



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC
Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Validierung der Kosten-Nutzen- Bewertung von Fahrbahn- Erhaltungsmassnahmen

**Validation de l'évaluation coûts-avantages des mesures
d'entretien routier**

**Validation of Cost-Benefit-Modelling of Road
Maintenance Measures**

**R+R Burger und Partner AG
Dr. Thomas Herrmann
Dr. Jost Lüking
Dipl. Umwelt-Ing. Andreas Schneider**

**IMC Infrastructure Management Consultants GmbH
Dr. Andreas Fastrich
Dr. Rade Hajdin**

**Eidgenössische Technische Hochschule Zürich,
IBI Institute of Construction and Infrastructure Management
Prof. Dr. Bryan Adey
M.S. in Civil Engineering Zanyar Mirzaei**

**Forschungsauftrag VSS 2009/707 auf Antrag des
Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute
(VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 "Clôture du projet", qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) commissioned by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC
Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Validierung der Kosten-Nutzen- Bewertung von Fahrbahn- Erhaltungsmassnahmen

**Validation de l'évaluation coûts-avantages des mesures
d'entretien routier**

**Validation of Cost-Benefit-Modelling of Road
Maintenance Measures**

**R+R Burger und Partner AG
Dr. Thomas Herrmann
Dr. Jost Lüking
Dipl. Umwelt-Ing. Andreas Schneider**

**IMC Infrastructure Management Consultants GmbH
Dr. Andreas Fastrich
Dr. Rade Hajdin**

**Eidgenössische Technische Hochschule Zürich,
IBI Institute of Construction and Infrastructure Management
Prof. Dr. Bryan Adey
M.S. in Civil Engineering Zanyar Mirzaei**

**Forschungsauftrag VSS 2009/707 auf Antrag des
Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute
(VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Jost Lüking

Mitglieder

Thomas Herrmann

Andreas Fastrich

Bryan Adey

Rade Hajdin

Zanyar Mirzaei

Andreas Schneider

Federführende Fachkommission

Fachkommission 7: Erhaltungsmanagement

Begleitkommission

Präsident

Dirk Göbbels

Mitglieder

Hans Bär

Ali Rafi

Joachim Albrecht

Frank Schiffmann

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	8
	Summary	9
1	Einleitung	11
1.1	Ausgangslage und Auftrag	11
1.2	Ziel	11
1.3	Vorgehen	12
2	Bewertungsmethodik	13
2.1	Grundlagen	13
2.1.1	Forschungspaket VSS 2004/711-715	13
2.1.2	Internationale Arbeiten	13
2.1.3	Kosten- und Nutzenkomponenten	13
2.2	Benötigte Inputdaten	15
2.2.1	Räumliche Daten	15
2.2.2	Verkehrsdaten	16
2.2.3	Massnahmendaten	17
2.3	Anpassungen	18
2.3.1	Zustandserfassung und Zustandsverlauf	18
2.3.2	Effekte der Erhaltungsmassnahmen	19
2.3.3	Mehrere Massnahmen	19
2.3.4	Standardwerte	19
2.3.5	Alternativrouten	21
3	Fallbeispiele	22
3.1	Fallbeispiel 1	22
3.1.1	Situation	22
3.1.2	Massnahmendurchführung	23
3.1.3	Bewertung	23
3.2	Fallbeispiel 2	26
3.2.1	Situation	26
3.2.2	Massnahmendurchführung	26
3.2.3	Bewertung	27
3.3	Fallbeispiel 3	30
3.3.1	Situation	30
3.3.2	Massnahmendurchführung	30
3.3.3	Bewertung	31
3.4	Fallbeispiel 4	33
3.4.1	Situation	33
3.4.2	Massnahmendurchführung	33
3.4.3	Bewertung	34
3.5	Fallbeispiel 5	36
3.5.1	Situation	36
3.5.2	Massnahmendurchführung	36
3.5.3	Bewertung	37
3.6	Fallbeispiel 6	39
3.6.1	Situation	39
3.6.2	Massnahmendurchführung	40
3.6.3	Bewertung	40
3.7	Fallbeispiel 7	43
3.7.1	Situation	43
3.7.2	Massnahmendurchführung	43

3.7.3	Bewertung	43
3.8	Fallbeispiel 8	46
3.8.1	Situation	46
3.8.2	Massnahmendurchführung	46
3.8.3	Bewertung	46
3.9	Fallbeispiel 9	49
3.9.1	Situation	49
3.9.2	Massnahmendurchführung	49
3.9.3	Bewertung	49
4	Beurteilung der Ergebnisse	52
4.1	Abhängigkeit des Resultates von Zustandsprognosen	52
4.2	Vergleich der Fallbeispiele	52
4.2.1	Reisezeiten	53
4.2.2	Unfallkosten	54
4.2.3	Fahrzeugbetriebskosten	55
4.2.4	Betreiberkosten	55
4.2.5	Umweltkosten	56
4.3	Sensitivität der Ergebnisse	56
4.4	Lücken in der Methodik	57
4.5	Einfluss auf die Normen	57
5	Fazit	59
5.1	Bewertungsmethodik	59
5.2	Sicht des Praktikers	60
5.3	Forschungsbedarf	62
5.3.1	Zusammenhänge Zustand – Kosten und Nutzen	62
5.3.2	Referenzfall	63
5.3.3	Verkehrsbetrieb im Bereich der Kapazitätsgrenze	63
5.3.4	Unterhaltsarbeiten und ihre Auswirkungen auf die Kosten	63
5.3.5	Verkehrerschwernisse während der Bauausführung	64
5.3.6	Unfallkosten im untergeordneten Strassennetz	64
	Anhänge	65
	Abkürzungen	71
	Literaturverzeichnis	73
	Projektabschluss	79
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	82

Zusammenfassung

2008 wurde im Rahmen eines umfangreichen Forschungsprogramms zur Massnahmenplanung in der Fahrbahnerhaltung ein Modell zur Ermittlung von Kosten und geldwertem Nutzen von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen entwickelt [1]. Dieses Modell wurde in der vorliegenden Forschungsarbeit anhand von aktuellen Fallbeispielen validiert. Dabei wurden Erhaltungsmassnahmen auf Autobahnen, vor allem aber auch im untergeordneten Strassensystem untersucht.

Die Modellanwendungen zeigen – erwartungsgemäss – den grössten Nutzen von Fahrbahnerhaltungsmassnahmen in Form von tieferen Kosten des betrieblichen Unterhalts. Insgesamt zeigt das Modell auch einen deutlichen Nutzen durch bessere Verkehrssicherheit.

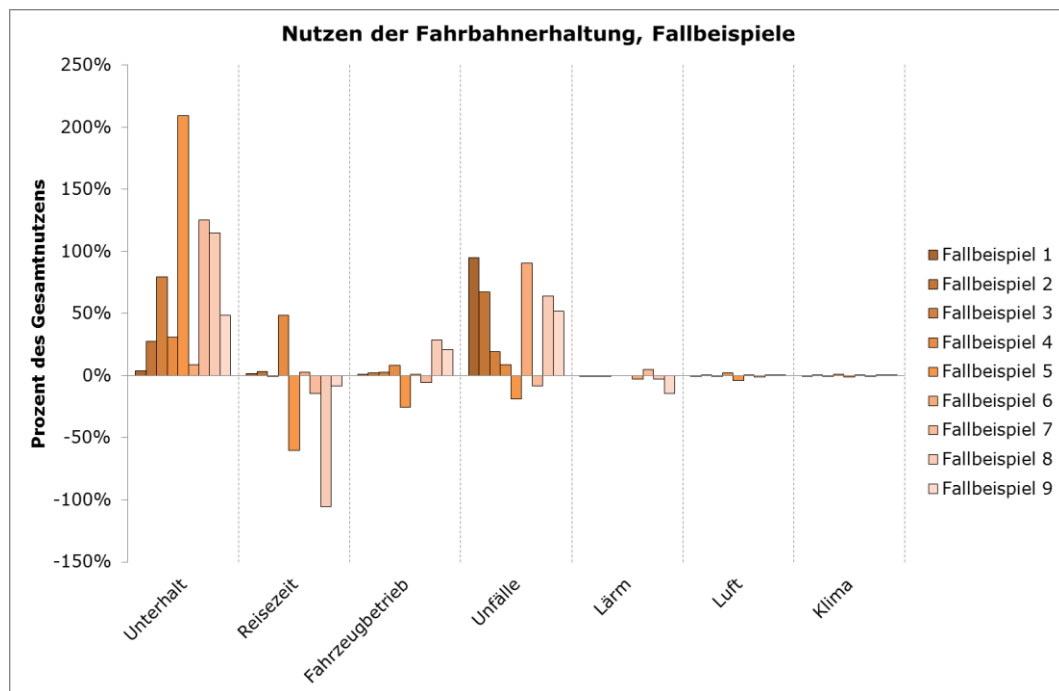


Abb. a: Nutzen der Fahrbahnerhaltung

Das Bewertungsmodell ist brauchbar und plausibel, sowohl bei grösseren als auch bei kleinen Erhaltungsmassnahmen. Die Modellanwendung braucht aber lokale Sachkenntnis und Erfahrung. Das Modell liefert zwar einen Mechanismus, kann aber nur in wenigen Fällen mit Standards und Normwerten hinterlegt werden. Parameter und Zustandsverläufe müssen in Kenntnis der Bewertungssituation und der Modellzusammenhänge gewählt und angepasst werden – das Modell erlaubt das.

Résumé

Un modèle de calcul des coûts et des avantages financiers des mesures d'entretien des chaussées a été développé en 2008 dans le cadre d'un programme de recherche complet sur la planification des mesures pour l'entretien des chaussées [1]. Ce modèle a été validé dans le présent travail de recherche sur la base de cas de figure actuels. Les mesures d'entretien des autoroutes, mais surtout aussi du système routier subordonné, ont été étudiées à cette occasion.

Les applications modèles montrent, comme on pouvait s'y attendre, le bénéfice important des mesures d'entretien des chaussées, qui ont pour effet de réduire les coûts de l'entretien d'exploitation. Dans l'ensemble, le modèle montre également un avantage clair dû à l'amélioration de la sécurité routière.

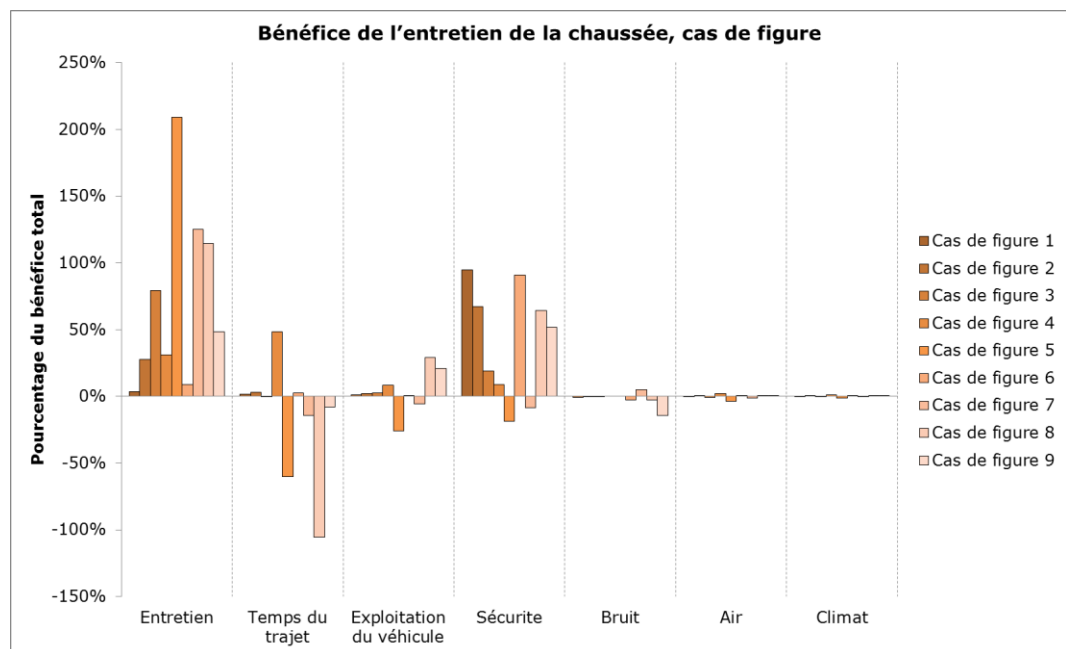


Fig. b: Bénéfice de l'entretien de la chaussée

Le modèle d'évaluation est utilisable et plausible, que l'on considère de grandes ou de petites mesures d'entretien. L'application du modèle nécessite toutefois des connaissances de la situation locale et de l'expérience. Si le modèle fournit un mécanisme, il ne peut être cautionné par des standards et des valeurs normées que dans de rares cas. Les paramètres et les lois d'évolution doivent être choisis et adaptés en fonction de la situation d'évaluation et du cadre du modèle, ce dernier permettant cette marge de manœuvre.

Summary

Within an extended research programme for the planning of road maintenance measures, a methodology to determine cost and monetary benefits of road surface maintenance activities has been developed in 2008 [1]. This methodology has been validated with present examples in the research project at hand. Maintenance measures on motorways and especially measures on secondary roads have been analysed.

The results show, as expected, that the largest benefits of maintenance works are the reduced maintenance costs of future maintenance. The second largest benefit can be realised with road safety, as the model shows significantly reduced accident costs as well.

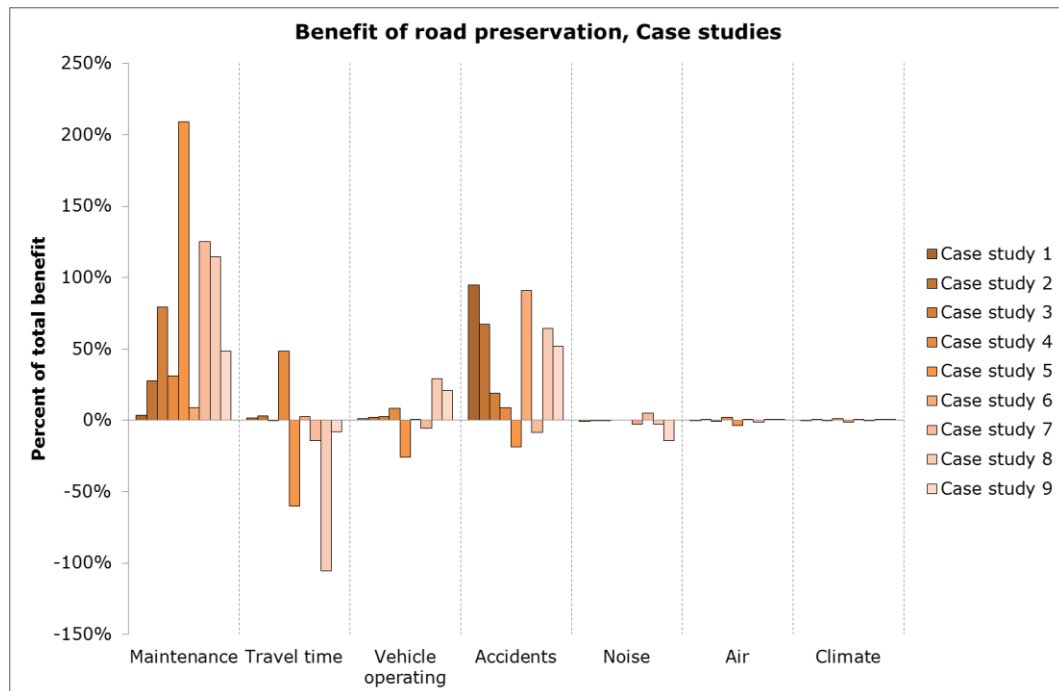


Fig. c: Benefit of road preservation

For both minor as well as major maintenance projects, the methodology is suitable and calculates feasible results. However, the user needs experience with cost-benefit analyses and should know the local situation and the planned activities well. The methodology shows mechanisms and relations, yet standard values are applicable in few cases only. The parameters and road deterioration processes have to be adapted based on the knowledge of the situation to be analysed and the intrinsic model behaviour. The model allows such adaptations.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Auftrag

Für eine optimale Planung und Koordination von Erhaltungsmassnahmen im Strassenbau müssen Massnahmen in ihren Auswirkungen abgeschätzt und bewertet werden. Standardisierte Bewertungsverfahren beziehen sich in der Regel jedoch auf Neubauprojekte und sind für die speziellen Belange von Unterhaltsmassnahmen nur bedingt geeignet.

Mit der Forschungsarbeit VSS 2004/714 wurde ein Modell zur Bewertung von Fahrbahnerhaltungsmassnahmen entwickelt. Dieses Modell soll nun an Hand von realen Fallbeispielen geprüft werden. Dabei werden verschiedene Aspekte beurteilt:

- Aussagekraft der Ergebnisse
- Handhabbarkeit in der Praxis
- Komplexität für den Anwender

Anhand von neun konkreten Fallbeispielen unterschiedlicher Art und aktuellen Massnahmen der Fahrbahnerhaltung in der Schweiz werden die einzelnen Kosten- und Nutzenkomponenten untersucht und die Berechnungsanweisungen aus obigem Modell validiert. Zusätzlich soll in dieser Forschungsarbeit die Diskrepanz zwischen der für die Berechnungen notwendigen und der in der Praxis verfügbaren Daten eingehend thematisiert werden. Lücken im Modell und in der Aussagekraft sind aufzuzeigen, so dass sie geschlossen werden können, denn die Anwendbarkeit für den Praktiker im Erhaltungsmanagement soll schlussendlich optimiert werden.

Die Forschungsarbeit ergänzt und fokussiert die Erkenntnisse aus dem Ende 2008 abgeschlossenen Forschungspaket des VSS zur Massnahmenplanung der Fahrbahnerhaltung. Die Ergebnisse sollen in die Normen des Erhaltungsmanagements von Fahrbahnen einfließen. Gegebenenfalls ist eine neue Norm zu prüfen.

1.2 Ziel

Ziel ist es, ein praxistaugliches Hilfsmittel zur Planung von Erhaltungsmassnahmen zu entwickeln, so dass die geforderte Nutzungsqualität zu möglichst niedrigen Lebenszykluskosten bereitgestellt wird. Die Forschungsarbeit liefert dazu einen wichtigen Beitrag, indem die Erkenntnisse aus dem Forschungspaket VSS 2004/711-715 weiterbearbeitet werden. Ein verbessertes und ergänztes Bewertungsmodell wirkt sich auf die Effizienz des Mitteleinsatzes in der Strassenerhaltung aus, indem es hilft, die richtigen Massnahmen zur rechten Zeit und mit niedrigen Lebenszykluskosten zu planen. Dabei werden nicht nur die Betreiberkosten berücksichtigt, sondern alle Kosten – auch jene der Strassennutzer und die Drittkosten und zwar über eine lange Zeitspanne.

Die Modellanwendung an Hand von real existierenden Praxisbeispielen dient der Überprüfung der Handhabbarkeit der Bewertungsmethodik für die Praktiker. Die Methodik basiert auf zahlreichen Inputdaten, die für die Durchführung der Bewertung erforderlich sind. Nicht alle diese Parameter sind in jedem Fall in der Praxis verfügbar; teilweise sind sie nur in aggregierter oder in verwandter Form verfügbar – teilweise müssen aus verfügbaren Daten die entsprechenden Modellinput-Daten noch abgeleitet werden. Die Datenverfügbarkeit und Anwendbarkeit der Methodik für Praktiker ist deshalb ein weiteres zentrales Thema in dieser Arbeit.

Zustandsangaben und Zustandsverläufe sind zwar nicht Hauptthema in dieser Arbeit; bei der Bewertung von Erhaltungsmassnahmen sind diese beiden Grössen jedoch im Hintergrund von entscheidender Bedeutung. Deshalb werden mit den Anwendungsbeispielen nicht nur die Bewertungsmethodik, sondern gleichzeitig auch die anderen Komponenten, wie die Zustandsverläufe und Massnahmenauswirkungen auf die Zustände überprüft.

Somit unterstützt diese Arbeit die Vorbereitung einer Norm zur Bewertung von Fahrbahnerhaltungsmassnahmen bzw. hilft bei der Ergänzung und Präzisierung bestehender Normen. Erkenntnisse sind bereits in die parallel laufende Arbeit zur Aktualisierung der Gesamtkostennorm SN 640 907 eingeflossen.

1.3 Vorgehen

Im VSS-Forschungsprojekt 2004/714 „Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen“ [1] wurde eine Methodik zur Bewertung von Erhaltungsmassnahmen im Strassennetz entwickelt, die den Nutzen von Fahrbahnerhaltungsmassnahmen bestimmt. Die Methodik benötigt einerseits eine Prognose der Entwicklung des zukünftigen Fahrbahnzustands in Abhängigkeit von Einflussgrössen wie Verkehrsbelastung oder Alter der Komponenten, andererseits basiert sie auf funktionalen Zusammenhängen zwischen dem Fahrbahnzustand und den davon abhängigen Nutzenkomponenten, die in [1] hergeleitet wurden.

Basierend auf den benötigten Inputdaten wurde zunächst ein Fragekatalog erarbeitet und ein Modell in Excel implementiert. Danach wurden neun geeignete und aktuelle Fallbeispiele mit den entsprechenden Schlüsselstellen im kommunalen, kantonalen und nationalen Bereich gesucht, um die Methodik zu testen. Die Resultate aller neun Fallbeispiele wurden mit demselben Modell berechnet, wobei je nach Fallbeispiel Nuancen in die Bewertung eingeflossen sind. Sie zeigen auf, wie vielfältig die vorhandene Methodik eingesetzt werden kann, und wie Besonderheiten aus der Praxis innerhalb der Methodik umgesetzt werden konnten bzw. wo die Grenzen der Bewertungsmethodik liegen.

Durch die Analyse dieser Fallbeispiele wurde die Methodik nicht nur auf nationaler, kantonaler oder kommunaler Ebene validiert, sondern ein repräsentatives Spektrum an Erhaltungsmassnahmen untersucht. Der Fokus bei den Anwendungsbeispielen lag auf den kantonalen und kommunalen Strassenanlagen, da hier im Vorfeld die grössten Unsicherheiten bzgl. der Anwendbarkeit geortet wurden. Sowohl die Erhebung der Daten, als auch die Modellanwendung wurden mit den Ämtern durchgeführt, da sich das Bewertungsmodell an die Praktiker richtet und von ihnen auch beurteilt werden soll. Zwei Erhaltungsbeispiele auf Abschnitten des Nationalstrassennetzes runden die Bewertung ab.

Dieses Vorgehen stellt eine einheitliche Basis für alle Fallbeispiele sicher, so dass Aussagen zur Handhabbarkeit und Anwendbarkeit der Methodik getroffen werden konnten. Zudem wurden Kompatibilitätsprobleme (z.B. aufgrund unterschiedlicher Erhebungsweisen oder Zuordnungen) umgangen.

Die Auswertung der Ergebnisse umfasste die Plausibilisierung der Resultate z.B. durch den Quervergleich zwischen den einzelnen Fallbeispielen und die Gegenüberstellung mit den Kosten des Vorhabens. Speziell wurden dabei auch die Zustandsverläufe begutachtet, da dadurch die Unterschiede zwischen Referenz- und Planungsfall am besten erklärt werden konnten.

Schliesslich wurde die Anwendbarkeit und Handhabbarkeit kritisch begutachtet, um mit möglichen Verbesserungsansätzen die Methodik praxisnaher zu gestalten. Für eine allfällige Bewertungsnorm innerhalb einer noch zu definierenden Normenfamilie „Massnahmen der Fahrbahnerhaltung“ konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden.

2 Bewertungsmethodik

Nachfolgend werden in einer kurzen Zusammenfassung die Grundlagen der Bewertungsmethodik beschrieben. Sie sind zentral, um die Erhaltungsmassnahmen einer Bewertung unterziehen zu können. Im Wesentlichen werden dabei Forschungsergebnisse aus den abgeschlossenen Projekten des Forschungspakets VSS 2004/711-715 verwendet. In den entsprechenden Berichten sind die ausführlichen Erläuterungen zu finden.

2.1 Grundlagen

2.1.1 Forschungspaket VSS 2004/711-715

Im Forschungspaket VSS 2004/711-715 wurden die Grundlagen für die Planung und Optimierung von Erhaltungsmassnahmen erarbeitet; insbesondere auch Methoden und Modelle, um Kosten und Nutzen eines Erhaltungssprojekts abzuschätzen. Während in der ersten Forschungsarbeit (711) die standardisierten Erhaltungsmassnahmen definiert, die Einflüsse auf die Zustandswerte $I_0, \dots, I_5$ abgeleitet, sowie Kostenangaben aufgeführt wurden [2], sind in der zweiten Arbeit (712) die Fahrbahnzustandsveränderungen bzgl. der Zustandsindizes $I_0, \dots, I_5$ bestimmt worden [3]. Dabei wurden unterschiedliche Verläufe für die verschiedenen Strassentypen untersucht. Das Thema der dritten Arbeit (713) war die Untersuchung der Bedeutung der Tragfähigkeit auf Gebrauchs- und Substanzwert der Strassenanlage [4]. Die vierte Forschungsarbeit (714) setzte sich mit Kosten und Nutzen in Abhängigkeit des Strassenzustandes auseinander [1]. Dabei wurde pro Nutzenindikator ein Modell entwickelt, um Kosten in Abhängigkeit des Strassenzustandes abzuschätzen. In der letzten Arbeit (715) wurden die zusätzlichen Kosten, die entstehen, wenn Erhaltungsarbeiten vorgezogen bzw. aufgeschoben werden, untersucht und Modelle zur Bestimmung dieser Kosten entwickelt [5].

