länge: 160 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	30.400	-1.785	156	2.859	0	1.230	1
M2	Instandsetzung	16.000	-2.286	130	2.859	0	703	2
M3	Gefahrenzeichen	208	0	208	0	0	208	3
M4	Schotter	4.800	-320	180	0	0	-140	4
M5	Sperre	1.000	0	260	-∞	0	-∞	5

12 Krumpentalerstraße II		Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)				Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
Bedeutung: 750 VTEH/24h Länge: 382 m			Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]	Effekt Kanal- erneuerung [€/a]		
M1	Erneuerung	304.008	-11.879	917	8.274	8.493	5.805	1
M2	Instandsetzung	38.200	-6.367	840	8.274	0	2.747	2
M3	Gefahrenzeichen	1.000	0	611	-13.789	0	-13.178	3
M4	Schotter	11.460	-955	1.031	-41.368	0	-41.291	4
M5	Sperre	1.000	0	1.222	-∞	0	-∞	5

Leutschach

1 Waldhütterweg Bedeutung: 450 VTEH/24h Länge: 1212 m	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
M1: Asphalt- und Brückenerneuerung	842.400	-28.484	170	21.000	-7.314	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-848	-31.500	-32.365	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	30.906	-2.630	800	-84.000	-85.830	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	170	-∞	-∞	4

2 Glanzer Klapotetzstraße BA02 Bedeutung: 400 VTEH/24h Länge: 1400 m	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
M1: Asphalterneuerung	280.000	-9.800	224	15.403	5.827	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-1.120	-22.574	-23.711	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	35.700	-6.902	2.856	-58.771	-62.817	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	224	-∞	-∞	4

3 Glanzer Klapotetzstraße BA03 Bedeutung: 1100 VTEH/24h Länge: 1000 m	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
M1: Asphalterneuerung	200.000	-7.000	270	34.814	28.084	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-1.350	-51.999	-53.366	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	25.500	-6.510	2.830	-137.540	-141.220	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	270	-∞	-∞	4

4 Polzerweg Bedeutung: 62 VTEH/24h Länge: 134 m	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
M1: Straßenerneuerung + Entwässerung	67.000	-2.278	28	0	-2.250	3
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-141	0	-157	1
M3: Umbau zur Schotterstraße	2.961	-96	-1	-800	-897	2
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	28	-∞	-∞	4

5 Siebenschusterweg BA02 Bedeutung: 800 VTEH/24h Länge: 100 m	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
M1: Brückenerneuerung	200.000	-7.667	9	0	-7.658	1
M2: Sperre für SV	500	-17	-43	-39.905	-39.964	2
M3: Gen. Sperre	700	-23	9	-498.809	-498.809	3

6 Siebenschusterweg BA03	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 300 VTEH/24h Länge: 1200 m						
M1: Asphalterneuerung	216.000	-7.600	192	9.331	1.923	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-960	-12.167	-13.144	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	30.600	-4.716	1.848	-89.878	-92.746	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	192	-493.838	-493.838	4

7 Drohierweg	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 50 VTEH/24h Länge: 2350 m						
M1: 1/3 Asphalt u. 2/3 Recycl. & Spritzdeck	360.333	-12.585	494	7.756	-4.336	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-2.468	-6.786	-9.270	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	59.925	-11.821	4.912	-18.097	-25.006	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	494	-∞	-∞	4

8 Gödlweg (Eichberg)	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 400 VTEH/24h Länge: 1000 m						
M1: Asphalterneuerung; Linienführung	280.000	-9.667	150	11.834	2.317	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-750	-13.526	-14.293	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	25.500	-5.050	2.100	-29.411	-32.361	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	150	-640.730	-640.730	4

9 Fötschacher Höhenstraße BA 03	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 900 VTEH/24h Länge: 1200 m						
M1: Asphalterneuerung	216.000	-7.600	324	41.245	33.969	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-1.620	-51.887	-53.524	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	30.600	-7.812	3.396	-124.118	-128.534	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	324	-959.235	-959.235	4

10 Arnfels-Salzaweg	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 175 VTEH/24h Länge: 2500 m						
M1: Asphalterneuerung	625.000	-21.667	638	9.132	-11.897	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-3.188	-18.355	-21.559	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	53.125	-13.746	5.988	-54.452	-62.210	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	638	-466.806	-466.806	4

11 Serschen-Tertinjekweg	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 22 VTEH/24h Länge: 2000 m						
M1: Asphaltinstandsetzung	140.000	-9.400	140	11.261	2.001	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-700	0	-717	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	47.600	-6.507	2.460	-17.842	-21.889	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	140	-770.608	-770.608	4

12 Rosenberggasse	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 2000 VTEH/24h Länge: 100 m						
M1: Mauerversetzung - Ausweichmöglichkeit	60.000	-2.000	0	12.719	10.719	1
M4: Einbahnsystem	700	-23	0	-61.238	-61.238	2

13 Krainzweg II	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 16 VTEH/24h Länge: 2313 m						
M1: Recycl.-Asph. mit SD	208.170	-13.955	173	2.137	-11.644	3
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-867	0	-884	1
M3: Umbau zur Schotterstraße	58.982	-12.028	5.031	-3.562	-10.559	2
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	173	-∞	-∞	4

14 Druleggweg	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 180 VTEH/24h Länge: 980 m						
M1: Recycl.-Asph. mit SD	98.000	-6.566	137	6.679	250	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-686	-9.308	-10.011	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	24.990	-1.147	157	-23.195	-24.185	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	137	-35.377	-35.377	4

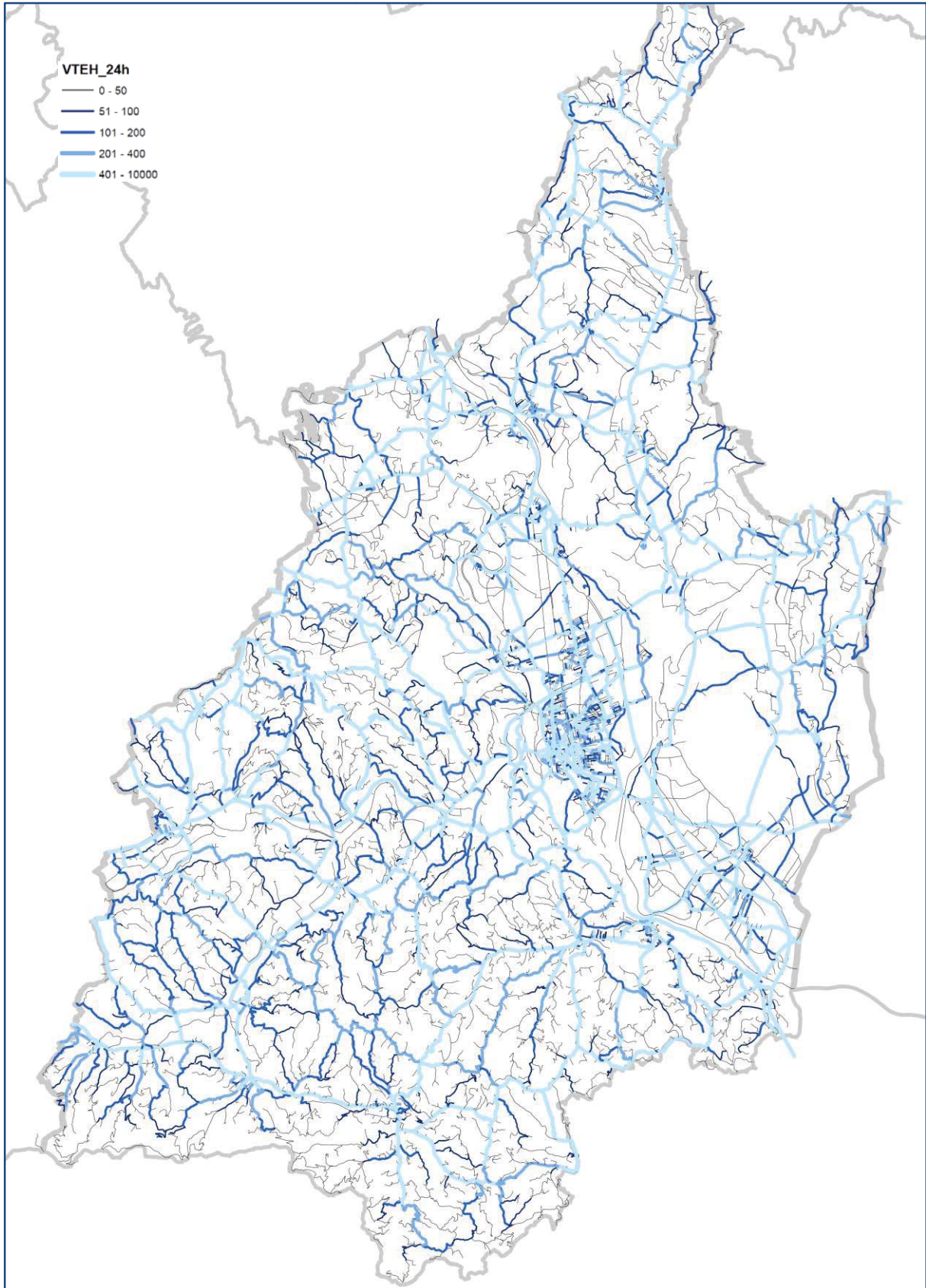
15 Wolleschniggweg	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
Bedeutung: 80 VTEH/24h Länge: 1020 m						
M1: Recycl.-Asph. mit SD	81.600	-5.474	230	3.142	-2.103	1
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-1.148	-4.713	-5.877	2
M3: Umbau zur Schotterstraße	26.010	-3.978	1.556	-12.568	-14.990	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	230	-∞	-∞	4