2.1.2 Internationale Arbeiten

Die Arbeiten im Rahmen des Projekts VSS 2004/714 stützen sich auf Arbeiten aus dem In- und Ausland, indem Kostenkennzahlen und funktionale Zusammenhänge zwischen Betreiber-, Nutzer- und Drittkosten und dem Strassenzustand abgeleitet wurden. In der Dissertation von Thomas Stütze (2004) wurde für Erhaltungsmassnahmen auf bundesdeutschen Autobahnen eine volkswirtschaftlich orientierte Nutzen-Kosten-Analyse durchgeführt [6]. Insbesondere wurden Abhängigkeiten der Kostenbereiche „Reisezeitkosten“, „Unfallkosten“ und „Fahrzeugbetriebskosten“ von den Zustandsgrössen „Allgemeine Unebenheiten in Längsrichtung (AUN)“ bzw. „Griffigkeit $\mu_{\text{SCRIM } 80}$ “ ermittelt. Diese Ergebnisse sind in die Arbeit VSS 2004/714 eingeflossen, wie auch weitere wie z.B. das Neuseeländische Evaluationshandbuch, das entworfen wurde, um die ökonomische Effizienz von Massnahmen zu beurteilen [7]. Dabei wurde auf die Benutzerfreundlichkeit zur einheitlichen Bewertung von Massnahmen starker Wert gelegt.

Mit den HDM-4 Modellen und Handbüchern (speziell Vol. 7, 2001) wurden ebenfalls Grundlagen für die Bewertung von Erhaltungsmassnahmen geschaffen [8], die von der World Road Association (PIARC) unterhalten werden. Die Resultate des „International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM)“ Projekts enthalten u.a. Untersuchungen zu Strassennutzerkosten und Umweltaspekten. Auch aus diesen Studien wurden Ergebnisse und Zusammenhänge zwischen Kosten und Zustand der Fahrbahn abgeleitet [9].

Die Themen rund um Kosten und Nutzen der Fahrbahnerhaltung wurden auch in weiteren Berichten, Artikeln, Büchern und Richtlinien aufgegriffen (z.B. [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16] weitere siehe Literaturverzeichnis). Fast allen Beiträgen gemeinsam ist, dass sie auf die Nationalstrassen und Hauptverbindungsstrassen fokussieren. Das untergeordnete Strassennetz wird selten ausgiebig betrachtet.

2.1.3 Kosten- und Nutzenkomponenten

Die Kosten und Nutzen wurden in verschiedene Bereiche unterteilt, wobei der Nutzen in der Regel durch vermiedene Kosten ausgedrückt werden kann:

1. **Betreiberkosten:** Hier fallen v.a. die Kosten für die Erhaltungsmassnahmen sowie für den betrieblichen Unterhalt an. Verwaltungs- und Finanzierungskosten können separat ausgewiesen oder in die Investitionen und Unterhaltsausgaben eingerechnet werden.
2. **Strassennutzerkosten:** Zu den Strassennutzerkosten zählen die Zeitkosten, Fahrzeugbetriebskosten, Kosten der Zuverlässigkeit, Fahrkomfort und derjenige Teil der Unfallkosten, der direkt den Nutzern (und nicht der Allgemeinheit) zugeschrieben werden kann. Auf die Bewertung der Zuverlässigkeit wurde verzichtet, da angenommen werden kann, dass durch eine Erhaltungsmassnahme die Zuverlässigkeit nicht weiter beeinflusst wird. Zeitverluste während der Bauausführung werden durch die Betrachtung der Zeitkosten bereits abgedeckt.
3. **Kosten Dritter:** Die Kosten Dritter umfassen alle Umweltaspekte wie Lärm, Klima und Luftverschmutzung, externe Kosten des Energieverbrauchs, sowie derjenige Teil der Unfallkosten, der von der Allgemeinheit getragen werden muss. Insbesondere bei Lärmemissionen ist darauf zu achten, dass nicht die Allgemeinheit sondern die Anwohner an der betrachteten Strasse davon betroffen sind. Die Kosten (meist Gesundheitskosten) werden dennoch von der Allgemeinheit getragen.

In Projekt VSS 2004/714 wurden diese Kosten- bzw. Nutzenkomponenten in Abhängigkeit des Strassenzustands ermittelt. Es wurden verschiedene Zusammenhänge aufgezeigt und in Diskussionen mit Experten schliesslich für jede Kosten- bzw. Nutzenkomponente eine für die Schweiz möglichst passende Kostenmodell angegeben. Abb. 2.1 gibt einen Überblick über die Zusammenhänge zwischen Strassenzustand und Kostenkomponenten – im Anhang (Kapitel II) sind die detaillierten Formeln zu finden.

	I_0/I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
Kosten der Massnahme	Nur indirekt vom Zustand abhängig (Wahl der Massnahme)				
Kosten des betrieblichen Unterhalts	x				
Zeitkosten		x			
Fahrzeugbetriebskosten		x			
Unfallkosten				x	
Lärm		x			
Klima		x			
Luftverschmutzung		x			

Abb. 2.1: Kosten und Nutzen in Abhängigkeit des Strassenzustands; Quantifizierung nach VSS 2004/714.

In der Forschungsarbeit VSS 2004/714 wurden auch weitere Zusammenhänge festgestellt und geprüft (z.B. Abhängigkeiten von Kostenkomponenten von I_3), doch wurden diese Ergebnisse für die „normalen“ schweizerischen Verhältnisse als ungeeignet angesehen. In weiteren Forschungsarbeiten können solch quantifizierbare Zusammenhänge weiter untersucht werden (siehe auch Kapitel 5.3).

Im Zug der Überarbeitung der Beschreibung des Strassenzustandes¹ durch Indizes ist darauf hinzuweisen, dass für die zukünftige Zustandsbeschreibung die Zusammenhänge zu den Kosten neu hergeleitet werden müssen. Deshalb ist zu diesem späteren Zeitpunkt zu überlegen, ob und wie allenfalls neue Erkenntnisse in die Modellierung einfließen müssen.

¹ Zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Berichts (2012) ist die genaue Gestaltung der „neuen“ Indizes noch nicht bekannt.

2.2 Benötigte Inputdaten

Der Datenbedarf kann in drei Kategorien unterteilt werden, welcher in den folgenden Unterkapiteln ausführlicher beschrieben wird. Die Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Inputs und ihrem Einfluss auf Kosten und Nutzen wird ebenfalls in den folgenden Kapiteln erläutert. Eine beispielhafte Zusammenstellung des Datenbedarfs ist im Anhang-Kapitel I zu finden.

- Räumliche Daten: Schematische Unterteilung in Erhaltungsabschnitt und Alternativrouten, Angaben über Strassentyp, Länge, (betroffene) Einwohner, etc.
- Verkehrsdaten: Geschwindigkeitsangaben, Unfallkennzahlen, Kapazitätsangaben auf Erhaltungsabschnitt und Alternativrouten, Kapazitätsänderungen während und nach den Massnahmen, prognostizierte Verkehrszunahmen, prognostizierte Unfallzahlen, Verkehrszusammensetzung, etc.
- Daten zu Massnahmen: Strassenzustand vor und nach der/den Massnahmen, Massnahmenkosten, Zeitpunkte und Dauer der Massnahmen, Unfallereigniswerte während der Ausführung, etc.

2.2.1 Räumliche Daten

Folgende räumlich geprägten Daten wurden bei der Erarbeitung der neun Fallbeispiele erfragt:

- Kurze Situationsbeschreibung/Grafik (deskriptiv/graphisch), Überblick über die Situation, Hauptverkehrsströme, Besonderheiten (qualitativ)
- Strassentyp Erhaltungsabschnitt: Handelt es sich beim Erhaltungsabschnitt um eine Autobahn, eine Landstrasse oder eine städtische Strasse? Je nach Strassentyp werden unterschiedliche Zustandsverläufe verwendet, die Höchstgeschwindigkeit ist unterschiedlich, Unterhaltskosten sind ebenfalls nach Strassentyp unterschiedlich hoch.
- Anzahl Fahrstreifen auf dem Erhaltungsabschnitt (Fahrstreifen im gesamten Querschnitt, nicht pro Richtung). Diese Angabe wird zur Bestimmung der Kapazität der Strassenanlage verwendet.
- Belag heute. Der Belag hat einzig einen Einfluss auf den Lärm; nicht aber auf die Kosten und den Aufwand zukünftiger Unterhaltsarbeiten, d.h. es wird davon ausgegangen, dass z.B. sogenannte Drainbeläge nicht zu Mehrunterhalt führen oder früher ersetzt werden müssen. Im Modell kann dieser Umstand dennoch berücksichtigt werden, indem entweder die Basis-Unterhaltskosten entsprechend angepasst werden bzw. eine nächste Massnahme bereits früher eingeplant wird.
- Länge des Erhaltungsabschnitts (km), der nicht unbedingt der Länge der Massnahme entsprechen muss! Hier ist wichtig, dass der während der Erhaltungsmassnahme beeinträchtigte Bereich eingegeben wird.
- Die Steigung Erhaltungsabschnitt (%) ist nur bei markanten Höhenunterschieden anzugeben. Sie hat einen Einfluss auf den Lärm, nicht jedoch auf die anderen Kostenkomponenten.
- Alter der Anlage heute, d.h. Zeit seit letzter Erneuerung/Neubau. Damit wird der zukünftige Verlauf des Zustands (beschrieben durch $I_0, \dots, I_5$) abgeschätzt. Das Alter der Anlage ist dabei nur ein Proxy, um diesen Verlauf zu prognostizieren, der eigentliche Einfluss auf Kosten und Nutzen geschieht nicht über das Alter, sondern einzig über die jeweiligen Zustände.
- Lärmbetroffene Personen im Erhaltungsabschnitt. Diese Angabe wird zur Bestimmung der Lärm-Kosten benötigt.
- Länge der Alternativroute (km). Die Alternativroute ist v.a. bei erheblichem Kapazitätsrückgang (Teil- oder Totalsperrung von einzelnen Fahrstreifen) massgeblich. Baustellen, die durch eine Lichtsignalanlage im Einspurbetrieb geregelt werden, können durch die Angabe von Kapazität und Geschwindigkeit während der Massnahme im Modell abgebildet werden. Wichtig ist die Alternativroute ebenfalls, falls durch den Kapazitätsrückgang eine Verkehrsverdrängung stattfindet.

- Strassentyp der Alternativroute: Auf welchen Strassen fliesst der umgeleitete Verkehr hauptsächlich? Fliesst der Verkehr anstatt auf der Autobahn nun durch die Stadt, oder verläuft er auf ländlichen Strassen? Wichtig ist in diesem Zusammenhang v.a. die Geschwindigkeit und weniger der Typ – zur deskriptiven Beurteilung ist der Typ dennoch wichtig. Zur Berechnung der Fahrzeugkilometer ist dieser Parameter ebenfalls wichtig.
- Geschwindigkeit Alternativroute (km/h): Die Reisezeit auf der Alternativroute lässt sich mit Hilfe der Geschwindigkeit anpassen. Die Geschwindigkeit ist so festzulegen, dass die Reisezeit stimmt. Hier ist erhebliches Spezialwissen und u.U. eine Verkehrsmodellierung gefragt, denn es muss schlussendlich der gesamte Zeitverlust für alle Fahrzeuge korrekt sein. Dieser Parameter ist sehr sensitiv und trotzdem in den Kosten entscheidend!
- Lärmbetroffene Personen auf den Alternativrouten sind nur anzugeben, falls eine Mehr- bzw. Minderbelastung bewertet werden soll und kann.

2.2.2 Verkehrsdaten

Die Verkehrszusammensetzung ist in verschiedener Hinsicht wichtig: Bei den Reisezeitkosten werden nicht alle Kategorien gleich bewertet. Güter- und Personen-Verkehr haben unterschiedliche Ansätze pro Zeiteinheit und pro Längeneinheit [CHF/Fzh] bzw. [CHF/Fzkm]. Auch die Einflüsse auf die Umwelt sind unterschiedlich: Güterverkehr verursacht höhere Lärm-, Klima- und Luftkosten. Dies ist v.a. darauf zurückzuführen, dass die Treibstoffart (Benzin/Diesel) und der Verbrauch zu unterschiedlichen Emissionen führen und somit schliesslich zu den erwähnten Kostenunterschieden. Folgende Daten werden deshalb benötigt:

- Heutige Verkehrszusammensetzung auf dem Erhaltungsabschnitt:
 - Anzahl leichte Nutzfahrzeuge
 - Anzahl schwere Nutzfahrzeuge, Busse, etc.
 - Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV)
 - Schwerverkehrsanteil (%)
- Anteil des Spitzenstundenverkehrs heute (%) auf dem Erhaltungsabschnitt. Die Zeitkosten werden zur Spitzenstunde berechnet und danach auf die restliche Zeit hochgerechnet. Dies ist notwendig, da eine eigentliche Tagesganglinie fehlt. Wird der Parameter „Anteil Spitzenstundenverkehr“ zu klein gewählt, werden die Zeitkosten eher unterschätzt, bei zu grossem Wert überschätzt. Bei Unsicherheiten ist eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen.
- Jährliche Verkehrszunahme (%) auf dem Erhaltungsabschnitt. Mit diesem Parameter kann die Erwartung an den zukünftigen Verkehr zum Ausdruck gegeben werden.
- Kapazität pro Fahrstreifen auf dem Erhaltungsabschnitt heute (Fz/h). Zusammen mit der Verkehrsmenge und der maximalen Geschwindigkeit wird mit Hilfe der Kapazität die Reisezeit berechnet. Sinkt die Kapazität bei gleichbleibender Verkehrsmenge, so steigt die Reisezeit.
- Geschwindigkeitslimit heute / Referenzfall (km/h), unter der Beachtung, dass diese Geschwindigkeit massgebenden Einfluss auf die Reisezeitkosten hat.
- Angaben zu den Unfällen auf dem Erhaltungsabschnitt:
 - Sachschäden: Anz. pro Mio. Fzkm. Nur Sachschäden an Fahrzeugen, beweglichem und unbeweglichem Mobiliar, keine Personenschäden.
 - Verletzte: Anz. pro Mio. Fzkm. Keine Unterscheidung zwischen Leicht- und Schwerverletzten.
 - Getötete: Anz. pro Mio. Fzkm. Beim Unfall oder innerhalb der nächsten 30 Tage an den Unfallfolgen gestorbene Personen.
- Angaben zu den Unfällen auf der Alternativroute:
 - Sachschäden: Anz. pro Mio. Fzkm. Nur Sachschäden an Fahrzeugen, beweglichem und unbeweglichem Mobiliar, keine Personenschäden.
 - Verletzte: Anz. pro Mio. Fzkm. Keine Unterscheidung zwischen Leicht- und Schwerverletzten.

- Getötete: Anz. pro Mio. Fzkm. Beim Unfall oder innerhalb der nächsten 30 Tage an den Unfallfolgen gestorbene Personen.
- Anteil dieselbetriebene Personenwagen heute (%). Mit diesem Anteil wird die Verkehrszusammensetzung detaillierter aufgeschlüsselt (siehe oben).
- Jährliche Veränderung des Anteils der dieselbetriebenen Personenwagen (% pro Jahr). Mit diesem Parameter kann die Verkehrszusammensetzung bzgl. benzin- und diesel-betriebener Personenwagen beeinflusst werden (siehe oben).

2.2.3 Massnahmendaten

Die Massnahmen haben einen Einfluss auf den Zustand der Fahrbahn und somit direkt auf die Kosten und Nutzen. Um diese Effekte zu quantifizieren sind deshalb unten aufgeführte Daten notwendig. Wenn Daten nicht verfügbar (gemessen) sind, können sie mit Hilfe begründeter Annahmen abgeschätzt werden. Zusätzlich werden mit den Angaben auch der Betrachtungshorizont und weitere zeitliche Eckwerte festgelegt. Sie haben ebenfalls einen Einfluss auf die Kosten und Nutzen, indem sie die Dauer der Einschränkungen, den Zeitpunkt der Wirkung der Erhaltungsmassnahme oder weitere Einflüsse (z.B. Entschärfen von Unfallschwerpunkten) einfangen.

- Heutiger Zustand des Erhaltungsabschnitts:
 - I_0/I_1 : Oberflächenschäden ohne/mit Spurrinnentiefe
 - I_2 : Unebenheiten in Längsrichtung
 - I_3 : Unebenheiten in Querrichtung
 - I_4 : Griffigkeit
 - I_5 : Tragfähigkeit
- Anzahl Massnahmen, wobei bei mehr als einer Massnahme die gesamte Massnahmenstrategie bewertet wird
- Zeitpunkt jeder Erhaltungsmassnahme (in Jahren ab heute; auch als Dezimalzahl) bis zu Beginn der entsprechenden Massnahme
- Dauer jeder einzelnen Erhaltungsmassnahme, d.h. Dauer der "Baustelle" in Jahren
- Kosten jeder Unterhaltsmassnahme in CHF mit heutiger Preisbasis und nicht diskontiert
- Ausschlaggebende Gründe für jede einzelne Erhaltungsmassnahme insbesondere aber für die nächste. Diese Angabe ist deskriptiv (z.B. Zustand, Synergien mit anderen Arbeiten, noch vorhandenes Budget, ...) und wird nicht direkt in der Beurteilung verwendet.
- Geschwindigkeit (km/h) und Kapazität (Fz/h) während der Massnahme. Mit diesen Werten kann der Zeitverlust durch die Baustellenorganisation ermittelt und beeinflusst werden. Unterscheiden sich zwei Varianten zur Durchführung der Massnahme einzig durch die Organisation, können durch Kapazität und Geschwindigkeit die unmittelbaren Einflüsse auf die Verkehrsteilnehmer abgeschätzt werden.
- Unfallratenkoeffizient während Bauphase (%). Diese Angabe trägt dem Umstand Rechnung, dass während der Bauphase die Unfallraten höher oder tiefer sein können (z.B. 150% der normalen Unfallrate).
- Belag nach der Massnahme. Dies ist insbesondere dann wichtig, falls der Belag erheblich verändert wurde, indem z.B. eine Pflasterung durch einen Asphaltbelag ersetzt wurde. Die einzige Auswirkung auf die Kostenkomponenten ist in den Lärmkosten modelliert.
- $I_0/I_1, \dots, I_5$ nach der Massnahme (allenfalls aus VSS 2004/711 ableitbar)
- Geschwindigkeitslimit nach der Massnahme (km/h), wobei dies nur bei Kapazitätsanpassungen/Ausbauten wichtig ist. Allenfalls ist auch die Kapazität selber anzupassen.
- Kapazität pro Fahrstreifen nach der Erhaltungsmassnahme (Fz/h)
- Unfallratenkoeffizient nach Bauphase (%). Dieser Parameter trägt dem Umstand Rechnung, dass sich nach den Arbeiten die Unfallraten verändern können. Beispielsweise wurde nebst einer Fahrbahnerhaltung auch die Übersichtlichkeit verbessert, so dass ein Unfallschwerpunkt entschärft werden konnte.

- Verkehrszunahme wegen gestiegener Attraktivität (%). Verkehr, der sich vorher z.B. wegen des schlechten Zustands, mangelnder Übersichtlichkeit, etc. auf der Alternativroute bewegte und nun "wechselt". Angabe in Prozent des heutigen DTV. Beim Betrachten mehrerer Massnahmen ist diese Angabe nur beschränkt sinnvoll.
- Allgemein: Ausstoss an Feinstaub (Particulate Matter, PM10) pro CHF Investition (t/CHF; Standardwert: 207kg/Mio. CHF). Dieser Parameter trägt dem Umstand Rechnung, dass auch die Baumassnahmen selber zur Verschmutzung der Luft beitragen.
- Heutiges Jahr: Wird als Start verwendet, Preise beziehen sich auf dieses Jahr.
- Unterhaltskosten (CHF/km) unterschieden nach Autobahn, Hauptstrasse ausserorts, Nebenstrasse ausserorts und Strasse innerorts
- Wertverzehr (CHF/km) unterschieden nach Autobahn, Hauptstrasse ausserorts, Nebenstrasse ausserorts und Strasse innerorts
- Diskontsatz (%); Standardwert 2-3% gemäss SN 641 821
- Betrachtungsdauer (Jahre). Zusammen mit dem Startjahr bestimmt dieser Parameter den gesamten Betrachtungszeitraum. Es werden keine Restwerte berechnet, so dass eine umfassende Erhaltungsmassnahme gegen Ende der Betrachtungsdauer ihren Nutzen nicht mehr entfalten kann und deshalb nur noch Kosten verursacht. Die Betrachtungsdauer ist so zu wählen, dass die Nutzungsdauer der wesentlichen Elemente ungefähr abgelaufen ist.

2.3 Anpassungen

Im Verlauf der Bearbeitung hat sich gezeigt, dass gewisse Anpassungen an den aus den Projekten VSS 2004/711-715 übernommenen Modellen sinnvoll sein können. Im Folgenden werden diese Anpassungen in der Modellierung dokumentiert.

2.3.1 Zustandserfassung und Zustandsverlauf

Die Zustandsdaten und daraus abgeleitete Zustandsindizes sind in der Praxis v.a. auf dem untergeordneten Strassennetz oft gar nicht oder nur deskriptiv bzw. in aggregierter Form vorhanden. Wenn ein Zustand messtechnisch aufgenommen wurde, dann oft nur I_0 , so dass Annahmen bzgl. der übrigen Indizes getroffen werden müssen. Dazu wurden verschiedene Szenarien entworfen:

1. Die Änderungen der Zustandsindizes über die Zeit werden gemäss des Forschungspaketes VSS 2004/711-715 und die Kosten und Nutzen entsprechend berechnet. In der Anwendung hat sich jedoch gezeigt, dass der Zustandsverlauf zu pessimistisch ist, d.h. die Strasse im Modell schneller verfällt als in Wirklichkeit. Dadurch wird der Referenzfall massiv zu ungünstig bewertet.
2. Die Änderungen der Zustandsindizes über die Zeit werden alle oder teilweise analog zum Index I_0 modelliert, d.h. dass sich diese Zustandsmerkmale wie I_0 verhalten. Dies ist in der Praxis zwar nicht gegeben, kann aber die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Plausibilität gegenüber Szenario (a) deutlich verbessern.
3. Die Strasse verschlechtert sich hinsichtlich Tragfähigkeit, Griffigkeit, Längs- und Quernebenheit nicht, d.h. die entsprechenden Indizes werden konstant gehalten (z.B. auf dem Wert 3). Dadurch wird der Einfluss des Strassenzustandes gemessen durch I_2 , I_3 , I_4 und I_5 auf die Kosten und Nutzen „ausgeschaltet“ und nur noch der Einfluss von I_0 auf Kosten und Nutzen bewertet. Dies ist gemäss Abb. 2.1 gleichbedeutend mit einer ausschliesslichen Betrachtung der Kosten des betrieblichen Unterhalts. Diese Variante ist nur dann anwendbar, wenn die funktionalen Zusammenhänge zwischen Strassenzustand und Nutzen und Kosten ausschliesslich auf Index I_0 abgestützt sind (siehe auch Kapitel 5.3).
4. Es können je nach Fallbeispiel begründete Annahmen über die Änderungen der Zustandsindizes mit der Zeit getroffen werden, und zwar individuell pro Index. Dies ist wohl für die Praxis eine vernünftige, wenn auch aufwendige Lösung – wenn gleich sie im Einzelfall wohl die plausibelsten Ergebnisse liefert. Dazu sind aber sehr gute örtliche Kenntnisse und begründete Annahmen über den Verlauf der einzelnen Zustandskomponenten notwendig. Dieses Vorgehen ist v.a. in solchen Fällen angebracht, in denen der Zustandsverlauf z.B. auf Grund der Höhenlage, des Verkehrsaufkommens,

etc. nicht dem „Standardverlauf der Indexwerte“ entsprechen kann.
In der Bewertung der Erhaltungsmassnahmen wurden meist die Szenarien (1) und (2) verwendet.

2.3.2 Effekte der Erhaltungsmassnahmen

Eine Erhaltungsmassnahme wirkt sich zunächst negativ auf die Kosten des Betreibers aus. Durch die Massnahme wird der Zustand der Fahrbahn positiv beeinflusst, wodurch Nutzen für alle (Betreiber, Nutzer und Dritte) geschaffen werden. Der Effekt der Erhaltungsmassnahme (Veränderung der Zustandsindizes) ist aber individuell, so dass er „von Hand“ eingegeben werden muss; ebenso die Kosten. Es wurden keine standardisierten Werte aus VSS 2004/711 [2] übernommen, wenn gleich die Angaben zu Kosten und Rücksetzwerten als Anhaltspunkte in den Fallbeispielen dienen.

2.3.3 Mehrere Massnahmen

Entgegen dem ursprünglichen Projekt VSS 2004/714 [1] wurde der Vergleich zwischen Planungs- und Referenzfall erweitert. Es ist möglich, eine Massnahmenstrategie über mehrere Jahre hinweg mit dem Referenzfall „Nichtstun“ zu vergleichen. Dadurch entsteht auch die Möglichkeit durch zweimaliges Anwenden der Methodik zwei Strategien miteinander zu vergleichen.

Es hat sich zudem gezeigt, dass Bauarbeiten oft über mehrere Phasen abgewickelt werden. Indem mehrere Massnahmen berücksichtigt werden, können einerseits langwierige Bauarbeiten (z.B. während zweier Sommersaisons) beurteilt oder Phasen mit Teilsperren von Phasen mit Totalsperrungen unterschieden werden.

2.3.4 Standardwerte

Viele Werte, wie z.B. Kosten für eine Stunde Reise, wurden aus den Normen SN 641 820ff (Kosten-Nutzen-Analyse [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]) übernommen und auf die Preisbasis 2007 vereinheitlicht. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verwendeten Kostengrundlagen:

Kostenkennzahlen	(Preisbasis 2007)
Güterverkehr	15.6 CHF/Fzh
Personenverkehr	30.93 CHF/Fzh
zeitabh. VOC PW	1.91 CHF/Fzh
zeitabh. VOC LKW	6.16 CHF/Fzh
leistungsabh. VOC PW	0.19 CHF/Fzkm
leistungsabh. VOC LKW	0.44 CHF/Fzkm
Benzinpreis	0.53 CHF/l
Dieselpreis	0.58 CHF/l
Kosten pro Unfall	45'100 CHF/Unfall
Kosten pro Verletzter	293'500 CHF/Person
Kosten pro Getöteter	3'645'000 CHF/Person
Unterhalt Autobahn	3500 CHF/km
Unterhalt Hauptstrasse ausserorts	3500 CHF/km
Unterhalt Nebenstrasse ausserorts	4640 CHF/km

Kostenkennzahlen	(Preisbasis 2007)
Unterhalt Strasse innerorts	4640 CHF/km
Unterhalt Strasse innerorts	4640 CHF/km
Wertverzehr Autobahn	185400 CHF/km
Wertverzehr Hauptstrasse ausserorts	92700 CHF/km
Wertverzehr Nebenstrasse ausserorts	57680 CHF/km
Wertverzehr Strasse innerorts	30900 CHF/km
Lärmkosten Personenverkehr	109 CHF/Pers/dBA
Lärmkosten Güterverkehr	165 CHF/Pers/dBA
Lärmkosten Durchschnitt	115 CHF/Pers/dBA
Kosten CO ₂	0.05 CHF/kg
Kosten PM10 Personenverkehr	0.0231 CHF/Fzkm
Kosten PM10 Güterverkehr	0.1474 CHF/Fzkm
Kosten PM10 Baustelle	28675 CHF/t

Abb. 2.2: Kostenkennzahlen (Preisbasis 2007)

Weitere Parameter, die standardmässig hinterlegt wurden, sind die Unfallkennzahlen. Sie beschreiben die Anzahl der Unfälle und die dabei verletzten und getöteten Personen pro gefahrenen Kilometer. Dabei wird zwischen den 4 Strassentypen Autobahn, Hauptstrasse ausserorts, Nebenstrasse ausserorts und Strasse innerorts unterschieden. In der Standardeinstellung sind die Kennzahlen für die beiden Ausserortsstrassen dieselben.

	Autobahn	Hauptstrasse ausserorts	Nebenstrasse ausserorts	Strasse innerorts
Anzahl Unfälle pro Mio. Fzkm	0.4000	0.7000	0.7000	2.2000
Anzahl Verletzte pro Mio. Fzkm	0.1600	0.4100	0.4100	0.9200
Anzahl Getötete pro Mio. Fzkm	0.0030	0.0138	0.0138	0.0098

Abb. 2.3: Unfallkennzahlen aus Norm SN 641 827

Durch Veränderungen in dieser Tabelle ist es möglich – falls genaue Unfallkennzahlen vorhanden sind – die Unfälle auf dem entsprechenden Streckenabschnitt individuell zu bewerten. Notwendig dafür sind allerdings umfassende Statistiken, die eine entsprechende Beurteilung zulassen oder gut begründete Annahmen für die Änderungen.

Die letzte Gruppe von standardisierten Parametern wird benötigt, um Treibstoffverbrauch, Reisezeiten, Unfallraten und Unterhaltsmassnahmenkosten abzuschätzen (Abb. 2.4). Der „Schwellwert Unterhalt für I_0/I_1 “ ist dabei ein sensibler Parameter. Wenn I_0/I_1 oberhalb dieses Schwellwertes liegt, so werden zusätzliche „virtuelle“ Massnahmen einberechnet, die einem weiteren Zerfall der Strassenanlage entgegenwirken. Diese Zusatzkosten bilden den zusätzlichen baulichen Unterhalt ab, der entsteht, wenn die Strasse auf geringem Level unter Einhaltung der Sicherheitsrichtlinien weiter betrieben werden soll. Die Kosten für diese zusätzlichen Massnahmen belaufen sich jährlich auf den Betrag „Wertverzehr <Strassentyp>“ aus obiger Tabelle (Abb. 2.2); d.h. für den Betreiber fallen zusätzliche Unterhaltskosten an – je nach Annahme über die Höhe des Wertverzehrs. Durch die Wahl dieses Parameters und die Verlaufskurve von I_0/I_1 lässt sich somit steuern, ab welchem Zustand bzw. welchem Jahr diese Extra-Kosten anfallen.

Durch die Einführung dieser Extra-Unterhaltskosten wird eine Stilllegung bzw. temporäre Nicht-Benutzbarkeit der Strasse ausgeschlossen. Alternativ können Nichtverfügbarkeitskosten angegeben werden, die bei einer Stilllegung der Strasse entstehen würden. Wenn die Strasse nicht benutzt werden kann, dann entstehen für die Benutzer Umwege, die Reisezeiten, Fahrzeugbetriebskosten und Umweltkosten verursachen.

Parameter	Wert	Einheit/Bemerkung
a	0.15	a und b sind Parameter bei der Reisezeitberechnung
b	4	
Treibstoffverbrauch LKW	29.1	l/100km
Treibstoffverbrauch PW Benzin	8.6	l/100km
Treibstoffverbrauch PW Diesel	7.7	l/100km
CO ₂ Ausstoss Benzin	2.404	kg/l Benzin
CO ₂ Ausstoss Diesel	2.647	kg/l Diesel
globaler Unfallratenkoeffizient	100%	Unfallraten können global für den Referenzfall mit einem einzigen Faktor angepasst werden (z.B. 150% der normalen Unfallrate).
Schwellwert Unterhalt für I_0/I_1	4.75	Schwellwert, ab dem Reparaturmassnahmen mit Erhaltungscharakter fällig sind. Unterhalt wird dadurch teurer.

Abb. 2.4: Allgemeine Parameter wie Treibstoffverbrauch, Parameter zur Abschätzung der Reisezeit in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens, etc.

2.3.5 Alternativrouten

Alternativrouten können angegeben werden, um den Verkehr während der Baumasnahme umzuleiten. Wird beispielsweise die Strassenanlage unter Verkehr erneuert und der Verkehr mittels einer Lichtsignalanlage gesteuert, so sinkt die Kapazität. Wird das Verkehrsaufkommen grösser, und besteht eine attraktive (schnellere) Alternativroute, so werden die übrigen Fahrzeuge auf diese Route ausweichen. Im Modell wird ein Gleichgewichtszustand berechnet, indem so viele Fahrzeuge auf die Alternativrouten wechseln, bis die Fahrzeit auf der ursprünglichen Route wieder maximal so hoch ist wie auf den Alternativrouten. Wird die Strasse komplett geschlossen (Kapazität 0 Fz/h), so wird der ganze Verkehr über die Alternativroute geleitet.

Durch die Angabe von Länge und Geschwindigkeit der *durchschnittlichen* Fahrt auf einer alternativen Strasse, können Fahrzeitunterschiede bewertet werden. Da die Fahrzeit v.a. bei stark belasteten Strassenanlagen ein hohes Gewicht erhält, muss die Länge bzw. Geschwindigkeit der Alternativroute vorsichtig gewählt werden. Die Länge muss dem zusätzlich (alternativ) zurückgelegten Weg entsprechen. Dies muss v.a. dann berücksichtigt werden, wenn für die Umfahrung der Baustelle eine deutlich andere Route gewählt wird. Besonders Innerorts-Umfahrungen müssen hier berücksichtigt werden.

3 Fallbeispiele

Um die Methodik zu testen, wurden insgesamt neun Fallbeispiele zusammengetragen. Sie stammen aus unterschiedlichen Gebieten in der Schweiz und weisen verschiedene Charakteristika auf. Es wurden nicht nur Erhaltungsmassnahmen auf Autobahnen bewertet, sondern auch im untergeordneten Strassennetz, innerorts und ausserorts, auf schwach und stark befahrenen Strassen, etc.

Es wurden zwei Typen von Fallbeispielen betrachtet. Zum einen wurden von einer neuwertigen Strasse ausgegangen (Fallbeispiele 1 und 2) und zwei Erhaltungsstrategien (Interventionsstrategien) miteinander verglichen. Zum anderen wurde von einer bereits gebrauchten Strassenanlage ausgegangen, bei der unmittelbar eine Erhaltungsmassnahme bevorstand (Fallbeispiele 3 – 9). Im ersten Fall wurde die Methodik gebraucht um die Frage „Welche Strategie ist sinnvoll und was ist der Wert dieser Strategie?“ zu beantworten, im zweiten Fall wurde die Frage „Ist die Erhaltungsmassnahme zum jetzigen Zeitpunkt sinnvoll?“ beantwortet.

Die Erhaltungsmassnahmen selbst und auch die Organisation der Baustellen waren unterschiedlich. Diesen Einzelheiten wurde versucht Rechnung zu tragen, indem in der Bewertung die jeweiligen Inputdaten mit plausiblen Annahmen ergänzt wurden. Die Beispiele wurden anonymisiert und die geographische Lage durch entsprechende Hinweise (z.B. „Hügellandschaft“) in den Texten ersetzt.

3.1 Fallbeispiel 1

3.1.1 Situation

Fallbeispiel 1 ist eine Kantonsstrasse und befindet sich an der Westeinfahrt einer Stadt, nördlich eines regionalen Flughafens und am Fuss eines Berges (Abb. 3.1).

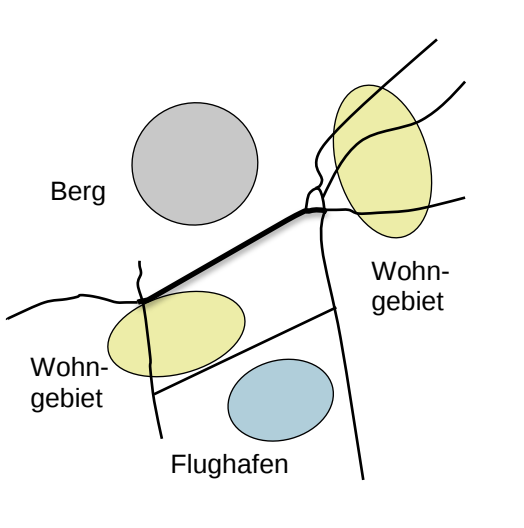
	Eckwerte Fallbeispiel 1
	Strassentyp: Hauptstrasse ausserorts
	Umgebung/Lage: Hügelland
	Länge der Erhaltungsmassnahme: 1.2 km
	DTV (gerundet auf 1000): 19'000 Fahrzeuge
	Schwerverkehrsanteil: 10.1%

Abb. 3.1: Situationsskizze Erhaltungabschnitt sowie Eckwerte Fallbeispiel 1. Mögliche Umleitungen über Strassen innerorts.

Es wird angenommen, dass zwei mögliche Alternativrouten existieren, die von Fahrzeugen bei Störungen des Verkehrsflusses auf dem betrachteten Strassenabschnitt verwendet werden können. Diese Alternativrouten sind:

- 1.7 km Strasse innerorts
- 2.1 km Strasse innerorts

3.1.2 Massnahmendurchführung

Die betrachtete Erhaltungsmassnahme umfasst den Ersatz der gesamten oberen Schichten der Fahrbahn. Dabei werden folgende Arbeitsschritte angenommen:

- Abfräsen der obersten 85 mm
- Einbau eines Kohlefaser-Verstärkungsnetzes
- Einbau einer Schicht AC T 16 S mit 50 mm
- Einbau einer lärmindernden Deckschicht SPA 11 mit 35 mm.

Eine Variation der Erhaltungsmassnahme über die gesamte Länge oder Breite des Strassenstückes wurde nicht berücksichtigt.

3.1.3 Bewertung

Für die Bewertung mussten zusätzliche Annahmen getroffen werden:

- der Strassenabschnitt ist zu Beginn des Betrachtungszeitraumes neuwertig und befindet sich am Anfang der Lebensdauer.
- das übrige Strassennetz ist während der Interventionszeit voll benutzbar, und bietet Ausweichmöglichkeiten.
- die Wahrscheinlichkeit von ungeplanten Erhaltungsmassnahmen ist vernachlässigbar klein.

Die untersuchte Zeitspanne beträgt 75 Jahre, der Diskontsatz 2%.

Die Referenzstrategie besteht darin, innerhalb der 75 Jahre nur Reparaturen durchzuführen, nicht jedoch umfassende Erhaltungsmassnahmen. Die untersuchte Strategie besteht darin, die Erhaltungsmassnahmen in den Jahren 26, 51 und 75 der betrachteten Zeitspanne durchzuführen.

Die absoluten und die relativen Kosten der jeweiligen Stakeholder (Betreiber, Strassenutzer, Dritte) und die Kosten nach Kostenart sind für beide Strategien in Abb. 3.2 und Abb. 3.3 aufgelistet. Der Nutzen pro Jahr, der bei Verfolgung der untersuchten Strategie im Vergleich zur Referenzstrategie entsteht, ist in Abb. 3.4 ersichtlich. Die gestrichelte Linie stellt den Verlauf von Index I_1 dar. Die Verteilung des Gesamtnutzens der untersuchten Strategie auf die Kostenarten ist in Abb. 3.5 dargestellt.

Kostentyp	Interventionsstrategie*	Kosten je Stakeholder (Mio. CHF)			
		Betreiber	Strassenutzer	Dritte	TOTAL
Absolut	1	2.58	559.77	135.58	697.93
	2	1.16	509.77	124.33	635.26
Relativ	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	1.42	50.00	11.25	62.67

Abb. 3.2: Kosten der Strategien (*Interventionsstrategie 1 ist die Referenzstrategie, Strategie 2 ist die untersuchte Strategie) für je Stakeholder

Kostentyp	Int. Strategie*	Kosten je Kostenart (Mio. CHF)							
		Unterhalt	Reisezeit	Fahrzeug-betrieb	Unfall	Lärm	Luft	Klima	TOTAL
Absolut	1	2.58	182.09	134.02	304.58	57.91	12.25	4.50	697.93
	2	1.16	181.11	133.25	244.26	58.46	12.44	4.58	635.26
Relativ	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	1.42	0.98	0.77	60.32	-0.55	-0.19	-0.08	62.67

Abb. 3.3: Kosten der Strategien (*Interventionsstrategie 1 ist die Referenzstrategie, Strategie 2 ist die untersuchte Strategie) für jede Kostenart und jeden Kostentyp über den Betrachtungszeitraum von 75 Jahren.

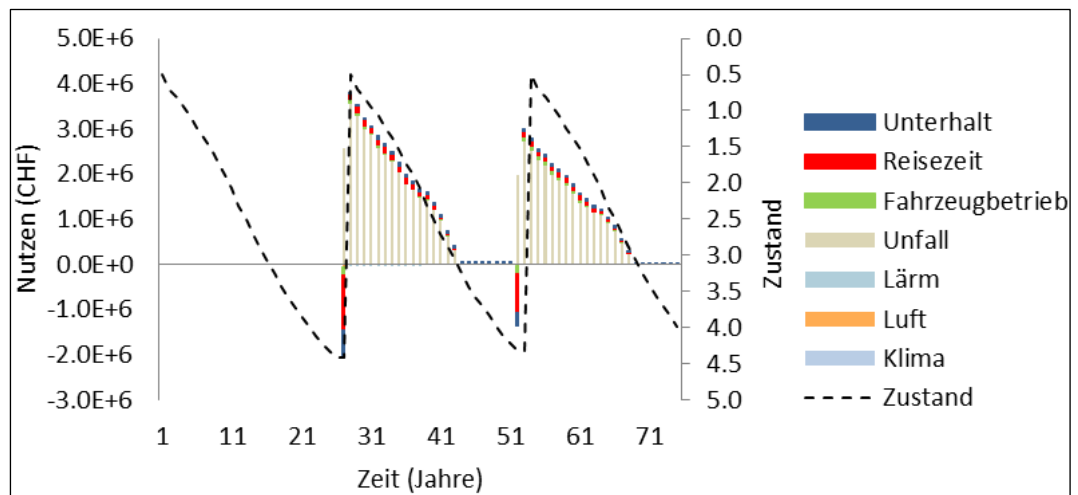


Abb. 3.4: Entwicklung der Kosten und Nutzen im Planungsfall (in Mio. CHF, kumuliert), sowie Verlauf des Strassenzustands gemessen durch Index I_1 (gestrichelt).

Aus der Analyse kann folgendes abgeleitet werden:

- Der grösste Anteil der Kosten, die unabhängig von der Interventionsstrategie mit der Strassenbenutzung verknüpft, entsteht dem Benutzer (etwa 80%). Ungefähr 20% entstehen der Öffentlichkeit und weniger als 0.5% dem Betreiber (siehe Abb. 3.5).
- Im Vergleich der untersuchten Strategie mit der Referenzstrategie kann festgestellt werden dass:
 - ein Gesamtnutzen von 62.67 Mio. CHF und eine entsprechende Kostenabnahme von 9% entsteht
 - im Durchführungsjahr der Erhaltungsmassnahme die Fahrzeugbetriebs-, Reisezeit- und Klimakosten erhöht sind.
- Der grösste Nutzen für den Strassenutzer entsteht bei einem Strassenzustandsindex $I_1 < 3$. Dies entsteht durch die Reduktion der Unfallkosten, Reisezeitkosten und Fahrzeugbetriebskosten, (Abb. 3.5). Falls der Index I_1 grösser als 3 ist, bietet jedoch die untersuchte Strategie keinen Vorteil gegenüber der Referenzstrategie. Die Reduktion der Unfall-, Reisezeit- und Fahrzeugbetriebskosten macht 97% des Gesamtnutzens aus.
- Der Grossteil der negativen Einwirkungen auf die Stakeholder während der Intervention wird verursacht durch:
 - die Interventionskosten des betrachteten Strassenabschnitts

- die Reisezeitkosten, sowohl für den betrachteten Strassenabschnitt als auch für die Ausweichroute.
- Während der Durchführung der Erhaltungsmassnahme steigen die Unfallkosten auf der Alternativroute, während sie auf dem Erhaltungsabschnitt sinken. Nach der Erhaltungsmassnahme ist die Griffigkeit gegenüber der Referenzstrategie deutlich besser, wodurch es zu weniger Unfällen kommt. Die Änderung der Griffigkeit, welche durch die Erhaltungsmassnahme erreicht werden kann, wurde so festgelegt, dass sie nach 25 Jahren keinen Einfluss mehr auf die Unfallkosten hat (Planungsfall und Referenzfall sind diesbezüglich gleich).

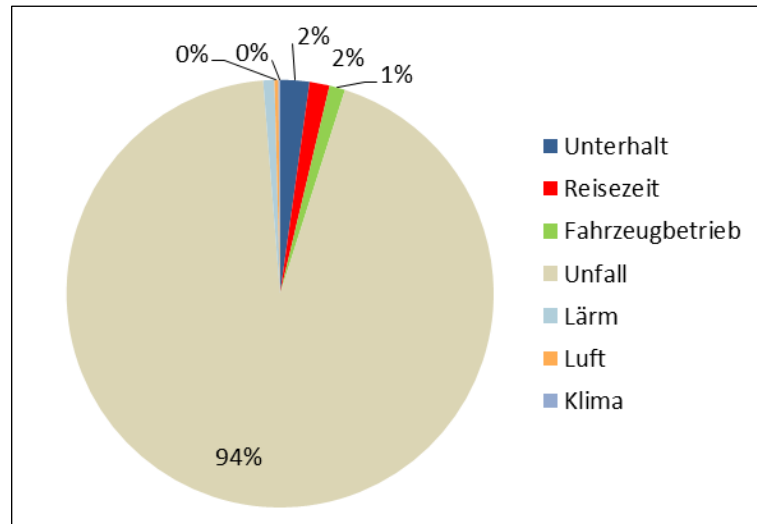


Abb. 3.5: Gesamtnutzen pro Kostenart

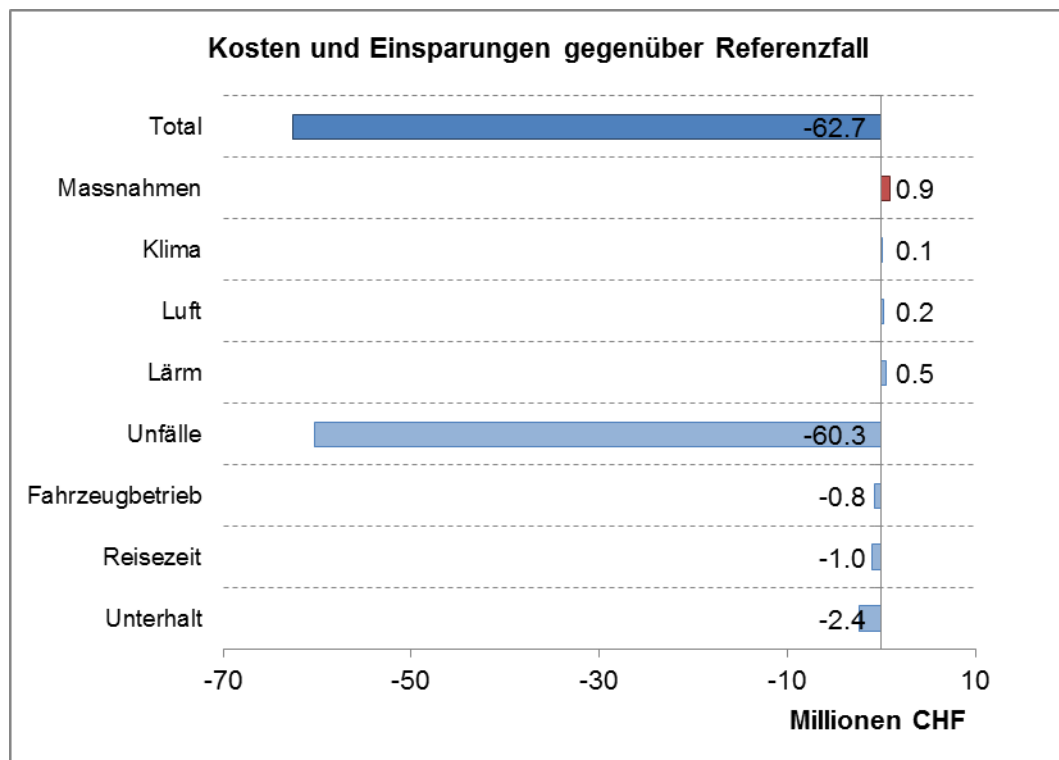


Abb. 3.6: Kosten und Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Gegenwartswert)

3.2 Fallbeispiel 2

3.2.1 Situation

Fallbeispiel 2 ist eine Kantonsstrasse in einem unbewohnten, bergigen und bewaldeten Gebiet. Die beiden folgenden Abbildungen (Abb. 3.7 und Abb. 3.8) zeigen skizzenhaft die Situation und den Querschnitt dieses Erhaltungsabschnittes:

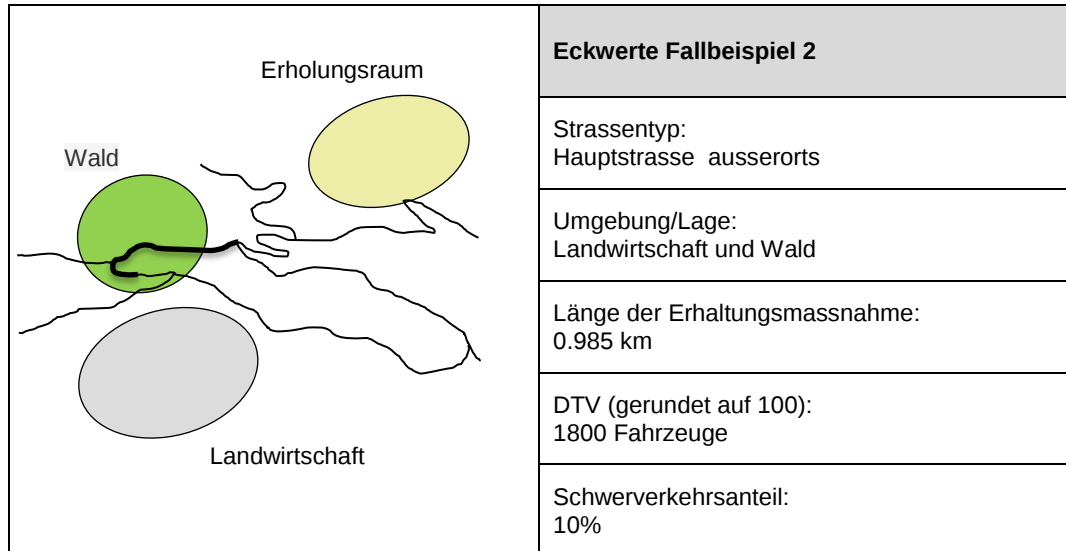


Abb. 3.7: Situationsskizze Erhaltungsabschnitt sowie Eckwerte Fallbeispiel 2; mögliche Umleitung: 12.8 km Nebenstrasse ausserorts

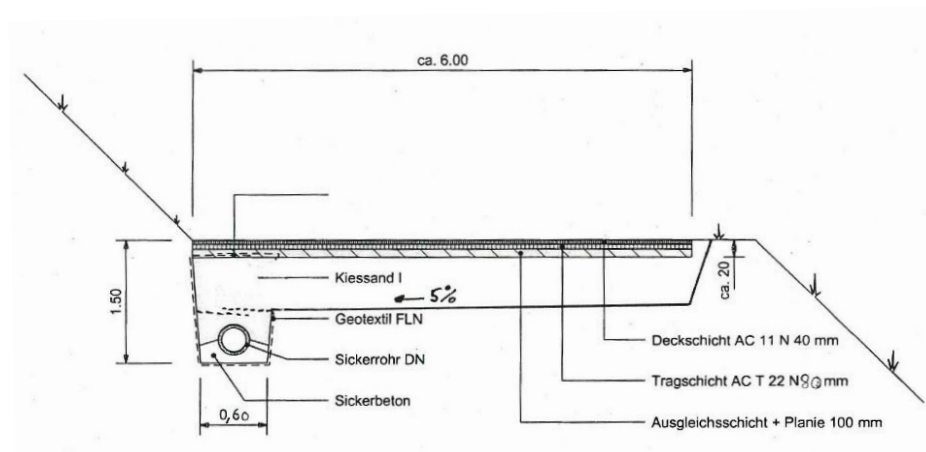


Abb. 3.8: Querschnitt der Strassenanlage

Es wird angenommen, dass nur eine mögliche Ausweichroute für Fahrzeuge existiert. Diese ist aber ungleich länger als der Weg über den Erhaltungsabschnitt.