16 Mautnerweg Bedeutung: 58 VTEH/24h Länge: 748 m	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
M1: Recycl.-Asph. mit SD	74.800	-5.012	105	1.670	-3.236	2
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-524	-2.506	-3.046	1
M3: Umbau zur Schotterstraße	19.074	-3.119	1.242	-6.682	-8.559	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	105	-∞	-∞	4

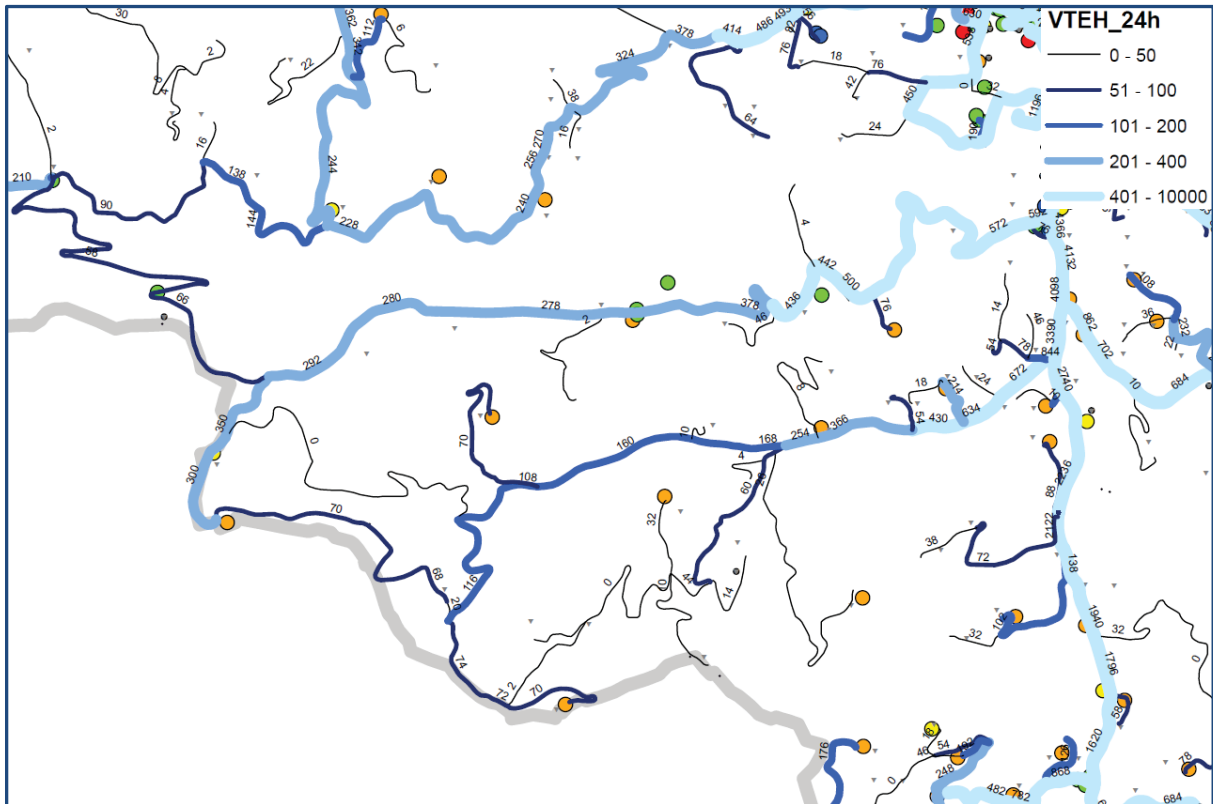