3.2.2 Massnahmendurchführung

Die betrachtete Intervention umfasst den Ersatz der gesamten oberen Schichten. Dabei werden folgende Arbeitsschritte angenommen:

- Abfräsen der obersten 85mm
- Einbau einer ungebundenen Tragschicht mit 50mm Stärke
- Einbau einer neuen Trag- und Deckschicht:
 - 40 mm AC 11 N Deckschicht
 - 80 mm AC T N Tragschicht

3.2.3 Bewertung

Für die Bewertung mussten zusätzliche Annahmen getroffen werden:

- der Strassenabschnitt ist zu Beginn des Betrachtungszeitraums neuwertig und befindet sich am Anfang der Lebensdauer,
- das übrige Strassennetz ist während der Interventionszeit voll benutzbar und bietet damit Ausweichmöglichkeiten,
- die Wahrscheinlichkeit von ungeplanten Interventionsmassnahmen ist vernachlässigbar klein

Die untersuchte Zeitspanne beträgt 75 Jahre, der Diskontsatz 2%.

Die Referenzstrategie besteht darin, innerhalb der 75 Jahre nur notwendige Reparaturen aber keine eigentlichen Erhaltungsmassnahmen durchzuführen. Die untersuchte Strategie besteht darin, die Erhaltungsmassnahmen in den Jahren 26, 51 und 75 der betrachteten Zeitspanne durchzuführen.

Die absoluten und die relativen Kosten der jeweiligen Stakeholder (Betreiber, Strassenbenutzer, Dritte) und die Kosten nach Kostenart sind für beide Strategien in Abb. 3.10 dargestellt. Der Nutzen pro Jahr, der bei Verfolgung der untersuchten Strategie im Vergleich zur Referenzstrategie entsteht, ist in Abb. 3.11 ersichtlich. Die gestrichelte Linie stellt den Verlauf von Index I_1 dar. Die Verteilung des Gesamtnutzens der untersuchten Strategie auf die Kostenarten ist in Abb. 3.13 dargestellt.

Kostentyp	Interventionsstrategie*	Kosten je Stakeholder (Mio. CHF)			
		Betreiber	Strassenutzer	Dritte	TOTAL
Absolut	1	2.12	44.54	15.72	62.38
	2	0.82	40.37	14.78	55.97
Relativ	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	1.30	4.17	0.94	6.41

Abb. 3.9: Kosten der Strategien (*Interventionsstrategie 1 ist die Referenzstrategie, Strategie 2 ist die untersuchte Strategie) für jeden Stakeholder über den Betrachtungszeitraum von 75 Jahren.

Kostentyp	Int. Strategie*	Kosten je Kostenart (Mio. CHF)							
		Unterhalt	Reisezeit	Fahrzeug-betrieb	Unfall	Lärm	Luft	Klima	TOTAL
Absolut	1	2.12	14.95	10.55	23.80	9.64	0.97	0.36	62.38
	2	0.82	14.73	10.40	19.05	9.67	0.96	0.35	55.97
Relativ	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	1.30	0.22	0.15	4.75	-0.03	0.01	0.01	6.41

Abb. 3.10: Kosten der Strategien (*Interventionsstrategie 1 ist die Referenzstrategie, Strategie 2 ist die untersuchte Strategie) für jede Kostenart und jeden Kostentyp über den Betrachtungszeitraum von 75 Jahren.

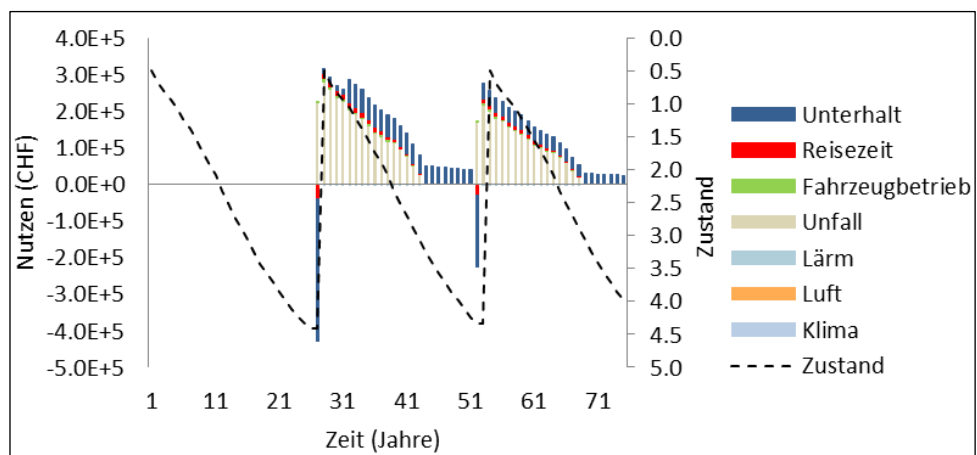


Abb. 3.11: Entwicklung der Kosten und Nutzen im Planungsfall sowie Verlauf des Strassenzustands (in Hunderttausend CHF, kumuliert)

Aus der Analyse kann folgendes abgeleitet werden:

- Der grösste Anteil der Kosten, die unabhängig von der Interventionsstrategie mit der Strassenbenutzung verknüpft sind, entsteht dem Benutzer (etwa 71%). Ungefähr 25% entstehen der Öffentlichkeit und weniger als 4% dem Besitzer.
- Im Vergleich der untersuchten Strategie mit der Referenzstrategie kann festgestellt werden, dass:
 - ein Gesamtnutzen von 6.41 Mio. CHF und entsprechend einer Kostenabnahme von 10% entsteht.
 - im Durchführungsjahr der Erhaltungsmassnahme die Fahrzeugbetriebs-, Reisezeit- und Klimakosten erhöht sind.
 - Der grösste Nutzen für den Strassenbenutzer entsteht bei einem Strassenzustandsindex $I_1 < 3$. Dies entsteht durch die Reduktion der Unfallkosten, Reisezeitkosten und Fahrzeugbetriebskosten. Falls der Index I_1 grösser als 3 ist, bietet jedoch die untersuchte Strategie keinen Vorteil gegenüber der Referenzstrategie. Die Reduktion der Unfall-, Reisezeit- und Fahrzeugbetriebskosten, macht 79% des Gesamtnutzens aus.
 - Der Grossteil der negativen Einwirkungen auf die Stakeholder während der Intervention wird durch die Unterhaltskosten verursacht. Die Reisezeitkosten

tragen in geringerem Umfang auch dazu bei. Die mögliche Umleitung (Alternativroute) hingegen verursacht keine Einflüsse, weil die Kapazität trotz Intervention ausreicht, sodass nicht erwartet wird, dass Fahrzeuge umgeleitet werden müssen.

- Ähnlich wie in Fallbeispiel 1 wird durch die Erhaltungsmassnahmen in den Jahren 26, 51 und 75 die Griffigkeit verbessert, die danach im Lauf der Zeit wieder abnimmt, bis sie sich nach 25 Jahren auf demselben Niveau befindet wie im Referenzfall.

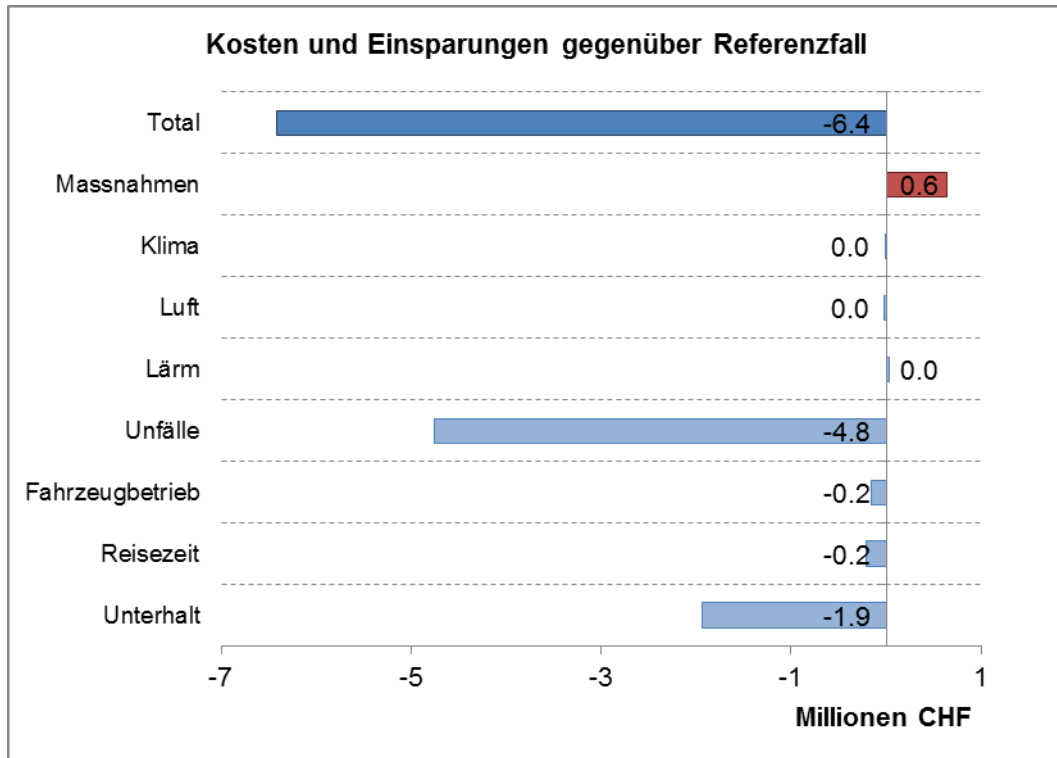


Abb. 3.12: Kosten und Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Gegenwartswert)

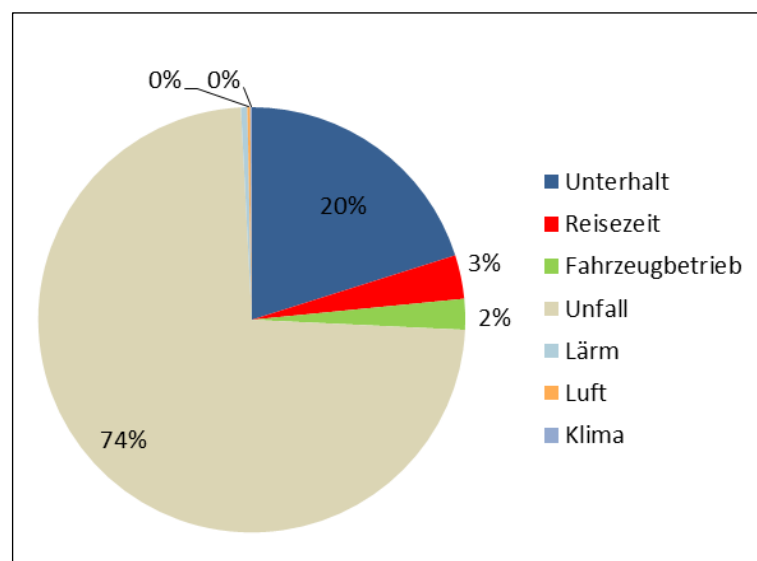


Abb. 3.13: Gesamtnutzen pro Kostenart

3.3 Fallbeispiel 3

3.3.1 Situation

Der Erhaltungsabschnitt beginnt bei der Verzweigung mit einer Hauptstrasse und endet an der Kantonsgrenze. Die Strecke beträgt 1.1 km und führt zunächst durch bewohntes Gebiet, erschliesst ein Industrieareal und schliesslich noch einen Bauernhof. 90% liegen innerorts, 10% ausserorts. Die Strasse ist in ungenügendem Zustand (I_0 ungefähr 3.5), wobei die Tragfähigkeit im Vorfeld als gut beurteilt wurde. Die letzte Sanierung der Deckschicht war 1979, weshalb man sich entschloss im Jahr 2007 die 28-jährige Binder- und Deckschicht zu erneuern. Während der Durchführung der Erhaltungsmassnahme stellte sich heraus, dass lokal auch die Tragschicht erneuert werden musste.

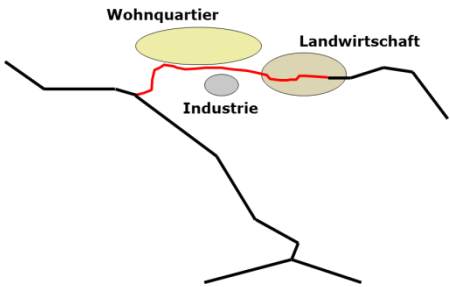
	Eckwerte Fallbeispiel 3
	Strassentyp: Hauptstrasse innerorts (90%) ausserorts (10%)
	Umgebung/Lage: Dorf in Hügellandschaft
	Länge der Erhaltungsmassnahme: 1.1 km
	DTV (gerundet auf 100): 1400 Fahrzeuge
	Schwerverkehrsanteil: 6.8%

Abb. 3.14: Situationsskizze Erhaltungsabschnitt sowie Eckwerte Fallbeispiel 3

Der Verkehr ist gering – durchschnittlich passieren 1360 Fahrzeuge pro Tag die Strasse, wobei auch eine Buslinie die Strasse befährt, 15x pro Richtung und Tag. Zu Spitzenzeiten kann der Verkehr auch 2000 Fahrzeuge pro Tag betragen; der Schwerverkehrsanteil ist ebenfalls gering und beträgt ca. 6.8%. Die Höhendifferenz beträgt 50m (Steigung ungefähr 4.5%). Die Unfallkennzahlen werden als normal eingestuft.

3.3.2 Massnahmendurchführung

Die Erhaltungsmassnahme wurde innerhalb von 13 Arbeitswochen durchgeführt. Während dieser Zeit konnte der Verkehr weiterhin – von zwei Ausnahmen abgesehen – fließen, ohne dass spezielle Einrichtungen installiert werden mussten. Die beiden Ausnahmen: In einem Kurvenbereich wurde eine permanente Lichtsignalanlage installiert und während 5 Tagen wurde die ganze Strasse komplett gesperrt.

Die Zufahrten zu den Liegenschaften und zum Industrieareal konnten stets aufrechterhalten werden; nur der Bus musste umgeleitet werden (ca. 1km zusätzliche Strecke). Auf die Installation und Ausschilderung einer expliziten Alternativroute wurde deshalb verzichtet.

Die Massnahme verursachte tageweise mehr Lärm durch Umwegverkehr, da die Strecke auch für die Zufahrt zum einem Ausflugsziel benutzt wird. Die Massnahme selbst kostete 830'000 CHF, wobei in diesen Kosten auch die Sanierung eines Durchlasses und eines Bachüberlaufs und die lokale Instandsetzung der Tragfähigkeit enthalten sind. Mit dieser Erhaltungsmassnahme sollten auf dieser Strasse in den nächsten 30 Jahren keine weiteren Unterhaltsmassnahmen mehr durchgeführt werden müssen, weshalb ein Betrachtungshorizont von 30 Jahren gewählt wurde. Die Massnahme trägt nicht wesentlich dazu bei Unfälle zu verhindern, so dass vor und nach der Massnahme die Unfallzahlen identisch sind.

3.3.3 Bewertung

Für die Bewertung wurden einige Vereinfachungen und gewisse Annahmen zu den Parametern getroffen. Da keine Angaben über Veränderungen der Zustandsindizes I_2 , I_3 , I_4 und I_5 vorliegen, wurde angenommen, dass diese heute wenig problematisch sind: $I_1=3.5$, $I_2=1$, $I_3=1$, $I_4=0.5$ und $I_5=2$. Die Massnahme im Jahr 2007 setzt den Index I_1 wieder auf 0 zurück. Die übrigen Indizes werden auf Grund der Massnahmendurchführung wie folgt angepasst: $I_1=0.25$, $I_2=0.5$, $I_3=0.5$, $I_4=0.5$ und $I_5=2$. Die Entwicklung aller Indizes I_1 bis I_5 ist gleich wie für I_1 . Im Weiteren wurde angenommen, dass der Schwellwert, ab dem zusätzliche Unterhaltsaufwendungen geleistet werden müssen um die Stilllegung der Strasse zu verhindern, erst ab einem $I_1=5$ anfallen.

Es sind nur 10 Personen von den Lärmemissionen betroffen, da ausser dem Bus keine Umfahrung eingerichtet wurde. Die Geschwindigkeit wurde auf 53 km/h angesetzt, um dem 90% Innerorts- und 10% Ausserorts-Charakter der Strasse gerecht zu werden. Die Kapazität der Strassenanlage wurde mit 1400 Fahrzeugen pro Stunde festgesetzt, wobei während der Massnahme die Kapazität nur für 300 Fahrzeuge pro Stunde ausreicht. Während der Totalsperrung müssen alle Fahrzeuge eine andere Route nehmen. Dafür wird ein Zeitverlust über alle Fahrzeuge von durchschnittlich etwas mehr als 2 Minuten eingerechnet.

Mit diesen Parametern wurde folgendes Ergebnis erzielt (alle Angaben in CHF, diskontiert mit 2% und mit einem Betrachtungshorizont von 30 Jahren):

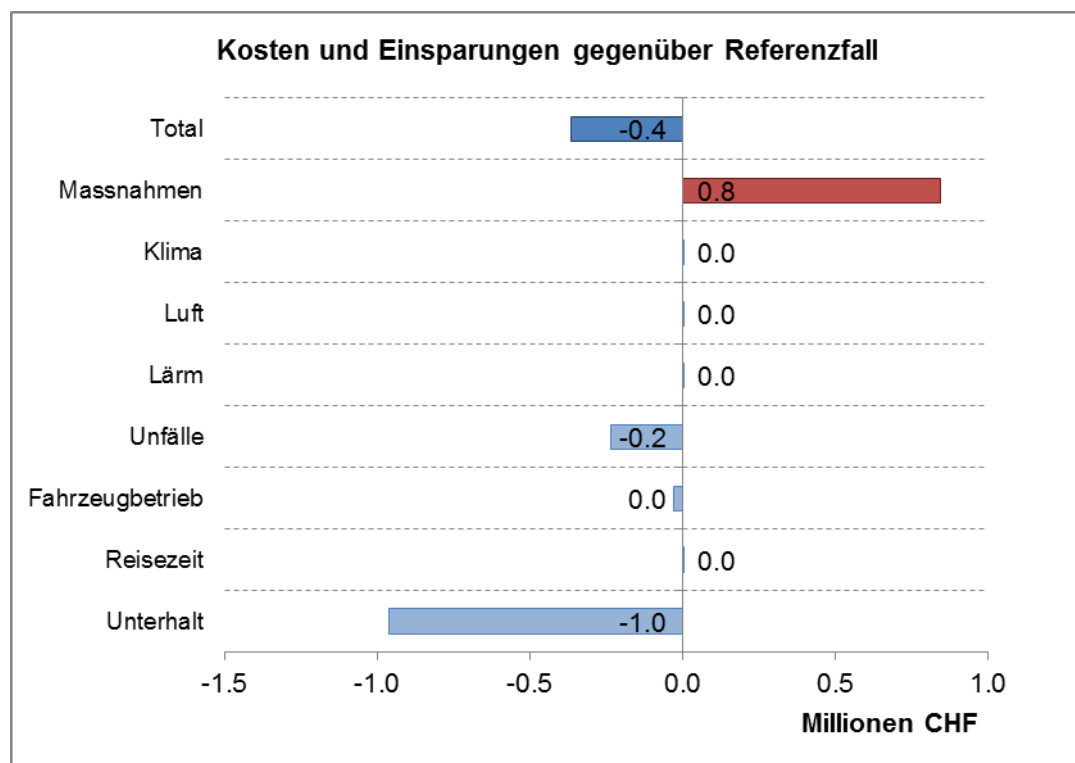


Abb. 3.15: Kosten und Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Gegenwartswert)

Die zusätzlichen Unterhaltskosten im Referenzfall stammen im Wesentlichen daher, dass ab dem Jahr 2028 (nach 22 Jahren) zusätzliche Kosten für den Unterhalt anfallen. Dazu werden jährlich fast 100'000 CHF veranschlagt. Die höheren Unfallkosten im Referenzfall sind gemäss Modell auf die geringfügig schlechtere Griffigkeit der Strassenanlage im Referenzfall zurückzuführen. Auf Grund der geringen Verkehrsstärke fallen diese Kosten aber nicht so stark ins Gewicht. Von geringerem Interesse sind die Unterschiede in den Reisezeitkosten, Fahrzeugbetriebskosten und Lärm-, Luft- und Klimakosten, welche jeweils nur ein paar Tausend Franken (auf 30 Jahren) betragen. Demgegenüber stehen Massnahmenkosten in der Höhe von ca. 800'000 CHF. Insgesamt ergibt sich nach 30 Jahren ein positives Resultat zu Gunsten der Massnahmenvariante. Der Break-even wird im Jahr 2032 erreicht.

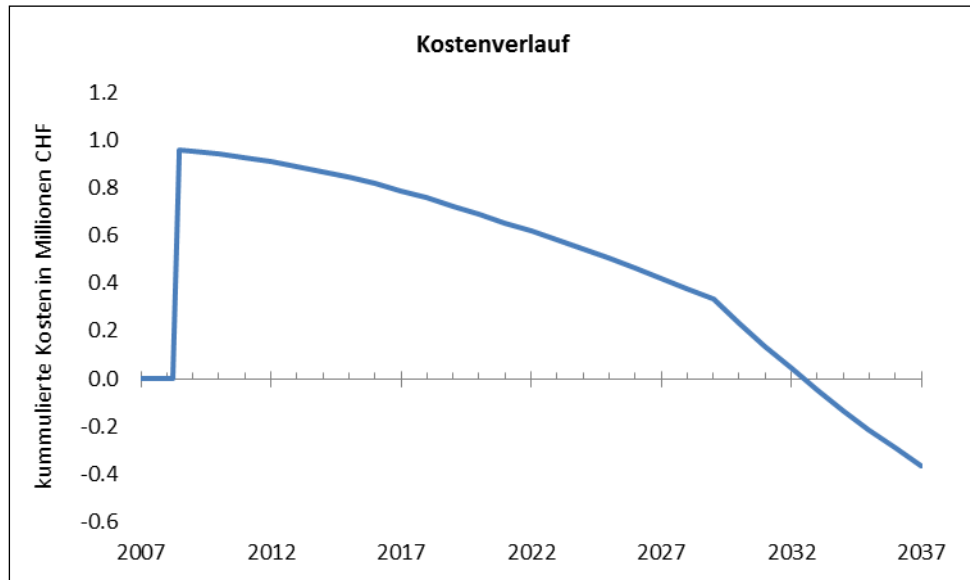


Abb. 3.16: Der Break-even wird im Jahr 26 erreicht.

3.4 Fallbeispiel 4

3.4.1 Situation

Die Strasse in Fallbeispiel 4 erfüllt fast ausschliesslich einen touristischen Zweck (Erschliessung Erholungsraum). Sie befindet sich auf ca. 750m ü.M. und wird zu Spitzenzeiten von ca. 2000 Fahrzeugen täglich befahren. Sie gilt als Strasse ausserorts (auf der eine Geschwindigkeit von 80km/h gelten würde), kann aber eigentlich nur mit maximal 40km/h befahren werden. Sie weist zahlreiche Kurven auf und ist momentan stellenweise nur 4.5m breit. Dies erschwert das Kreuzen von Fahrzeugen, jedoch ist auf Grund der geringen Geschwindigkeit und des geringen DTVs die Unfallrate nicht erhöht. Die Unfallkennzahlen sind durchschnittlich für diesen Typ von Strasse, obwohl die engen Verhältnisse eine erhöhte Unfallrate vermuten lassen würden, was sich aber nicht nachweisen lässt.

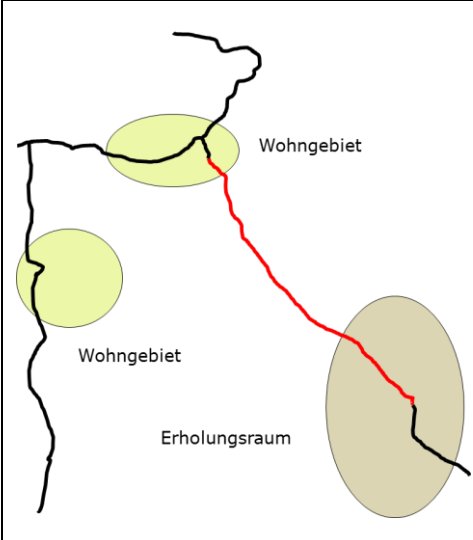
	Eckwerte Fallbeispiel 4
	Strassentyp: Hauptstrasse ausserorts
	Umgebung/Lage: Hügelland
	Länge der Erhaltungsmassnahme: 2 km
	DTV (gerundet auf 100): 2000 Fahrzeuge
	Schwerverkehrsanteil: 5.5 %

Abb. 3.17: Situationsskizze Erhaltungabschnitt sowie Eckwerte Fallbeispiel 4

Es müssen keine Lärmemissionen bewertet werden, da sich die gesamte Strassenanlage ausserorts befindet. Hingegen verspricht die kombinierte Erhaltungs- und Ausbaumassnahme eine höhere Attraktivität des Ausflugsziels und somit eine touristische Aufwertung. Nach der Massnahme an der Strassenanlage wird deshalb zusätzlicher Verkehr erwartet.

3.4.2 Massnahmendurchführung

Der Zustand wird als mässig beurteilt ($I_0 = 3.5 - 4$), so dass zusammen mit den beengten Verhältnissen ein Unterhaltsprojekt für einen 2 km langen Abschnitt lanciert wurde. In diesem Projekt wird die Strassenanlage komplett erneuert, der Oberbau stabilisiert und teilweise neu erstellt und die Strasse wo nötig verbreitert. Die Massnahme wurde allerdings noch nicht durchgeführt, ein Kostenvoranschlag für alle Arbeiten beläuft sich auf 4.0–4.5 Mio. CHF. Inbegriffen ist hier auch eine Instandsetzung eines nahen bzw. kreuzenden Wanderwegs (Kostenpunkt 100'000 CHF). Die Arbeiten sind auf 25 Jahre ausgelegt und Alternativrouten sind keine vorhanden. Auf Grund der Höhenlage wird in 2 Bau-saisons (jeweils April-Oktober) die Strasse im Einbahnverkehr erneuert und aufgerüstet – wochenweise kann eine Vollsperrung notwendig sein.

Die Strasse weist verschiedene Charakteristika auf. Die Kurven wurden vor ca. 20 Jahren in Stand gesetzt und sind alle breit genug. Die „geraden“ Stücke befinden sich noch im ursprünglichen Zustand und sollen nun durch die Erhaltungsmassnahme so angepasst werden, dass überall mindestens eine 5.5m breite Strasse zur Verfügung steht. Dies verbessert die Kreuzungen von zwei Fahrzeugen und dadurch kann eine regelmässige Fahrt erreicht werden, die insgesamt schneller und mit weniger Unfällen durchgeführt werden kann.

3.4.3 Bewertung

Die zunehmende Attraktivität der Strasse und das dadurch potenziell steigende Verkehrsaufkommen sind eine erste Herausforderung zur Beurteilung der Erhaltungsmassnahme. Es wird angenommen, dass der neu höhere Ausflugsverkehr nicht neu erzeugt, sondern verlagert Verkehr ist. Volkswirtschaftlich entsteht in dieser Region ein Nutzen durch den erhöhten Umsatz in den Restaurationsbetrieben. Diese fallen aber andernorts weg, so dass diesbezüglich von einem Nullsummenspiel ausgegangen werden kann. Es bleibt deshalb abzuschätzen, ob für den verlagerten Verkehr mehr oder weniger Wegstrecke eingerechnet werden muss und dementsprechend mit höheren bzw. geringeren Reisezeitkosten und Fahrzeugbetriebskosten zu rechnen ist. Für die Modellrechnung wurde deshalb angenommen, dass die Verkehrszunahme nach der Erhaltungsmassnahme 1% (bzw. 20 Fahrzeuge) beträgt und dass diese Fahrzeuge dabei einen Kilometer weniger Wegstrecke zurücklegen (näher gelegenes touristisches Ziel).

Die Verbreiterung der Strasse hat zur Folge, dass Fahrzeuge besser kreuzen können und insgesamt schneller gefahren werden kann. Beträgt die durchschnittliche Geschwindigkeit heute 40km/h, so ist für die Strecke eine Fahrzeit von 3 Minuten notwendig. Geht man davon aus, dass durch den Ausbau auf Grund des einfacheren Kreuzens und der zügigeren Fahrweise 30 Sekunden pro Fahrt gespart werden können, so beträgt die durchschnittliche Geschwindigkeit nach der Erhaltungsmassnahme 48km/h.

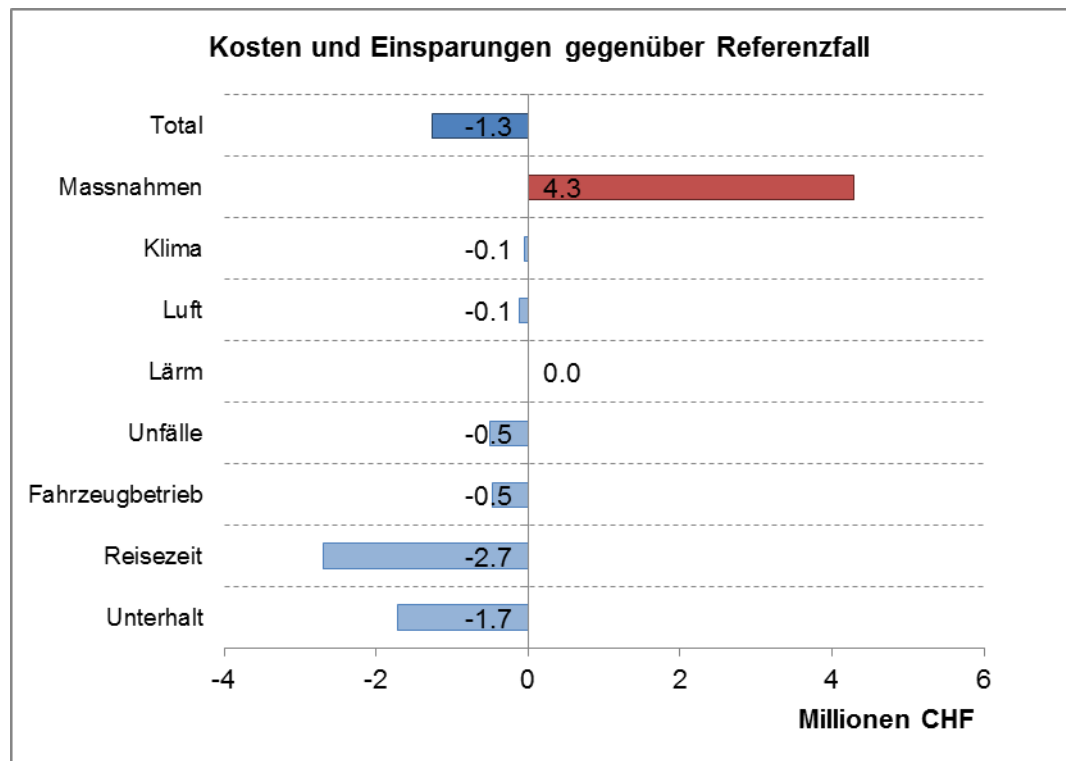


Abb. 3.18: Kosten und Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Gegenwartswert). Eingesparte Reisezeiten und Unterhaltsausgaben rechtfertigen die Investitionen.

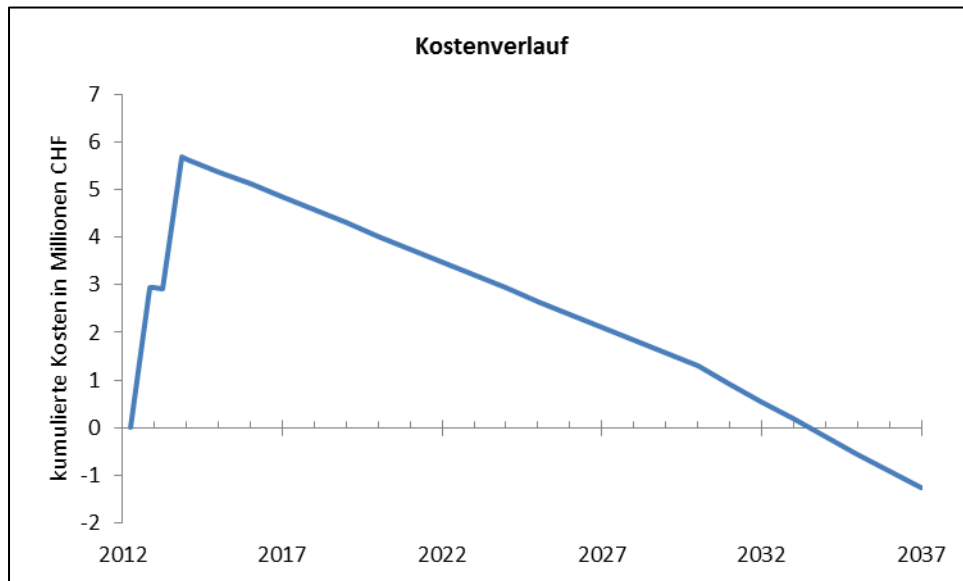


Abb. 3.19: Nach 22 Jahren rentiert die Investition.

Den Ausgaben von ca. 4.5 Mio. CHF steht ein Nutzen gegenüber, der insgesamt mehr als 5.5 Mio. CHF beträgt. Er setzt sich aus eingespartem Unterhalt, verminderten Reisezeiten zusammen, die zusammen in etwa die Massnahmenkosten aufwiegen. Fahrzeugbetrieb, Unfälle und in geringem Masse Luft- und Klimakosten tragen etwa 1 Mio. CHF Nutzen bei.

Nach 22 Jahren rentiert die Massnahme, was bei einer Betrachtungsdauer von 25 Jahren zum Resultat führt, dass die Massnahme umzusetzen ist.

Interessant ist zu sehen, wie sich die Kosten bzgl. Reisezeit verändern (siehe Abb. 3.20). Während in den beiden Bausaison-Sommermonaten jeweils Kosten von etwa 600'000 CHF entstehen (wegen der Behinderungen), so werden auf Grund der Ausbauten nach der Erhaltungsmassnahme jährlich fast 200'000 CHF an Einsparungen ausgewiesen. Die Behinderungen werden also mehr als kompensiert.

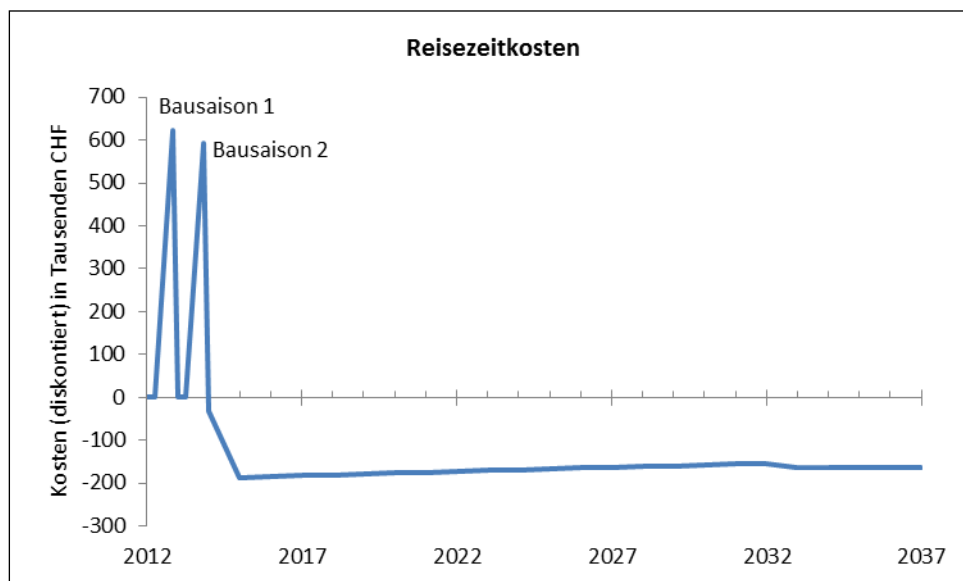


Abb. 3.20: Verlauf der Reisezeitkosten (diskontiert) über den gesamten Betrachtungszeitraum.

3.5 Fallbeispiel 5

3.5.1 Situation

Die Gesamtlänge der zu sanierenden Strassenanlage beträgt 5.7 km und besteht aus einem Hauptstrassenabschnitt und einem Abschnitt Autobahnzufahrt. Die gesamte Strassenanlage ist eine wichtige Verbindung zwischen dicht besiedelten Gebieten und führt durch mehrheitlich unbewohntes Gebiet. Allerdings befinden sich ein Ausflugsziel und weitere erschlossene Areale, für die stets ein Zugang gewährleistet sein muss, an der Strecke. Der Strassenzustand ist überall ungenügend (I_0 ungefähr 3.5), wobei die Tragfähigkeit als durchwegs gut beurteilt wurde. Die Strassenanlage ist nicht homogen, der älteste Teil der Strasse ist 35 Jahre und der jüngste 15 Jahre alt.

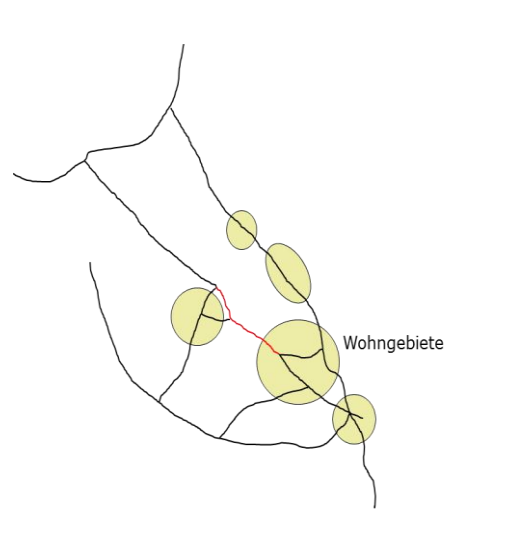
	Eckwerte Fallbeispiel 5
	Strasstyp: teils Nationalstrasse, teils Hauptstrasse ausserorts
	Umgebung/Lage: periphere Agglomeration
	Länge der Erhaltungsmassnahme: 5.7 km
	DTV (gerundet auf 1000): 30'000 Fahrzeuge
	Schwerverkehrsanteil: 10 %

Abb. 3.21: Situationsskizze Erhaltungabschnitt sowie Eckwerte Fallbeispiel 5

Der Verkehr ist hoch, durchschnittlich passieren den Nationalstrassenabschnitt fast 20'000 Fahrzeuge pro Tag und auf der Hauptstrasse werden bis zu 30'000 Fahrzeuge gezählt. Der Schwerverkehrsanteil beträgt ca. 10%. Die Strasse weist keine nennenswerten Steigungen auf und auch die Unfallzahlen bewegen sich im normalen Rahmen. Mit den Sanierungsmassnahmen werden keine Unfallschwerpunkte entschärft, und auch keine wesentlichen baulichen Veränderungen an der Strassenanlage vorgenommen.

3.5.2 Massnahmendurchführung

Die Erhaltungsmassnahme wurde innerhalb von 6 Arbeitswochen durchgeführt, wobei auf das Umleitungs- und Verkehrslenkungskonzept sehr viel Wert gelegt wurde. Die hohe Verkehrsmenge und die Wichtigkeit der Verbindung als Durchgangssachse lässt keine durchgehende Totalsperrung zu. Die Bauarbeiten wurden deshalb in Phasen aufgeteilt:

- eine Teilsperrung (4 Wochen), während der die Strasse einspurig befahrbar und die Zugänge zu den Gewerbegebieten gewährleistet war.
- eine Totalsperrung auf zwei Abschnitten von je einer Woche.

Während der gesamten Bauzeit wurde zu allen relevanten Gebäuden ein Zugang sichergestellt. Die Anforderungen der steten Zugänglichkeit und der Umleitung grosser Verkehrsmengen machte ein weiträumiges Konzept unabdingbar. So wurden Umleitungstafeln bereits auf entfernten Nationalstrassenabschnitten installiert, um den Verkehr auf zwei designierte Umleitungsrouten zu lenken. Lichtsignalanlagen wurden umprogrammiert, um den neuen Verkehrsströmen gerecht zu werden. Die Massnahme verursachte in angrenzenden Dörfern und Quartieren während dieser Zeit erheblich mehr Verkehr – allerdings meistens auf bereits stark befahrenen Strassenabschnitten. Der zusätzliche Lärm kann daher vernachlässigt werden.

Im Zug der Arbeiten an der Fahrbahn wurden auch Rodungsarbeiten durchgeführt, Mittelinseln, Fussgängerstreifen und Strassenränder angepasst, Entwässerungen verbessert, diverse Arbeiten an den Gemeindewerken vorgenommen und Hangsicherungen sowie Auffangvorrichtungen für Steine installiert.

Die Kosten der Erhaltungsmassnahme beliefen sich auf 4.5 Mio. CHF. Mit dieser Massnahme sollten auf diesem Strassenabschnitt in den nächsten 30 Jahren keine weiteren Erhaltungsmassnahmen mehr durchgeführt werden müssen, weshalb als Betrachtungszeitraum 30 Jahre gewählt wurden.

3.5.3 Bewertung

Auf Grund der hohen Verkehrsmengen sind die absoluten Zahlen bei den Reisezeit-, Unfall- und Fahrzeugbetriebskosten beträchtlich. Die Differenz zwischen Planungs- und Referenzfall ist allerdings gering.

Während der 6 Wochen dauernden Erhaltungsmassnahmen werden erhebliche Umwege und Reisezeitverlängerungen in Kauf genommen. Während dieser Zeit werden pro Fahrzeug und Tag fast 4 Minuten zusätzliche Fahrzeit und eine zusätzliche Wegstrecke von etwas über 4 km veranschlagt. Dies hat zur Folge, dass die Erhaltungsmassnahme eine Nutzeneinbusse von fast 3 Mio. CHF bzgl. der Reisezeit und etwas mehr als 1 Mio. an zusätzlichen Fahrzeugbetriebskosten verursacht. Bedingt durch die Umwegfahrten muss auch mit mehr Unfällen gerechnet werden, die ebenfalls fast eine 1 Mio. CHF ausmachen. Insgesamt entstehen für die Strassennutzer Kosten in der Höhe von 5 Mio. CHF während den Baumassnahmen.

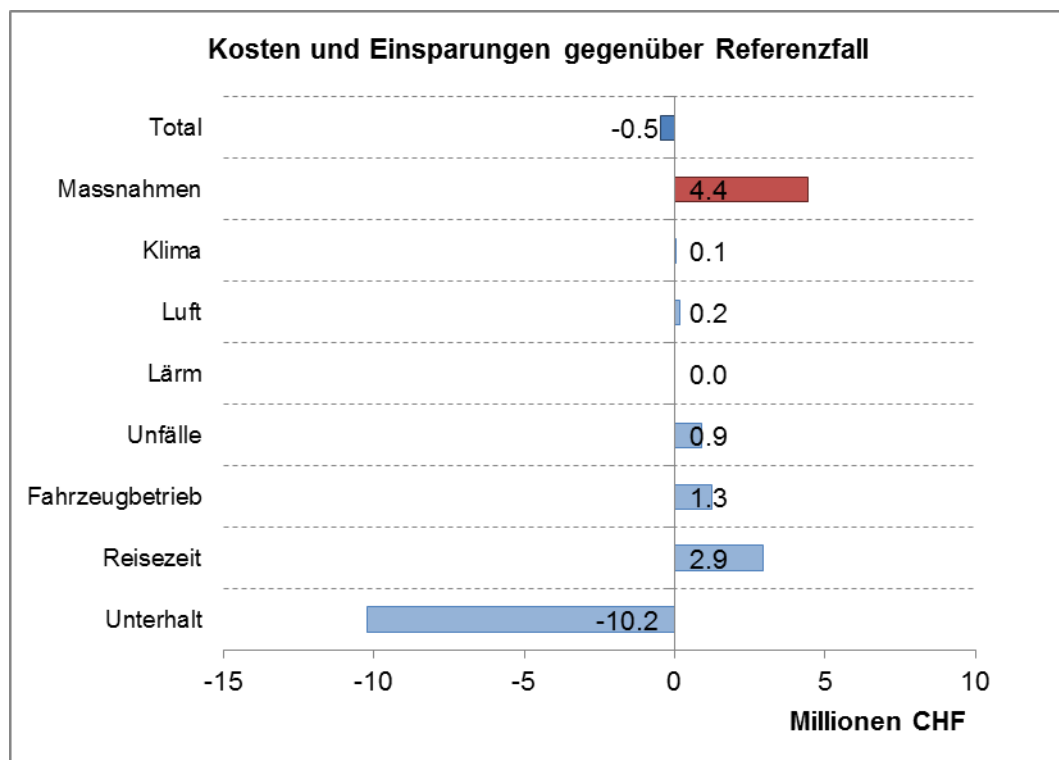


Abb. 3.22: Kosten und Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Gegenwartswert). In absoluten Zahlen sind die Kosten- und Nutzenkomponenten sehr ausgeprägt, v.a. die Strassennutzerkosten. Zu beachten ist, dass die Massnahme bei den Reisezeit-, Fahrzeugbetriebs- und Unfallkosten ausnahmslos Kosten verursacht und keinen monetären Nutzen hat.

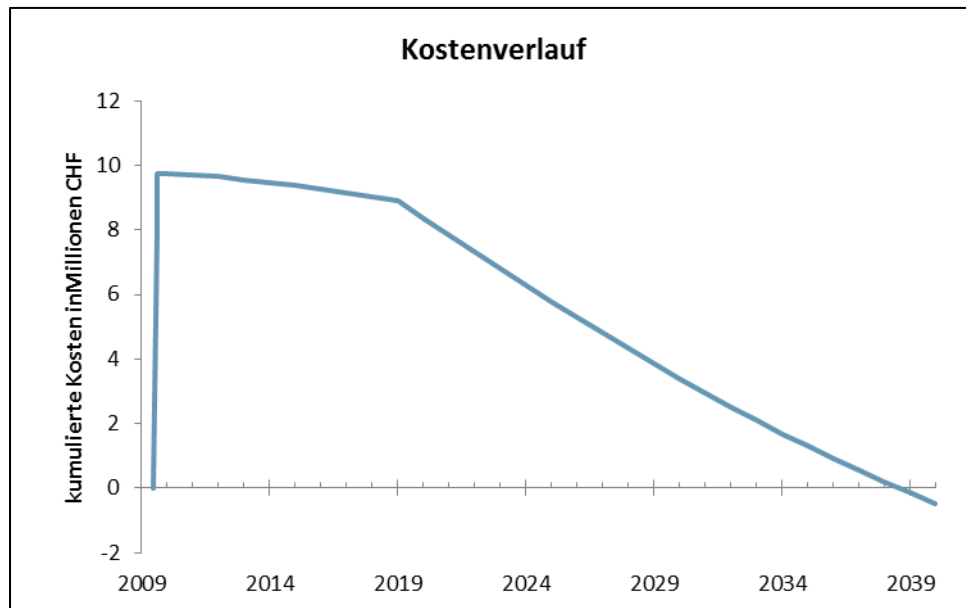


Abb. 3.23: Der Break-even wird knapp vor Ende des Betrachtungszeitraums erreicht (Jahr 29). Im Wesentlichen sind die eingesparten Betreiberfolgekosten ausschlaggebend für die Entscheidung zu Gunsten der Erhaltungsmassnahme.