17 Werwitschweg Bedeutung: 32 VTEH/24h Länge: 315 m	Einmalige Maßnahme- kosten [€]	Nutzenkomponenten (jährlich)			Monetäre Nutzen- veränderung [€/a]	Rg.
		Δ Maßnahmen- kosten [€/a]	Δ laufende Erhaltung [€/a]	Δ Nutzer- aufwand [€/a]		
M1: Recycl.-Asph. mit SD	31.500	-2.111	22	582	-1.506	2
M2: Warnhinweis aufstellen	500	-17	-110	0	-127	1
M3: Umbau zur Schotterstraße	7.497	-1.025	387	-970	-1.608	3
M4: Eingeschränkter Zugang	700	-23	22	-∞	-∞	4

F Ergebnisse

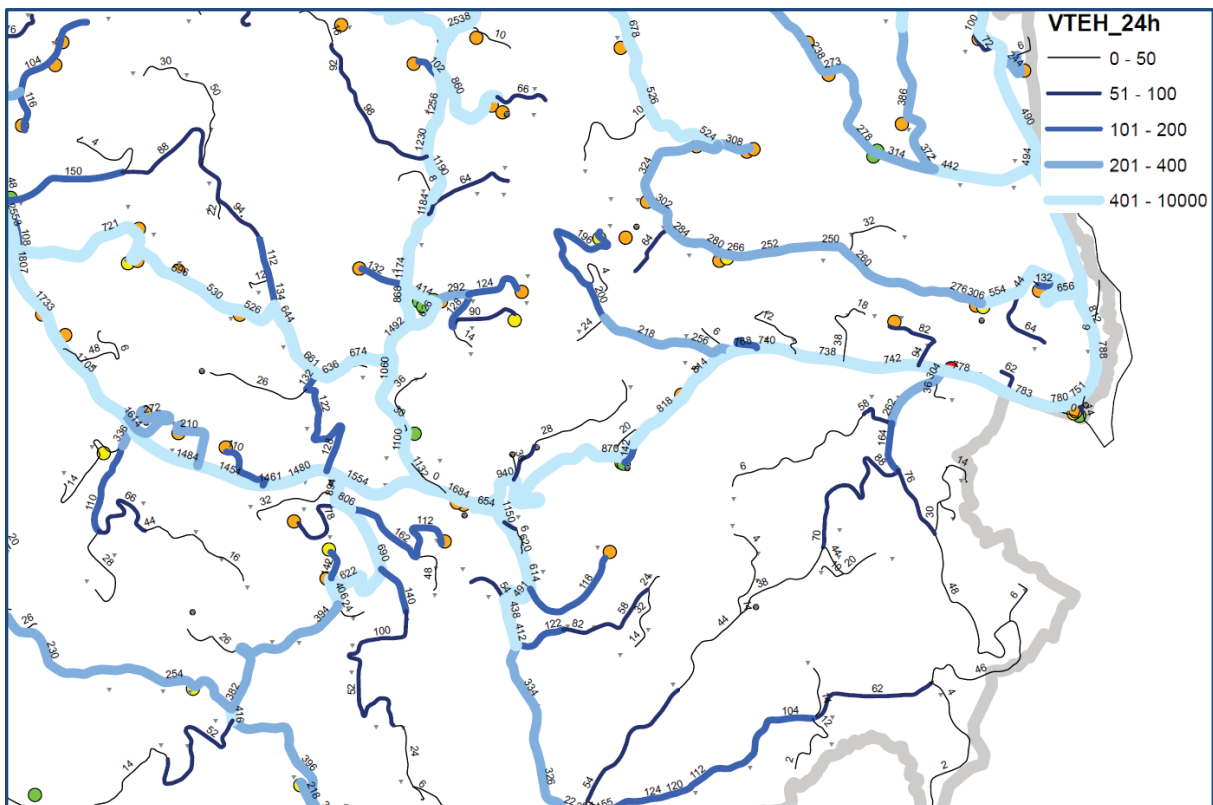
F.1 Übersicht Straßenbedeutungen Leibnitz