Für den Strassenbetreiber können allerdings erhebliche Einsparungen erzielt werden, da ab dem Jahr 2018 im Planungsfall jährlich deutlich weniger Kosten anfallen. Es können so rund 600'000-700'000 CHF eingespart werden, die sonst für die zusätzlichen Unterhaltsaufwendungen eingerechnet werden müssten.

Im Gegensatz zu den vorherigen Beispielen zeigt sich hier durch das hohe Verkehrsaufkommen ein neuer Aspekt. Das Resultat ist sehr sensitiv gegenüber gewissen Annahmen. Mit den getroffenen Annahmen ist ein Break-even nach 29 Jahren noch möglich, das Resultat könnte aber durch geringfügige andere Annahmen und Parameter schnell ändern (auf beide Seiten):

- Gemäss Modell können Anpassungen beim heutigen Wert von I_4 (Griffigkeit), dessen Festlegung nach der Erhaltungsmassnahme und dem zukünftigen Verlauf dieses Zustandsindex zu deutlich veränderten Unfallkosten führen. Anstelle von zusätzlichen Kosten kann ein Nutzen entstehen, der mehrere Mio. CHF betragen kann (siehe auch Kapitel 4.2.2). Dies zeigt einerseits, dass Annahmen bzgl. des prognostizierten Zustandsverlaufs und andererseits des Zusammenhangs zwischen Griffigkeit und Unfallgeschehen sehr genau untersucht werden müssen. Die Griffigkeit als alleinige erklärende Grösse des Unfallgeschehens ist nicht ausreichend, wie dieses Beispiel deutlich zeigt.
- Setzt man die Schwelle, bei der zusätzliche Aufwendungen zum Erhalt der Strassenanlage gemacht werden müssen, höher an (anstatt bei 4.75 bei 5), so wäre der Nutzen bzgl. Unterhaltsaufwendungen ca. 5 Mio. CHF geringer und die Erhaltungsmassnahme brächte keine Vorteile.
- Sind die Annahmen bzgl. zusätzlicher Fahrzeit und zusätzlicher Wegstrecke pro Fahrzeug während der Erhaltungsmassnahme zu tief, so entstehen ebenfalls Mehrkosten während der Erhaltungsmassnahme, die nicht mehr durch verringerte Kosten nach der Erhaltungsmassnahme kompensiert werden können. Sind die Werte allerdings zu hoch gegriffen, entsteht erheblicher zusätzlicher Nutzen. Sind Umweg und Zusatzzeit nur 2 km bzw. 3 Minuten länger (anstatt etwas mehr als 4 km und 4 Minuten), so wird der Break-even bereits 5 Jahre früher erreicht und insgesamt ein Nutzen von fast 2 Mio. CHF generiert.

3.6 Fallbeispiel 6

3.6.1 Situation

Die Erhaltungsmassnahme umfasst einen Abschnitt von 250 Metern im innerstädtischen Bereich. Auf diesem Abschnitt wurde im Jahr 2005 die Fahrbahn erneuert (Abb. 3.24). Der vorhandene AB11 Belag (alte Bezeichnung) wurde durch einen gleichwertigen AC11 Belag (neue Bezeichnung) ersetzt. Eine Alternativroute wäre auf Quartierstrassen oder durch eine grossräumige Umfahrung des Bereichs möglich. Da die Verkehrseinschränkungen aber eher gering sind, ist von keinen grösseren Verkehrsumlagerungen auszugehen.

Bei der betroffenen Strasse handelt es sich um eine innerörtliche Hauptverkehrsstrasse mit mittlerem Verkehrsaufkommen (Verkehrslastklasse K1h). Der Strassenquerschnitt besteht aus 2 Fahrstreifen plus einem zusätzlichen Streifen für Velos, Busse und Taxis (Abb. 3.25).

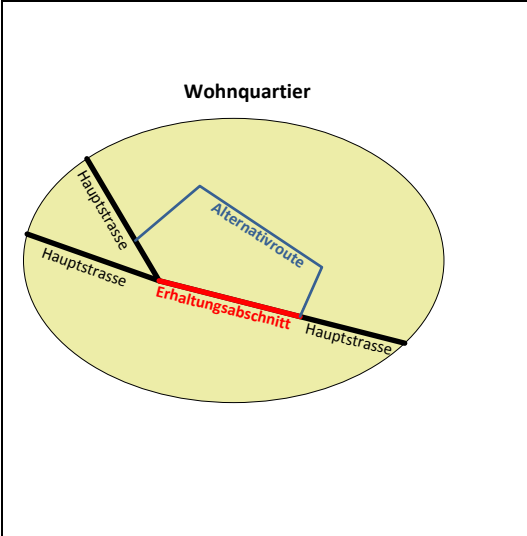
	Eckwerte Fallbeispiel 6
	Strassentyp: Hauptstrasse innerorts
	Umgebung/Lage: Wohnquartier
	Länge der Erhaltungsmassnahme: 0.25 km
	DTV (gerundet auf 1000): 7000 Fahrzeuge
	Schwerverkehrsanteil (incl. Busverkehr): 10%

Abb. 3.24: Situationsskizze Erhaltungabschnitt sowie Eckwerte Fallbeispiel 6

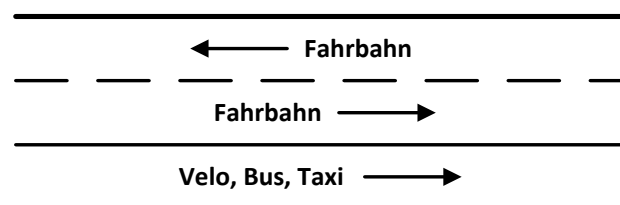


Abb. 3.25: Strassenquerschnitt im Erhaltungabschnitt

Der Strassenzustand wurde sowohl vor, als auch nach der Massnahme erhoben. Dabei wurde jedoch, wie im innerörtlichen Bereich üblich, jeweils nur der Index I_1 mit seinen Unterindizes I_{A1} bis I_{A5} erhoben.

Zustandsindex	2003	2006
I ₁ – Oberflächenschäden	2.8	0.0
I _{A1} – Oberflächenglätte	2.2	0.0
I _{A2} – Belagsschäden	2.2	0.0
I _{A3} – Belagsverformung	1.1	0.0
I _{A4} – Strukturelle Schäden	1.1	0.0
I _{A5} – Flicke	1.1	0.0

Abb. 3.26: Strassenzustand vor und nach der Erhaltungsmassnahme

3.6.2 Massnahmendurchführung

Die für die Berechnung benötigten Angaben zur Massnahmendurchführung konnten im Nachhinein nicht immer vollständig ermittelt werden. Wo nötig, wurden daher sinnvolle und entsprechend begründete Annahmen getroffen. In der praktischen Anwendung des Modells ist jedoch davon auszugehen, dass diese Werte im Rahmen der Planung einer Massnahme einfach zu beschaffen sind.

Da neben den beiden Fahrstreifen noch ein zusätzlicher Fahrstreifen für Busse, Taxis und Velos vorhanden ist, wurde von einer abwechselnden Sperrung jeweils einer Fahrbahn ausgegangen, d.h. dass immer zwei verengte Fahrstreifen zur Verfügung standen. Eine Alternativroute wäre durch das angrenzende Quartier oder durch eine grossräumige Umfahrung möglich. Bei Aufrechterhaltung von zwei Fahrstreifen mit einer Geschwindigkeitsreduktion auf 30 km/h im Baustellenbereich werden diese Möglichkeiten jedoch nicht massgebend, solange kein Stau entsteht.

Die Massnahmenkosten beliefen sich auf 249'000 CHF. Für die Durchführung der Massnahme wurde ein Zeitraum von einer Woche angesetzt.

3.6.3 Bewertung

Bei der Bewertung der Massnahme sowie des theoretischen Referenzfalls mussten gewisse Annahmen getroffen werden. Teilweise lag dies an der eingeschränkten Datengrundlage im Einzelfall, teilweise zeigten sich hier aber auch prinzipielle Probleme, die nötigen Inputdaten, insbesondere für den innerstädtischen Bereich, zu beschaffen.

Es wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die Zustandsindizes I₂ bis I₅ wurden nicht erhoben und wurden daher für die Berechnung wie folgt abgeschätzt:
 - I₂ = I₃ = I_{A3}
 - I₄ = I_{A1}
 - I₅ ist für die Berechnung nicht relevant
- Für den Zustandsverlauf in den einzelnen Indizes wurden die von Scazziga im Rahmen des Projekts „Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement“ entwickelten Verlaufskurven angesetzt [3].
- Das Alter der Anlage wurde auf 40 Jahre geschätzt.
- Der DTV wurde zusammen mit einem angenommenen Verkehrsmix aus der Verkehrslastklasse abgeleitet.
- Aufgrund der vierstöckigen Bebauung beidseitig der Strasse, wird die Anzahl der von Lärm und sonstigen Emissionen betroffenen Personen auf 400 geschätzt.
- Es wird von einer Erhöhung der Unfallzahlen um 10% während der Bauarbeiten und der damit verbundenen Einschränkungen des Verkehrs ausgegangen.
- Es wird davon ausgegangen, dass es nach der Massnahme keine Verkehrszunahme wegen gesteigerter Attraktivität der Strecke gibt.

Bei diesen Annahmen ist insbesondere die Abschätzung der Zustandsindizes kritisch zu

beurteilen. Für die hier verwendete Methodik sind die Indizes I_2 , I_3 und I_4 zwingend erforderlich. Diese werden jedoch insbesondere innerorts nur selten erfasst. Die Abschätzung über die Indizes I_{A1} und I_{A3} stellt eine grobe Abschätzung dar, die aber auf Grund der grundsätzlich unterschiedlichen Art der Beurteilung (messtechnisch bzw. visuell) eher kritisch zu sehen ist.

Mit diesen Annahmen und den zuvor beschriebenen Rahmenbedingungen der Massnahmendurchführung ergeben sich die in Abb. 3.27 dargestellten Kosten im Planungs- und Referenzfall.

Die absolut höchsten Werte ergeben sich bei den Lärmkosten. Hier besteht jedoch kein Unterschied zwischen Planungs- und Referenzfall, da bei der Massnahme wieder eine äquivalente Deckschicht eingebaut wird. Die Lärmemissionen während der Bauzeit werden hier nicht berücksichtigt, bei einer so kurzen Bauzeit erscheint dies sinnvoll.

Die grösste Differenz und damit auch der grösste Nutzen ergeben sich bei den Unfallkosten. Hier ist mit Durchführung der Massnahme eine Kostenersparnis von ca. 3.35 Mio. CHF möglich. Weitere kleinere Kostendifferenzen ergeben sich bei den Unterhaltskosten (Kostenersparnis von 320'000 CHF) und den Massnahmenkosten (Mehrkosten von 249'000 CHF).

Damit ergibt sich der in Abb. 3.28 dargestellte Verlauf der kumulierten Kosten über den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren. Die Massnahme wird im Jahr drei nach der letzten Zustandsaufnahme durchgeführt. Hier kommt es durch die Massnahmenkosten und geringe Einflüsse bei der Reisezeit und den Unfallkosten zunächst zu einer sprunghaften Erhöhung der Kosten, der Break-even-Punkt wird aber schon im Jahr vier erreicht und ab dann ist eine deutliche Kostenersparnis möglich. Über den gesamten Betrachtungszeitraum ergibt sich eine Kostenersparnis und damit der Nutzen der Massnahmendurchführung zu 3'451'000 CHF.

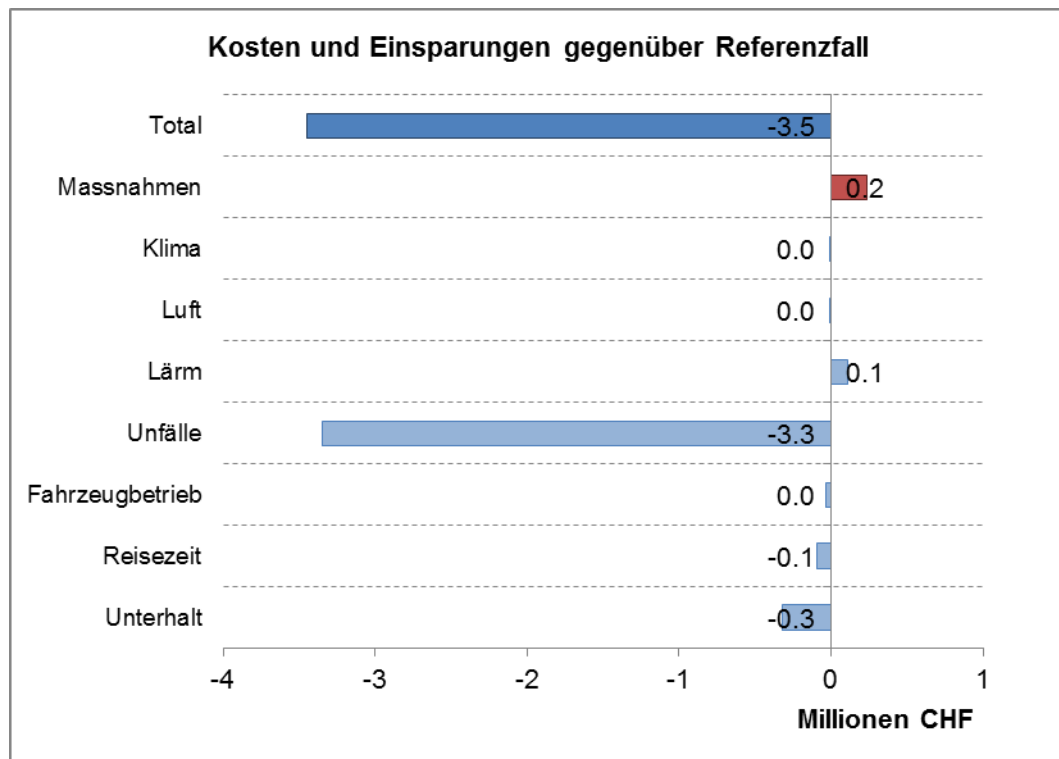


Abb. 3.27: Kosten und Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Gegenwartswert)

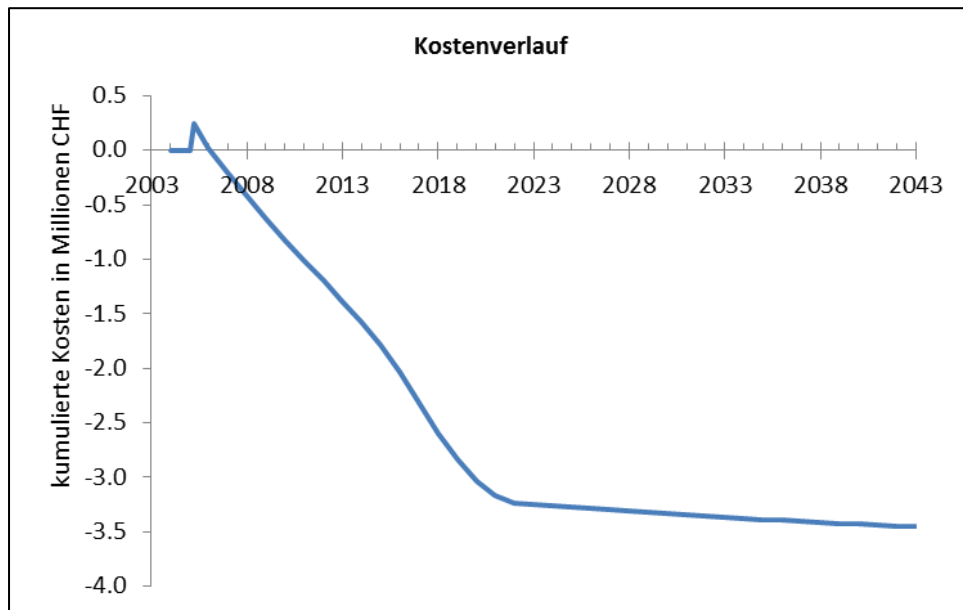


Abb. 3.28: Verlauf der kumulierten Kosten über den Betrachtungszeitraum

Bei der Beurteilung der Ergebnisse fällt auf, dass das Ergebnis hauptsächlich durch die Unfallkosten beeinflusst wird. Insbesondere die eigentlichen Massnahmenkosten, aber auch alle anderen Kostengruppen spielen eine deutlich untergeordnete Rolle. Da auf einer Strasse im Innerortsbereich mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h die Unfälle im Allgemeinen eher auf Unachtsamkeit der Fahrer oder Unübersichtlichkeit der Verkehrsführung zurückzuführen sind und weniger auf den Strassenzustand, scheint dieser extrem grosse Einfluss der Unfallkosten fraglich. Ebenso kritisch sind die extrem hohen Lärmkosten zu beurteilen, die sich im Vergleich von Planungs- und Referenzfall zwar weitgehend aufheben, deren absolute Höhe aber zu hoch erscheint.

3.7 Fallbeispiel 7

3.7.1 Situation

Die Unterhaltsarbeiten fanden mitten im Zentrum eines Siedlungsgebietes statt, so dass die Zufahrt zu Gewerbe- und Wohnbauten stark erschwert wurde. Nicht nur der Ziel- und Quellverkehr wurde beeinträchtigt, sondern auch Durchfahrten.

Der Erhaltungsabschnitt umfasst verschiedene Zentrumsstrassen teils mit Brücken und Unterführungen. Die Erhaltung der Strassenanlage ist somit nicht homogen und einige Bereiche müssen zusätzlich mit Beton verstärkt werden. Der Strassenzustand wird im Allgemeinen als genügend bis gut bezeichnet (I_0 mehrheitlich 3, teilweise 2). Die Erhaltung der Strassenanlage fand jedoch nicht auf Grund des Zustands statt, sondern auf Grund der Sanierung der Werkleitungen. Somit war nicht der Kanton, sondern die Gemeinde federführend für die Instandsetzung der Strassenanlage.

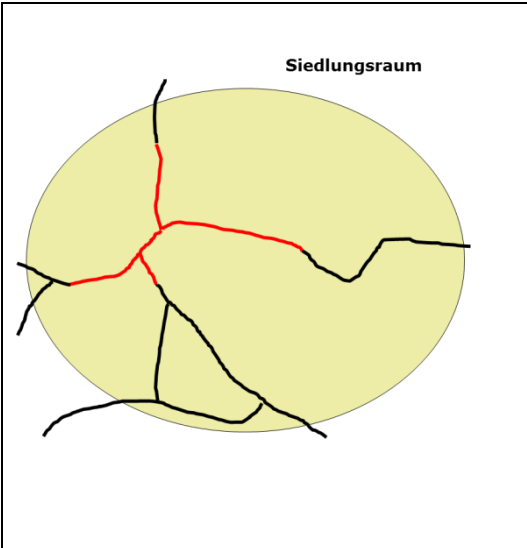
	Eckwerte Fallbeispiel 7
	Strassentyp: Kantonsstrasse innerorts
	Umgebung/Lage: flaches Siedlungsgebiet
	Länge der Erhaltungsmassnahme: 2 km
	DTV (gerundet auf 1000): 12'000 -18'000 Fahrzeuge
	Schwerverkehrsanteil: <5 %

Abb. 3.29: Situationsskizze Erhaltungsabschnitt sowie Eckwerte Fallbeispiel 7

Auf Grund der Zentralität der Strassenanlage beträgt der DTV je nach Strassenabschnitt 12'000 bis 18'000 Fahrzeuge, wobei der Schwerverkehrsanteil bei unter 5% liegt. Nennenswerte Höhendifferenzen sind keine vorhanden und die Unfallkennzahlen werden als gering eingestuft.

3.7.2 Massnahmendurchführung

Die Situation ist komplex, da die Strassenanlagen zwar mehrheitlich in akzeptablen Zustand sind, die Werkleitungen aber saniert werden müssen. Somit ist nicht der Strassenzustand für die Instandsetzungsarbeiten ausschlaggebend, sondern die Werkleitungen. Insgesamt wurden während längerer Zeit Leitungen erneuert, wobei schlussendlich der Einbau des Deckbelags innerhalb von 2 Wochen durchgeführt wurde. Dazu wurde das ganze Zentrum total gesperrt, Busse umgeleitet, Müllabfuhr und Rettungskonzepte erstellt und mit breit gestreuten Informationen die Bevölkerung auf die neuen Verkehrsregimes aufmerksam gemacht.

Die Kosten für die Erhaltungsmassnahmen können auf ca. 1.2 Mio. CHF beziffert werden, wobei die Kosten nicht allein beim Kanton als Betreiber der Strasse angefallen sind. Dadurch, dass der Auslöser zu einem wesentlichen Teil die Werke waren, mussten sie auch einen Anteil an den Erhaltungskosten finanzieren.

3.7.3 Bewertung

Der Einbau der Fahrbahn dauerte 2 Wochen; zuvor waren an diversen Stellen die Strassen wegen den Arbeiten an den Werkleitungen während geraumer Zeit nur eingeschränkt

befahrbar. Die Erhaltungsmassnahme (Einbau des Deckbelags) ist jedoch von den Werkleitungsarbeiten zu trennen und nur die Zeit für die Erhaltungsmassnahme selbst soll in die Bewertung einfließen. Der Betreiber (Gemeinde, Kanton) hatte nur wenige Einflussmöglichkeiten auf den Zeitpunkt der Werkleitungsarbeiten. Es werden also nur die beiden Wochen für die Totalsperrung berücksichtigt.

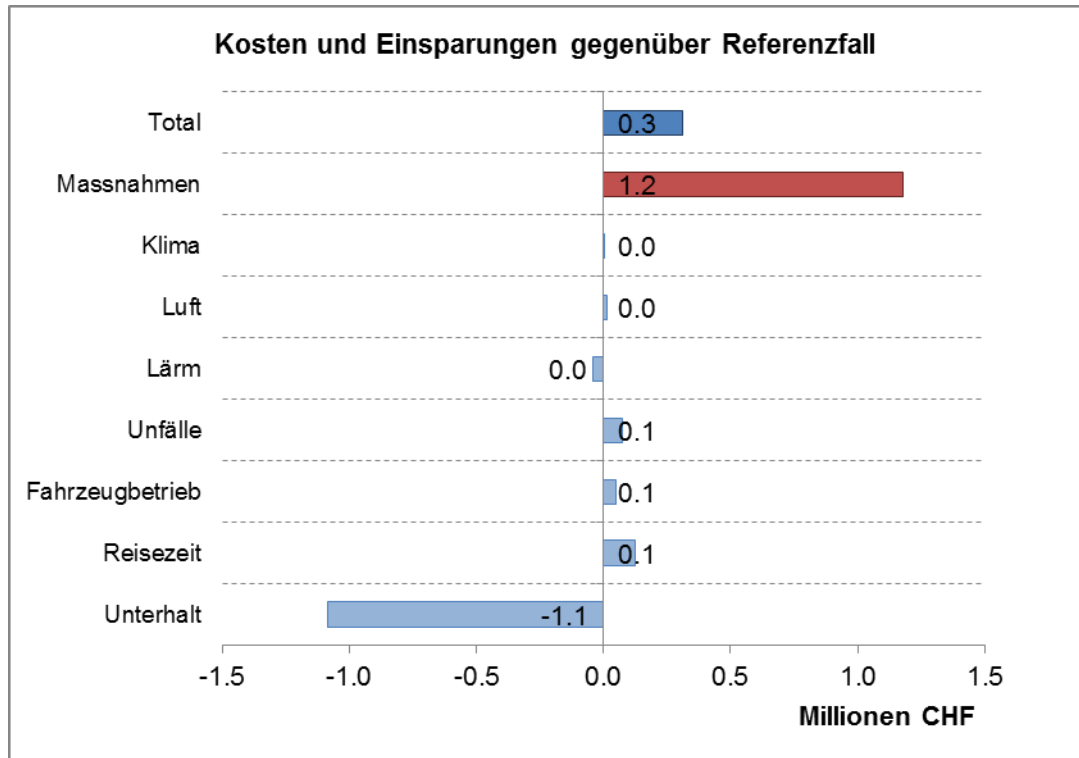


Abb. 3.30: Kosten und Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Gegenwartswert). Den Massnahmenkosten stehen nur Nutzen im Unterhalt gegenüber.