Auszug B



Auszug C



F.3 Optimierungsergebnis Eisenerz

Optimierungsergebnis mit Standard-Budget

SolveTime: 0.797000						CurrentYear: Y4, Utility: 0.000000
ObjectiveValueprint: 51679.996733						CurrentYear: Y4, Spendings: 0.000000
TotalCost: 421598.541667						M1 M2 M3 M4 M5
CurrentYear: Y1, Utility: 10413.474390						S1: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
CurrentYear: Y1, Spendings:						S2: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
193808.541667	M1	M2	M3	M4	M5	S3: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S1: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S4: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S2: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	S5: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S3: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S6: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S4: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S7: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S5: 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	S8: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S6: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S9: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S7: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S10: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S8: 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	S11: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S9: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S12: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S10: 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	CurrentYear: Y5, Utility: 0.000000
S11: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CurrentYear: Y5, Spendings: 0.000000
S12: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	M1 M2 M3 M4 M5
CurrentYear: Y2, Utility: 39118.160341						S1: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
CurrentYear: Y2, Spendings:						S2: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
194350.000000	M1	M2	M3	M4	M5	S3: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S1: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	S4: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S2: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S5: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S3: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	S6: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S4: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S7: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S5: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S8: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S6: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S9: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S7: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S10: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S8: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S11: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S9: 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	S12: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S10: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S11: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S12: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CurrentYear: Y3, Utility: 2148.362001						
CurrentYear: Y3, Spendings:						
33440.000000	M1	M2	M3	M4	M5	
S1: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S2: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S3: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S4: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S5: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S6: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S7: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S8: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S9: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S10: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S11: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
S12: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Optimierungsergebnis mit Eventual-Budget

SolveTime: 0.477000						CurrentYear: Y4, Utility: 3040.801328					
ObjectiveValueprint: 65125.417874						CurrentYear: Y4, Spendings: 330076.202083					
TotalCost: 1608637.243750											
CurrentYear: Y1, Utility: 8733.990364											
CurrentYear: Y1, Spendings: 190848.541667											
	M1	M2	M3	M4	M5		M1	M2	M3	M4	M5
S1:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S1:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S2:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S3:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S3:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S4:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S4:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S5:	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	S5:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S6:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S6:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S7:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S7:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S8:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S8:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S9:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S9:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S10:	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	S10:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S11:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S11:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S12:	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	S12:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CurrentYear: Y2, Utility: 44953.140591						CurrentYear: Y5, Utility: 0.000000					
CurrentYear: Y2, Spendings: 993872.500000						CurrentYear: Y5, Spendings: 0.000000					
	M1	M2	M3	M4	M5		M1	M2	M3	M4	M5
S1:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S1:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S2:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S3:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S3:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S4:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S4:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S5:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S5:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S6:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S6:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S7:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S7:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S8:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S8:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S9:	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	S9:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S10:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S10:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S11:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S11:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S12:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S12:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CurrentYear: Y3, Utility: 8397.485591											
CurrentYear: Y3, Spendings: 93840.000000											
	M1	M2	M3	M4	M5						
S1:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S2:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S3:	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0						
S4:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S5:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S6:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S7:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S8:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S9:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S10:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S11:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S12:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						