Diese beiden Wochen lagen in der Sommerferienzeit, so dass angenommen werden kann, dass nicht eine verkehrliche Spitzenbelastung berücksichtigt werden muss. Zudem konnten die Anwohner auch auf den öffentlichen Verkehr ausweichen. Es wurde angenommen, dass 12'000 Fahrzeuge täglich vom neuen Verkehrsregime betroffen waren. Weiter wurde angenommen, dass diese Fahrzeuge einen Umweg von 1km fahren mussten, was einer Verlängerung der Reisezeit von 1:30 Minuten bei einer angenommenen Geschwindigkeit von 40km/h entspricht. Dies sind sehr grobe Vereinfachungen, die aber auf Grund der komplexen Situation angebracht sind. Verkehrszahlen und Abschätzungen sind nicht in genügender Detaillierung vorhanden, so dass diese Abschätzungen als hinreichend angesehen werden müssen.

Die zwei Wochen dauernde Totalsperrung verursachte Kosten. Zusätzlich zu den Massnahmenkosten kommen Reisezeitkosten, höhere Fahrzeugbetriebskosten und auf Grund der längeren Wege auch höhere Unfallkosten hinzu. Ein geringer Nutzen kann bei den Unterhaltsarbeiten und geringfügig bei den Lärmkosten ausgemacht werden. Luft- und Klimakosten sind wie bei den übrigen Fallbeispielen praktisch vernachlässigbar. Insgesamt kann festgehalten werden, dass unter den getroffenen Annahmen kein positives Resultat ausgewiesen werden kann. Die Massnahme kostet volkswirtschaftlich gesehen mehr als sie bringt. Allerdings wurde hier nur der Strassenbau bewertet, nicht aber die Sanierung der Werkleitungen – und die Funktionstüchtigkeit dieser Leitungen hat ebenfalls einen Nutzen.

Falls die Werkleitungen nicht hätten erneuert werden müssen und die Erhaltungsarbeiten an der Fahrbahn dennoch ausgelöst worden wären, so hätte man zum Schluss kommen müssen, dass die Unterhaltsarbeiten zu früh angesetzt wurden. Mit den Arbeiten wurde zuviel bestehender Wert der Strassenanlage „vernichtet“, d.h. eine gebrauchstaugliche Strasse erneuert – ohne Not. Diese Wertvernichtung müsste von den Eigentümern der Werkleitungen als Kompensationszahlung für die von ihnen ausgelöste verfrühte Instandsetzung geleistet werden.

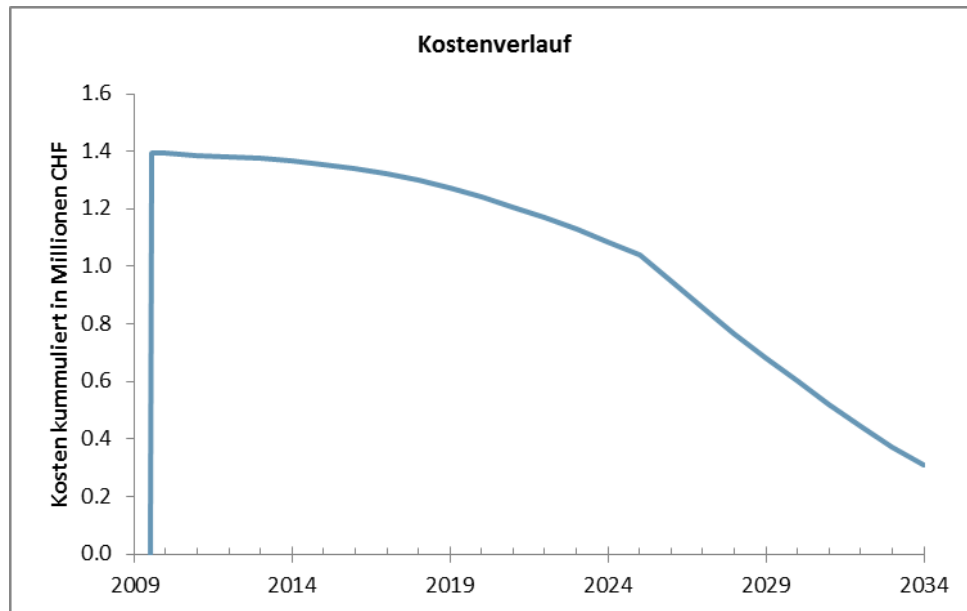


Abb. 3.31: Der Break-even wird innerhalb des gesetzten Zeitrahmens von 25 Jahren nicht erreicht.

3.8 Fallbeispiel 8

3.8.1 Situation

Auf dem betrachteten Autobahnabschnitt wurden über einen Zeitraum von zwei Jahren umfangreiche Unterhaltsmassnahmen durchgeführt. Die Autobahn verfügt in diesem Bereich über je drei Richtungsfahrstreifen. Neben Arbeiten an Lärmschutzwänden und an BSA-Einrichtungen, die hier nicht betrachtet werden, wurde auf der kompletten Strecke die Fahrbahn erneuert. Die Arbeiten erstreckten sich über einen Abschnitt von neun Kilometern und erfolgten in sechs Phasen, in denen jeweils Abschnitte à 1.5 km bearbeitet wurden.

Für die Durchführung der Massnahmen wurde ein umfangreiches Verkehrskonzept zusammen mit einem Informationskonzept für die Nutzer entwickelt. Mögliche Ausweichstrecken sind in Abb. 3.32 dargestellt. Da während der Arbeiten die Anzahl der Fahrstreifen in jede Richtung unverändert blieb, sind die Ausweichstrecken unter der Annahme, dass sich keine Staus bilden, in der Berechnung nicht massgebend.

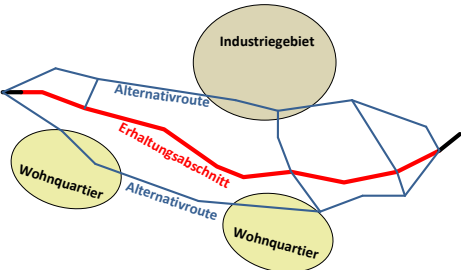
	Eckwerte Fallbeispiel 8
	Strasstyp: Autobahn
	Umgebung/Lage: Wohnquartiere und Industriegebiet in weiterer Umgebung
	Länge der Erhaltungsmassnahme: 9.0 km
	DTV (gerundet auf 1000): 65'000 Fahrzeuge
	Schwerverkehrsanteil: 10%

Abb. 3.32: Situationsskizze Erhaltungsabschnitt sowie Eckwerte Fallbeispiel 8

Der Strassenzustand wurde vor der Massnahme für die drei Fahrstreifen und je Abschnitt separat aufgenommen. Die Zustandswerte bewegten sich im mittleren Bereich, auf einigen Abschnitten waren jedoch insbesondere auf dem rechten Fahrstreifen deutlich schlechtere Zustandswerte zu verzeichnen (I_1 bis 3.8). Die detaillierten Zustandswerte wurden der Berechnung hinterlegt, werden hier aber nicht im Einzelnen dargestellt.

3.8.2 Massnahmendurchführung

Wie oben beschrieben erfolgte die Durchführung in sechs Phasen. Jede umfasste einen Zeitraum von ca. zwei Monaten, wobei die Belagsarbeiten pro Spur jeweils ca. zwei Wochen in Anspruch nahmen. Da der Fokus der Bewertung hier auf den Belagsarbeiten und ihren Einflüssen auf die Nutzer liegt, wurde in der Berechnung jeweils nur die Dauer dieser Arbeiten angesetzt.

Gleiches gilt für die Massnahmenkosten, bei denen auch nur der Anteil der Belagsarbeiten berücksichtigt wurde. Die Massnahmenkosten beliefen sich damit auf 830'000 CHF pro Abschnitt und Fahrstreifen.

3.8.3 Bewertung

Für den hier betrachteten Fall einer Erhaltungsmassnahme an einer Autobahn steht ein grosser Teil der für die Berechnung benötigten Daten zur Verfügung. Die Beschaffung der Daten sollte also auch in der praktischen Anwendung kein grösseres Problem sein.

Annahmen wurden zu den folgenden Punkten getroffen:

- Der DTV der Strecke war zwar bekannt, die Verteilung auf die einzelnen Fahrstreifen jedoch nicht. Aufgrund der stark unterschiedlichen Belastung wurden die Fahrstreifen separat betrachtet und die folgende Verkehrsverteilung angenommen:
 - Linke Spur: 45% der PKW, 0% der LKW
 - Mittlere Spur: 50% der PKW, 5% der LKW
 - Rechte Spur: 5% der PKW, 95% der LKW
- Die Zahl der von Lärm und sonstigen Emissionen Betroffenen wird abhängig vom jeweils betrachteten Abschnitt auf 100 bis 200 Personen geschätzt.
- Es wird von einer Erhöhung der Unfallzahlen um 10% während der Bauarbeiten und der damit verbundenen Einschränkungen des Verkehrs ausgegangen.
- Es wird davon ausgegangen, dass es nach der Massnahme keine Verkehrszunahme wegen gesteigerter Attraktivität der Strecke gibt.

Als problematisch für die praktische Anwendung ist in diesem Fall die Abschätzung der vom Lärm betroffenen Personen anzusehen. Im Gegensatz zum innerörtlichen Bereich ist hier schwierig abzuschätzen, wie gross der beeinflusste Bereich gewählt werden soll. Da die Lärmkosten aber eine nicht unerhebliche Rolle in der Berechnung spielen, hat diese Annahme durchaus Einfluss auf das Ergebnis der Berechnung.

Mit diesen Annahmen und den zuvor beschriebenen Rahmenbedingungen der Massnahmendurchführung ergeben sich die in Abb. 3.33 dargestellten Kosten im Planungs- und Referenzfall. Die dargestellten Kosten entsprechen der Summe aller sechs Abschnitte und jeweils aller drei Fahrstreifen.

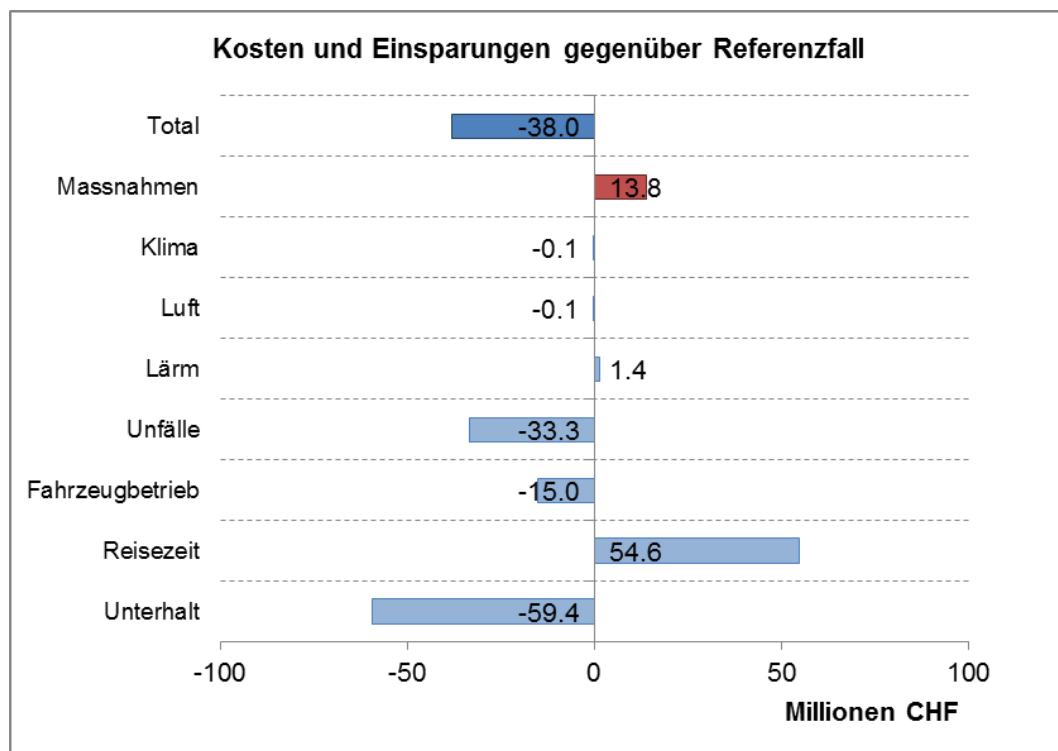


Abb. 3.33: Kosten und Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Gegenwartswert)

Die höchsten Kosten entstehen in diesem Fall bei der Reisezeit und den Fahrzeugbetriebskosten. Während bei den Fahrzeugbetriebskosten im Planungsfall eine Einsparung möglich ist, sind bei der Reisezeit die Zeitverluste während der Baumasnahme im späteren Verlauf der Betrachtung nicht mehr aufzuholen. Signifikante Kostenunterschiede bestehen ausserdem bei den Unterhaltskosten sowie bei den Unfallkosten. In beiden Fällen sind im Planungsfall Einsparungen möglich.

Damit ergibt sich der in Abb. 3.34 dargestellte Verlauf der kumulierten Kosten über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren (UPlaNS-Zyklus). Die Massnahme wird im Jahr sieben nach der letzten Zustandsaufnahme durchgeführt. Hier kommt es durch die Massnahmenkosten und die längere Reisezeit zunächst zu einer sprunghaften Erhöhung der Kosten. Aufgrund der sehr hohen Kosten während der Massnahmendurchführung wird der Break-even-Punkt erst im Jahr 22, also 15 Jahre nach Durchführung der Massnahme erreicht. Danach ist allerdings eine deutliche Kostenersparnis möglich. Über den gesamten Betrachtungszeitraum ergibt sich eine Kostenersparnis und damit Nutzen der Massnahmendurchführung von 38 Mio. CHF.

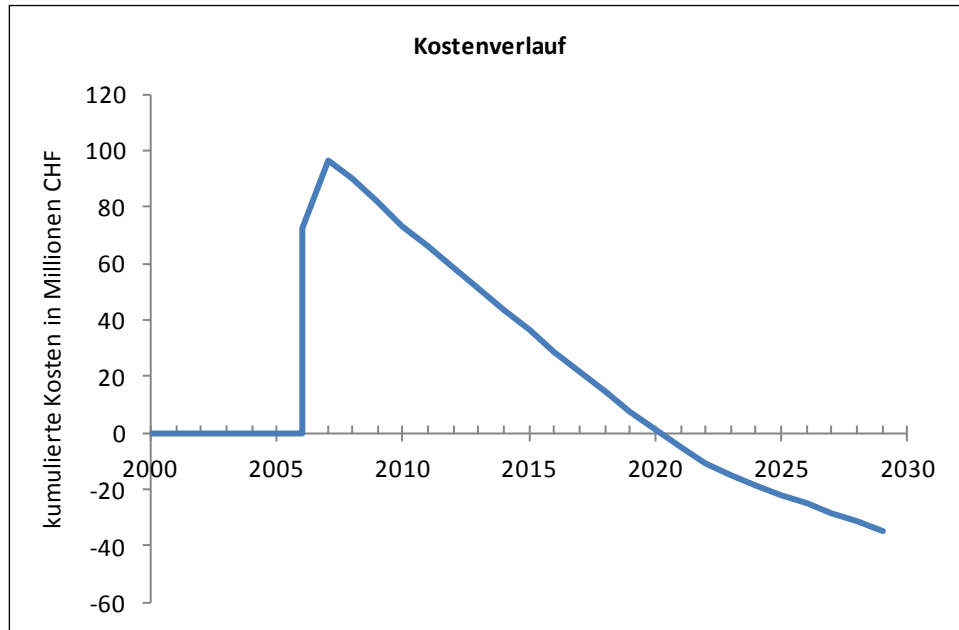


Abb. 3.34: Verlauf der kumulierten Kosten über den Betrachtungszeitraum

Teilt man das Gesamtergebnis wiederum auf die einzelnen Fahrstreifen auf, so zeigen sich grosse Unterschiede. Erwartungsgemäss ergibt sich für den rechten Fahrstreifen ein viel grösserer Nutzen als für die beiden anderen. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die erhöhte Reisezeit während der Massnahmendurchführung insbesondere bei der grossen Zahl der PKW, die fast ausschliesslich der linken und der mittleren Spur zugeordnet werden, zu hohen Kosten führt, zum anderen verläuft die Zustandsverschlechterung auf der rechten Spur sehr viel schneller, so dass hier im Referenzfall sehr schnell ein sehr schlechter Zustand erreicht wird.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse fallen insbesondere die folgenden Punkte auf:

- Bei den Unterhaltskosten entstehen insbesondere im Referenzfall recht hohe Kosten. Diese entsprechen nicht den gesamten Unterhaltskosten, sondern spiegeln nur die Erhöhung der Kosten bei sehr schlechtem Strassenzustand wieder. Zum einen ist die Höhe dieser erhöhten Unterhaltskosten zu hinterfragen, zum anderen ist der Fall, dass ein wirklich sehr schlechter Zustand erreicht wird (die Kostensteigerung wurde im Fallbeispiel bei $I_1 > 4.7$ angesetzt) insbesondere für Autobahnen als sehr theoretisch anzusehen.
- Bei mehrstreifigen Autobahnen ergeben sich je nach Fahrstreifen deutlich unterschiedliche Ergebnisse.
- Wie auch bei den anderen Fallbeispielen zeigt sich, dass die eigentlichen Massnahmenkosten eine sehr untergeordnete Rolle spielen, da andere Kostenanteile bis zu 100-fach höhere Werte erreichen. Es stellt sich daher die Frage, ob die Auswirkungen des Erhaltungsmanagements auf Nutzer und Dritte nicht zu hoch bewertet werden.

3.9 Fallbeispiel 9

3.9.1 Situation

In diesem Fallbeispiel wird ein ca. 16 km langer Autobahnabschnitt betrachtet, an dem über einen Zeitraum von zwei Jahren umfangreiche Instandsetzungsarbeiten durchgeführt wurden. Die Autobahn verfügt in diesem Bereich über je zwei Richtungsfahrstreifen. Für die Beispielberechnung werden lediglich die im Rahmen dieser Arbeiten durchgeführten Belagsarbeiten betrachtet. Dabei wurde auf der bestehenden Betonfahrbahn ein Asphaltbelag aufgebracht.

Der Strassenzustand wurde vor der Massnahme in den Indizes I_2 , I_3 und I_4 aufgenommen. Diese Zustandswerte lagen als Grundlage für die Beispielberechnung jeweils getrennt nach Fahrstreifen jeweils für Abschnitte von 100 Metern Länge vor. Die Zustandswerte bewegten sich in einem moderat verschlechterten Bereich mit Maximalwerten von $I_2 = 2.5$, $I_3 = 3.4$ und $I_4 = 1.8$. In weiten Bereichen lagen jedoch noch recht gute Zustandswerte vor.

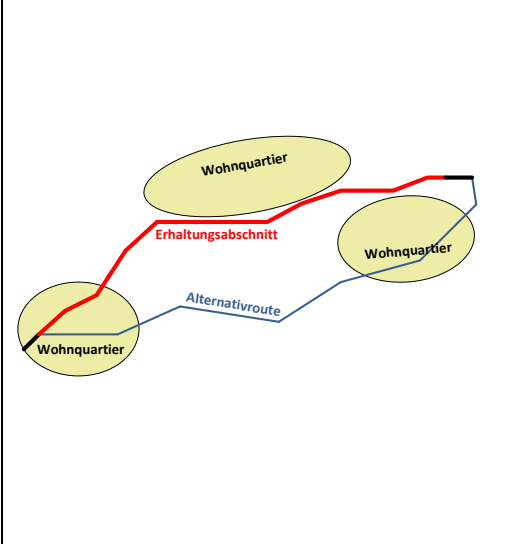
	Eckwerte Fallbeispiel 9
	Strassentyp: Autobahn
	Umgebung/Lage: Wohnquartiere teilweise in näherer Umgebung
	Länge der Erhaltungsmassnahme: 16.3 km
	DTV (gerundet auf 1000): 28'000 Fahrzeuge
	Schwerverkehrsanteil: 10%

Abb. 3.35: Situationsskizze Erhaltungabschnitt sowie Eckwerte Fallbeispiel 9

3.9.2 Massnahmendurchführung

Im Rahmen der Erhaltungsmassnahmen wurde ein Asphaltbelag auf die bestehende Betonfahrbahn aufgebracht. Die Arbeiten wurden in drei Abschnitten und jeweils nach Richtungsfahrbahnen getrennt zunächst in der einen und anschliessend in der anderen Fahrtrichtung durchgeführt.

Während der Bauarbeiten wurden jeweils zwei verengte Fahrstreifen in beide Richtungen offen gehalten. Im Baustellenbereich wurde die zulässige Geschwindigkeit auf 80 km/h reduziert. Unter diesen Voraussetzungen wurden mögliche Alternativstrecken für die Bewertung nicht massgebend.

Für die Berechnung im Fallbeispiel wurde für die Länge des einzelnen Baustellenabschnittes eine Baustellendauer von 5.3 Monaten angesetzt (16 Monate Gesamtdauer / 3 Abschnitte), da zwar jeweils nur eine Fahrtrichtung bearbeitet wurde, die Einschränkungen für die Nutzer aber immer beide Richtungen betrafen.

3.9.3 Bewertung

Bei einer derart umfangreichen Erhaltungsmassnahme an einer Autobahn erfolgen üblicherweise vorab eine umfangreiche Aufnahme des Ist-Zustands und eine umfassende Planung der Massnahmendurchführung. Dementsprechend steht eine gute Datengrund-

lage für die Bewertung der Massnahme und ihrer Auswirkungen auf Nutzer und Dritte zur Verfügung.

Annahmen wurden zu den folgenden Punkten getroffen:

- Zum Zustandsindex I_1 standen keine Daten zur Verfügung. Für die Berechnung wurde für I_1 ein Mittelwert der anderen Zustandsindizes angesetzt.
- Der DTV der Strecke war zwar bekannt, die Verteilung auf die einzelnen Fahrstreifen jedoch nicht. Aufgrund der stark unterschiedlichen Belastung wurden die Fahrstreifen separat betrachtet und die folgende Verkehrsverteilung angenommen:
 - Linke Spur: 70% der PKW, 5% der LKW
 - Rechte Spur: 30% der PKW, 95% der LKW
- Die Zahl der von Lärm und sonstigen Emissionen betroffenen wurde für den ganzen Abschnitt auf 2000 Personen geschätzt.
- Es wird von einer Erhöhung der Unfallzahlen um 10% während der Bauarbeiten und der damit verbundenen Einschränkungen des Verkehrs ausgegangen.
- Es wird davon ausgegangen, dass es nach der Massnahme keine Verkehrszunahme wegen gesteigerter Attraktivität der Strecke gibt.

Wie im Fallbeispiel 8 beschrieben, ist vor allem die Abschätzung der vom Lärm betroffenen Personen als kritisch anzusehen, weil damit die Lärmkosten direkt beeinflusst werden. Auf einem derart langen Abschnitt ist es ohne genauere Vorgaben, z.B. zum Radius der Beeinflussung, schwierig, eine gesicherte Abschätzung vorzunehmen.

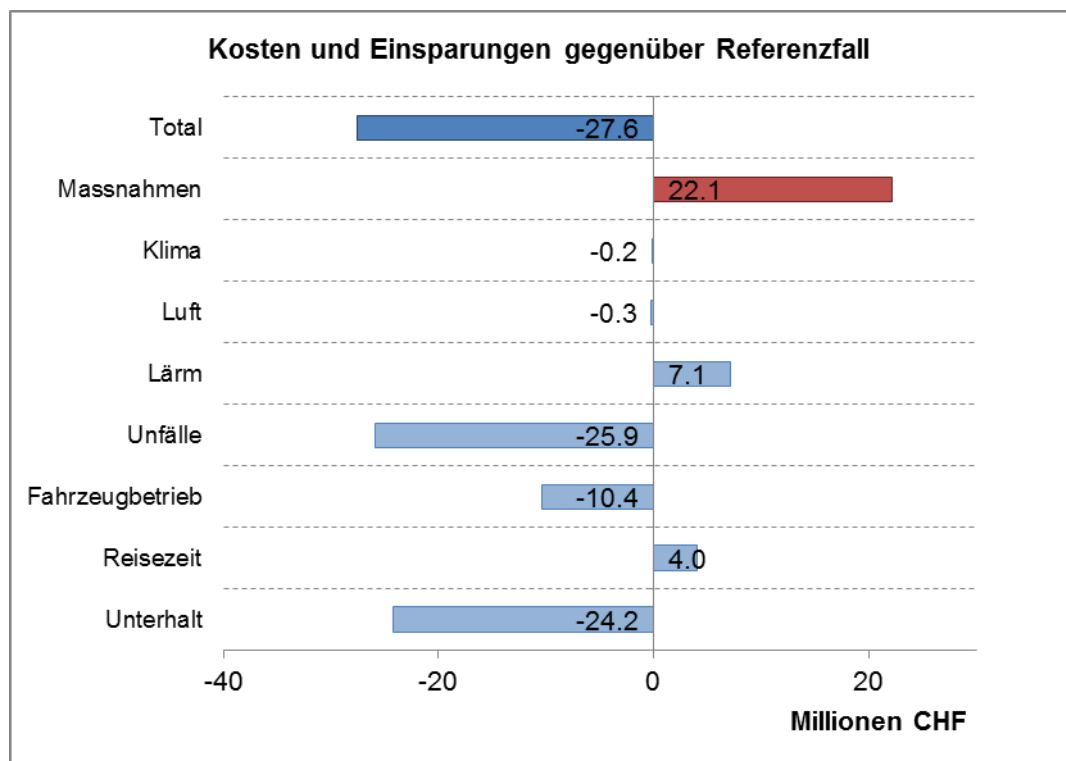


Abb. 3.36: Kosten und Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Gegenwartswert)

Mit diesen Annahmen und den zuvor beschriebenen Rahmenbedingungen der Massnahmendurchführung ergeben sich die in Abb. 3.36 dargestellten Kosten im Planungs- und Referenzfall über einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren. Die dargestellten Kosten entsprechen der Summe der drei Abschnitte und der jeweils 2 Richtungsfahrstreifen. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt ein ähnliches Bild wie im Fallbeispiel 8. Die absolut gesehen grössten Kostenblöcke stellen die Reisezeitkosten und die Fahrzeugbetriebskosten dar. In beiden Fällen ist der Unterschied zwischen den beiden Varianten aber prozentual gesehen eher gering, in absoluten Zahlen aber durchaus nicht zu vernachlässigen. Wiederum können die während der Massnahmendurchführung entstandenen erhöhten Reisekosten im späteren Betrieb nicht wieder hereingeholt werden. Dasselbe gilt für die Lärmkosten. Die Massnahmenkosten spielen zwar bei Betrachtung der Absolutwerte eine eher untergeordnete Rolle, da diese aber komplett eine Kostendifferenz darstellen, erkennt man beim Verlauf der kumulierten Kosten in Abb. 3.37 einen deutlichen Einfluss dieser Kostenkomponente. Der Break-even-Punkt wird im Jahr 16, also zwölf Jahre nach Durchführung der Massnahme erreicht.