F.4 Optimierungsergebnis Leutschach

Optimierungsergebnis mit Standard-Budget

SolveTime: 0.925999879837	S7: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
ObjectiveValueprint: 5514.41192926	S8: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
TotalCost: 1772460.0	S9: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
CurrentYear: Y1Utility: 62052.1983033	S10: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
CurrentYear: Y1Spending: 416000.0	S11: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
M1 M2 M3 M4 M5	S12: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S1: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S13: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S2: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S14: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S3: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S15: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S4: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S16: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S5: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S17: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S6: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	CurrentYear: Y4Utility: -331.491448578
S7: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	CurrentYear: Y4Spending: 322000.0
S8: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	M1 M2 M3 M4 M5
S9: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S1: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S10: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S2: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S11: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S3: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S12: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S4: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S13: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S5: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S14: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S6: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S15: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S7: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S16: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S8: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S17: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S9: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
CurrentYear: Y2Utility: 11115.4508495	S10: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
CurrentYear: Y2Spending: 392700.0	S11: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
M1 M2 M3 M4 M5	S12: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S1: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S13: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S2: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S14: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S3: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S15: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S4: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S16: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S5: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S17: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S6: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	CurrentYear: Y5Utility: -68252.606745
S7: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	CurrentYear: Y5Spending: 244000.0
S8: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	M1 M2 M3 M4 M5
S9: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S1: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
S10: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S2: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S11: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S3: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S12: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S4: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
S13: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S5: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S14: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S6: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S15: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S7: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
S16: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S8: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S17: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S9: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
CurrentYear: Y3Utility: 930.860970109	S10: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
CurrentYear: Y3Spending: 397760.0	S11: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
M1 M2 M3 M4 M5	S12: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S1: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S13: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
S2: 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S14: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S3: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S15: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
S4: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S16: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
S5: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	S17: 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
S6: 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	

Optimierungsergebnis mit Eventual-Budget

SolveTime: 1.49799990654						S9:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ObjectiveValueprint: 10432.6501255						S10:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TotalCost: 2296746.66667						S11:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CurrentYear: Y1Utility: 46688.4905289						S12:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CurrentYear: Y1Spending: 416000.0						S13:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M1	M2	M3	M4	M5	S14:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S1:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S15:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S16:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S3:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S17:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S4:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CurrentYear: Y4Utility: -331.491448578					
S5:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CurrentYear: Y4Spending: 322000.0					
S6:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		M1	M2	M3	M4	M5
S7:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S1:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S8:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S2:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S9:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S3:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S10:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S4:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S11:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S5:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S12:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S6:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S13:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S7:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S14:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S8:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S15:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S9:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S16:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S10:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S17:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S11:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CurrentYear: Y2Utility: 29812.4701554						S12:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CurrentYear: Y2Spending: 919380.0						S13:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M1	M2	M3	M4	M5	S14:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S1:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S15:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S16:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S3:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S17:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S4:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CurrentYear: Y5Utility: -59592.6526367					
S5:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CurrentYear: Y5Spending: 243000.0					
S6:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0		M1	M2	M3	M4	M5
S7:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S1:	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
S8:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S2:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S9:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S3:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S10:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S4:	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
S11:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S5:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S12:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S6:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S13:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S7:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S14:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S8:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S15:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S9:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S16:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S10:	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
S17:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S11:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CurrentYear: Y3Utility: -6144.16647353						S12:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CurrentYear: Y3Spending: 396366.666667						S13:	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
	M1	M2	M3	M4	M5	S14:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S1:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S15:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S16:	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
S3:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S17:	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
S4:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S5:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S6:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S7:	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
S8:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						