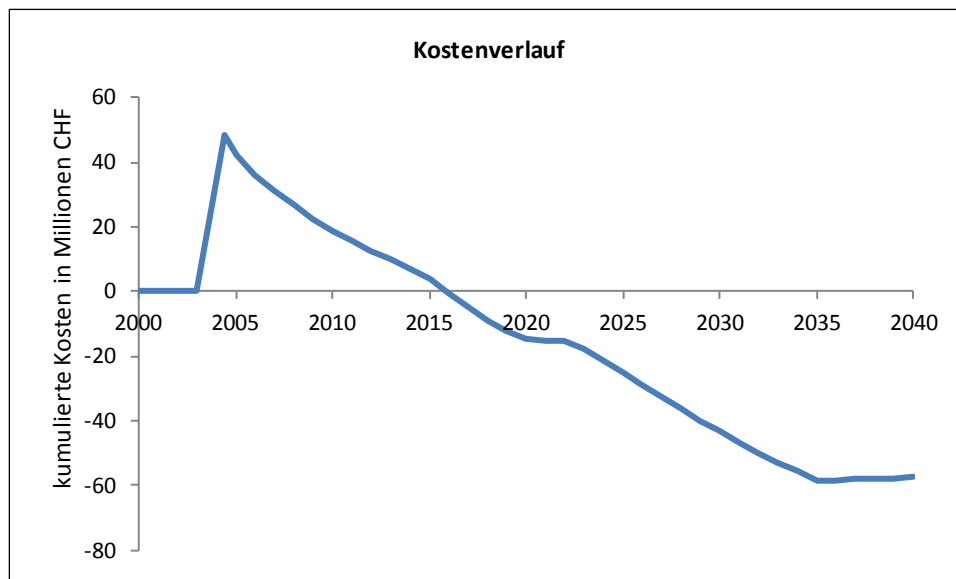


Abb. 3.37: Verlauf der kumulierten Kosten über den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren

4 Beurteilung der Ergebnisse

4.1 Abhängigkeit des Resultates von Zustandsprognosen

Ausschlaggebend für die Ergebnisse der Fallbeispiele sind nicht allein die Bewertungsmethoden, die in VSS 2004/714 und 715 entwickelt wurden, sondern auch die zeitlichen Änderungen der Zustandsindizes. Der Prognose des Strassenzustands kommt daher ein grosses Gewicht zu. Die standardisierten Werte führten in diesen neun Fallbeispielen nicht immer zu glaubwürdigen Ergebnissen und konnten somit nicht in allen Fällen übernommen werden. Die Zustandsprognosen wurden deshalb wo nötig angepasst und nicht vorhandene Zustandsmessdaten mit begründeten Annahmen ergänzt.

Erhaltungsmassnahmen, die die Griffigkeit (I_4) stark verbessern (z.B. von 2 auf 0), haben einen grossen Einfluss auf die Unfallkosten. Zusammen mit einem hohen Verkehrsaufkommen können die Nutzen aus verhinderten Unfällen und damit die gesunkenen Unfallkosten erheblich ausfallen. Je nach hinterlegter Prognose für die zeitliche Entwicklung der Griffigkeit können zusätzliche Nutzen/Kosten entstehen. Die Wahl des Ausgangswertes und der Einfluss der Erhaltungsmassnahme auf I_4 sind deshalb – nebst den Unfallraten – entscheidend, wie hoch die Unfallkosten ausfallen.

Funktionale Zusammenhänge zwischen Strassenzustand und Kosten von Erhaltungsmassnahmen sind zwar vorhanden, aber nicht immer genügend genau. Dabei sind mehrere Aspekte von Bedeutung. Einerseits hat der Strassenzustand einen Einfluss auf die Aufwendungen des betrieblichen Unterhalts und die Wahl der Erhaltungsmassnahmen, andererseits können nicht durchgeführte Reparatur- oder Instandhaltungsmassnahmen einen Einfluss auf den Verfall der Strassenanlage haben. So kann der Strassenzustand bei ungenügend unterhaltener Anlage schneller schlechter werden, als bei genügendem Unterhalt, was in Zukunft zu früheren bzw. umfangreicheren Erhaltungsmassnahmen führt. Weiter ist der Zusammenhang zwischen den zukünftigen betrieblichen Unterhaltskosten (insbesondere dem baulichem Unterhalt) und der Erhaltungsmassnahme noch nicht aussagekräftig genug.

4.2 Vergleich der Fallbeispiele

In den Fallbeispielen 1 und 2 wurde das Setup anders als in den Fallbeispielen 3 bis 9 gewählt. In diesen beiden Fallbeispielen wurde von einer neuwertigen Strasse ausgegangen (Top-Zustand), und es wurden verschiedene Strategien miteinander verglichen. In den anderen sieben Fallbeispielen bestand die Frage, ob auf Grund des Strassenzustandes einer Erhaltungsmassnahme angebracht ist oder nicht. In beiden Fällen wurden Kosten und Nutzen berechnet, die Aussagen zu den Fragestellungen liefern.

Dies zeigt, dass das Kosten-Nutzen-Berechnungs-Modell grundsätzlich auf verschiedene Fragestellungen Antworten liefern kann. Je nach Fragestellung sind aber die einzelnen Nutzen- und Kostenkomponenten unterschiedlich ausgeprägt. Während im ersten Fall während einiger Jahre keine Unterschiede zwischen den Strategien bestehen und die Differenzen erst spät auftreten, so werden im zweiten Fall v.a. die Behinderungen während der Erhaltungsmassnahme und die unmittelbar darauffolgenden Jahre bewertet. Gegen Ende des Betrachtungszeitraums, wo sich die Zustände zwischen Planungs- und Referenzfall angeglichen haben, treten die Unterschiede nicht mehr stark hervor.

Somit sind in den Fallbeispielen 1 und 2 z.B. die Unfallkosten sehr dominant, während sie in den anderen Fallbeispielen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Auf der anderen Seite sind die Unterhaltskosten (insbesondere die Extra-Unterhaltskosten, die eine Stilllegung verhindern) in den Fallbeispielen 1 und 2 nicht ausschlaggebend, während in den anderen Fallbeispielen diese Kosten- bzw. Nutzenkomponente von entscheidender Bedeutung ist.

Im Quervergleich der Fallbeispiele zeigt sich, dass die Strassennutzerkosten in ihren Absolutbeträgen eine sehr dominante Rolle einnehmen. Werden Referenzfall und Planungs-

fall miteinander verglichen, ist die Differenz aber in den meisten Fallbeispielen sehr gering, so dass eine Massnahme nicht unbedingt durch Einsparungen in den Nutzerkosten volkswirtschaftlich rentabel wird, sondern durch Einsparungen in den Betreiberkosten; ausgelöst durch die verminderten Unterhaltsaufwendungen dank besserem Strassenzustand gegen Ende des Betrachtungszeitraums. Eine Unterhaltsstrategie hingegen rechtfertigt sich gemäss dieser Methodik v.a. durch die verminderten Nutzerkosten.

Dies lässt sich dadurch erklären, dass den Ergebnissen unterschiedliche Anfangswerte und Verlaufskurven der Zustandsindizes zu Grunde liegen. Es ist darum sehr wichtig bei der Anwendung der Methodik darauf zu achten, dass die Anfangswerte und prognostizierten Verläufe der einzelnen Zustandsindizes richtig gewählt werden.

4.2.1 Reisezeiten

Unterschiede in den Reisezeitkosten sind auf zwei Ursachen zurückzuführen. Erstens die direkte Abhängigkeit der Reisezeit vom Strassenzustand und zweitens die indirekte Abhängigkeit von Anpassungen in der Kapazität.

Unterschiede in den Zeitkosten können dadurch entstehen, dass die Kapazität auf dem Erhaltungsabschnitt nicht immer gleich gross ist. Wird während einer Massnahme die Strasse teilweise oder total gesperrt, weichen die Fahrzeuge entweder auf eine Alternativroute aus, oder müssen mit erheblichen Zeiteinbussen auf dem Erhaltungsabschnitt rechnen (Umfegfahrten bzw. verringerter Verkehrsfluss). Da im Referenzfall keine Erhaltungsmassnahmen eingeplant werden, stellen Reisezeiteinbussen während der Dauer der Erhaltungsmassnahme im Planungsfall immer zusätzliche Kosten dar. Hierbei wird vernachlässigt, dass auf Grund von betrieblichen Unterhaltsarbeiten die Strasse eventuell auch im Referenzfall nur eingeschränkt befahrbar ist. Somit lassen sich Unterschiede in den Reisezeitkosten, die auf das Verkehrsgeschehen auf der Strassenanlage selbst zurückzuführen sind, eindeutig erklären. Diese Kosten müssen durch die Massnahme und den verbesserten Strassenzustand zuerst ausgeglichen werden, bevor später ein Nutzen durch die Erhaltungsmassnahme und den entsprechend besseren Zustand erreicht werden kann.

Einsparungen in den Reisezeitkosten sind allerdings auch durch Verschiebungen der Verkehrsmengen (gestiegene Attraktivität nach der Erhaltungsmassnahme) möglich (z.B. Fallbeispiel 4). Diese Verlagerungseffekte sind schwierig abzuschätzen; dennoch können Einsparungen in den Reisezeitkosten auch dadurch entstehen. Wichtig ist hier, dass die Reisezeitkosten des verlagerten Verkehrs im Referenzfall ebenfalls mit berücksichtigt werden müssen.

Auf der anderen Seite beeinflusst der Zustand bzw. der Zustandsverlauf von I_2 die Geschwindigkeit, mit der die Fahrzeuge den Strassenabschnitt passieren. Hohe Werte von I_2 verlangsamen die Fahrzeuge, wodurch die Fahrt länger dauert und so höhere Zeitkosten entstehen. Sind die Unterschiede in Planungs- und Referenzfall gering (auch über die Zeit gesehen), so entstehen nur geringe Unterschiede in den Zeitkosten auf Grund des Strassenzustandes. Deshalb sind der Verlauf und der Einfluss der Erhaltungsmassnahme (Rücksetzwert) auf I_2 und der Zustandslevel am Anfang des Betrachtungszeitraums wichtig für die Zeitkosten.

In den Fallbeispielen ist zu sehen, dass diese drei Aspekte - Kapazitätsunterschiede, Verkehrsmengen und Zustand/Zustandsprognose – unterschiedlich ausgeprägt auftreten. Im untergeordneten Strassennetz sind auf Grund des oft viel geringeren Verkehrs und der kurzen Dauer der Beeinträchtigungen die Reisezeitkosten während der Baumasnahmen nicht ausgeprägt (Fallbeispiele 1 bis 4, 6 und in geringem Ausmass auch 7). Durch den verbesserten Fahrbahnzustand nach der Erhaltungsmassnahme können zukünftig Einsparungen erzielt werden, die meistens die Kosten, die während der Erhaltungsmassnahme entstehen, wieder aufheben. In Fallbeispiel 7 ist die Strasse vor der Erhaltungsmassnahme noch in so gutem Zustand, dass sich die Erhaltungsmassnahme nicht wesentlich auf die Zeitkosten auswirkt. Insofern entstehen in Fallbeispiel 7 im Planungsfall Reisezeitkosten während der Erhaltungsmassnahme, die später durch den besseren Zustand gegenüber dem Referenzfall nicht mehr aufgeholt werden können (Zu-

standsdifferenz Planungsfall – Referenzfall ist zu klein).

Im Fallbeispiel 5 mit viel Verkehr auf einer Durchgangssachse im untergeordneten Strassennetz oder in den Fallbeispielen 8 und 9 (Nationalstrassenabschnitte), sind auf Grund der weiträumigen Beeinträchtigungen bzw. der deutlich reduzierten Geschwindigkeiten erhebliche Zeiteinbussen zu verzeichnen. Diese Beeinträchtigungen sind so gross, dass auch hier durch den verbesserten Fahrbahnzustand im Planungsfall im späteren Verlauf die Einbussen während der Erhaltungsmassnahme nicht mehr eingeholt werden können.

Abschliessend lässt sich festhalten, dass die Reisezeitkosten im Erhaltungsmanagement erst dann eine signifikante Rolle spielen, wenn

- viele Verkehrsteilnehmer betroffen sind bzw. die Umwegfahrten lang sind
- die Dauer der Beeinträchtigungen lange ist
- die Erhaltungsmassnahme einen wesentlichen Einfluss auf I_2 hat.

Sind diese Bedingungen nicht gegeben, so spielen die Reisezeitkosten eine untergeordnete Rolle.

4.2.2 Unfallkosten

Unfallkosten sind je nach Beispiel sehr stark gewichtet. Dies hat in erster Linie mit dem Verlauf des Zustandes von I_4 zu tun. Wird die Strasse auch im Referenzfall bzgl. Griffigkeit als sehr gut beurteilt, so dauert es entsprechend lange, bis die Strasse in einen schlechten und damit unfallkostenmässig teureren Zustand rutscht und so Differenzen zum Planungsfall entstehen.

Kleine Veränderungen in den Annahmen bzgl. I_4 und dessen Verlauf zeigen differenzierte Bilder zu den Unfallkosten. Bei hohen Verkehrsaufkommen können die Annahmen entscheidenden Einfluss auf das Gesamtergebn haben. Ist die Strasse im Referenzfall bereits heute bzgl. ihrer Griffigkeit in schlechtem Zustand, so sind die relativen Kosten bzw. Nutzen von Erhaltungsmassnahmen enorm. Fallbeispiele 1 und 2 zeigen eindrücklich, wie gross die durch die Berechnung ausgewiesenen Kostendifferenzen pro Jahr sein können. Die beiden Beispiele zeigen aber auch, dass die Griffigkeit stetig abnimmt und die Kostendifferenzen zwischen Planungs- und Referenzfall ebenfalls von Jahr zu Jahr abnehmen. Es ist deshalb wichtig, dass der Anwender der Methodik die Verläufe aller Zustandsindizes genau überprüft und gegebenenfalls an die vorliegende Situation anpasst. Im Einzelfall kann es durchaus plausibel sein, dass die Griffigkeit schnell abnimmt; im Normalfall und insbesondere im untergeordneten Strassennetz ist dies jedoch wohl in der Realität nicht zutreffend.

Differenzen in den Unfallkosten können auch dadurch entstehen, dass die Unfallraten während der Durchführung der Erhaltungsmassnahmen ändern. Auf der Nationalstrasse gibt es verschiedene Hinweise, wie sich das Unfallgeschehen im Baustellenbereich verändert (z.B. [26], [27], [28], [29], [30]); meist kommt es zu Mehrunfällen, durch die reduzierte Geschwindigkeit sind sie aber oft weniger schwer. Unfallursachen sind aber meist nicht im Strassenzustand zu suchen, sondern in der Geschwindigkeit der Fahrzeuge, dem Alkoholeinfluss und der Übersichtlichkeit.

Abschliessend lässt sich festhalten, dass die Unfallkosten im Erhaltungsmanagement erst dann eine signifikante Rolle spielen, wenn

- Unfallschwerpunkte durch die Erhaltungsmassnahme behoben werden
- die Erhaltungsmassnahme eine wesentliche Verbesserung der Griffigkeit I_4 bewirkt und der Strassenabschnitt mit hohen Geschwindigkeiten passiert wird
- während der Durchführung der Erhaltungsmassnahme signifikante Veränderungen in den Unfallraten zu erwarten sind bzw. Verlagerungen ins untergeordnete Strassennetz.

4.2.3 Fahrzeugbetriebskosten

In absoluten Zahlen können bei entsprechenden Verkehrsaufkommen auch die Fahrzeugbetriebskosten beachtlich sein. Allerdings sind sie in der Relation Planungsfall zu Referenzfall meistens nicht entscheidend. Signifikante Differenzen in den Fahrzeugbetriebskosten sind auf längere Fahrzeiten oder/und längere Wege zurückzuführen.

Ihre alleinige Abhängigkeit der Fahrzeugbetriebskosten von I_2 ist allerdings zu diskutieren – insbesondere im untergeordneten Strassennetz. Unebenheiten in Längsrichtung im untergeordneten Strassennetz haben einen anderen Einfluss als dieselben Unebenheiten auf einer Autobahn. Insofern ist zu überlegen, ob nicht weitere/andere Abhängigkeiten modelliert werden sollen.

Interessant sind die Fahrzeugbetriebskosten in den Fallbeispielen 8 und 9. Sie weisen ein anderes Vorzeichen auf als die Reisezeitkosten. Diese beiden Beispiele machen deutlich, dass die Fahrzeugbetriebskosten auch von der Geschwindigkeit abhängen. Bei höheren Tempi ist der Treibstoffverbrauch ungleich höher als bei niedrigeren Geschwindigkeiten. In dieser Hinsicht unbeachtet ist allerdings Stau: In Stausituationen (z.B. vor Lichtsignalanlagen oder wegen Verkehrsüberlastung auf Nationalstrassen) ist der Treibstoffverbrauch besonders hoch, was durch das bestehende Modell aber nicht berücksichtigt wird.

Fahrzeugbetriebskosten spielen auch da eine Rolle, wo nach der Erhaltungsmassnahme zusätzlicher Verkehr auf dem Erhaltungsabschnitt zu erwarten ist. Durch weniger Wegstrecken und besseren Ausbau werden Kosten gespart (z.B. Fallbeispiel 4).

Abschliessend lässt sich festhalten, dass die Fahrzeugbetriebskosten im Erhaltungsmanagement erst dann eine signifikante Rolle spielen, wenn

- Verkehrsverlagerungen oder umfangreiche Umwegfahrten über eine längere Zeitspanne stattfinden
- die Geschwindigkeit über einen längeren Abschnitt und/oder längeren Zeitraum deutlich angepasst wird.

4.2.4 Betreiberkosten

Die teilweise hohen Betreiberkosten sind stark davon abhängig, in welchem Mass zusätzliche Kosten für die Extra-Erhaltung anfallen, falls die Strasse auf bescheidenem Niveau (einzig ausgedrückt durch Zustandsindex I_0) betrieben wird. Geringe Änderungen in den Annahmen oder Kostensätzen haben hier entscheidenden Einfluss. In vielen Beispielen gerade im untergeordneten Strassennetz konnten Erhaltungsmassnahmen nur dadurch begründet werden, dass die Folgekosten im Unterhaltsbereich sonst sehr hoch ausfallen würden. Diesen zusätzlichen Unterhaltsaufwendungen kann man entgegenwirken, indem die Erhaltungsmassnahmen zu einem optimalen Zeitpunkt durchgeführt werden. In den meisten der obigen Fallbeispiele konnten so Einsparungen auf lange Sicht erzielt werden.

Fallbeispiel 7 zeigt auch, dass eine zu frühe Intervention und damit eine Vernichtung von Restwerten zu einem negativen Gesamtergebnis führen kann. Eine Abschätzung der Folgekosten für die Betreiber ist deshalb unerlässlich. In der bestehenden Methodik hat eine Erhaltungsmassnahme keinen Einfluss darauf, welche und in welchem Umfang weitere Erhaltungsmassnahmen durchgeführt werden müssen. Sie hat ebenfalls keinen Einfluss darauf, wie sich der Zustand in Zukunft verändern wird.

Abschliessend lässt sich festhalten, dass die Betreiberkosten im Erhaltungsmanagement erst dann eine signifikante Rolle spielen, wenn

- im Referenzfall die Strassenanlage bzgl. I_0 auf einem schlechten Niveau betrieben werden muss
- die Massnahmenkosten sehr hoch sind
- die Massnahme zu einem ungünstigen (meist zu frühen) Zeitpunkt erfolgt.

Sind diese Bedingungen nicht gegeben, so spielen die Betreiberkosten eine untergeordnete Rolle.

4.2.5 Umweltkosten

In den meisten Fällen spielen die Umweltkosten nur eine geringe Bedeutung. Erst wenn innerorts Alternativrouten durch Wohnquartiere geführt werden und der Erhaltungsabschnitt stark befahren ist, können erhebliche Lärmkosten entstehen. In den meisten Fällen werden aber kaum Quartierstrassen temporär zu Hauptverkehrsachsen, so dass auch der Lärm nur in speziellen Fällen berücksichtigt werden muss.

Die beiden übrigen Umweltbereiche Klima und Luftverschmutzung sind für Erhaltungsmassnahmen nebensächlich, für ein ganzheitliches Bild aber nicht vernachlässigbar.

4.3 Sensitivität der Ergebnisse

Die Ergebnisse unterliegen einer gewissen Unsicherheit. Diese Unsicherheiten bestehen aus verschiedenen Komponenten, wobei nicht jede Komponente gleich ins Gewicht fällt.

In absoluten Beträgen sind die Reisezeitkosten meist sehr gross. Die Zeit, die ein Fahrzeug braucht um den Erhaltungsabschnitt bzw. die Alternativroute zu passieren, ist entscheidend. Diese Zeit wiederum wird im Modell massgeblich durch die gefahrene Geschwindigkeit bestimmt. Einflüsse auf diese Geschwindigkeit haben einerseits der Zustand (ausgedrückt durch I_2) und andererseits Verkehrsaufkommen, Kapazität und freie Geschwindigkeit. Bei hohem Verkehrsaufkommen (DTV) multipliziert sich dann diese Zeitdifferenz sehr rasch auf eine beachtliche Differenz. Dazu ein kleines Beispiel: wird die Fahrzeit pro Fahrzeug um 15 Sekunden tiefer eingeschätzt (entspricht beispielsweise bei einer 12 km langen Strecke einer Geschwindigkeitseinschätzung von 65.46 km/h anstatt 60 km/h), so ergeben sich daraus bei einem DTV von 30'000 Fahrzeugen pro Jahr knapp 11 Mio. Minuten oder etwa 180'000 Stunden. Wird die Reisezeit mit 20 CHF/h veranschlagt, so beträgt die Kostendifferenz nach einem Jahr 3.6 Mio. CHF – eine beachtliche Summe im Vergleich zu den Massnahmenkosten, die im untergeordneten Strassennetz oft „nur“ einige hunderttausend bis wenige Millionen Franken betragen.

Die Wahl der Parameter, welche die Reisezeit beeinflussen, muss deshalb genügend sorgfältig getroffen werden; insbesondere die Geschwindigkeiten sind so anzupassen, dass die Fahrzeiten ungefähr stimmen. Hier ist erhebliches Spezialwissen und u.U. eine Verkehrsmodellierung gefragt, denn es muss schlussendlich der gesamte Zeitverlust für alle Fahrzeuge korrekt sein.

Unfall- und in geringerem Mass auch Fahrzeugbetriebskosten können ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf das Gesamtergebnis erhalten, wenn der entsprechende Strassenzustand (I_2 bzw. I_4 in diesem Fall) schlecht und die Differenz zwischen Planungs- und Referenzfall entsprechend gross ist. Gerade im untergeordneten Strassennetz ist der Einfluss auf die Kosten und Nutzen allerdings als gering einzustufen. Durch eine begründete Wahl der entsprechenden Parameter kann man – nicht so stark wie bei der Reisezeit – das Ergebnis ebenfalls beeinflussen.

Häufig werden die Erhaltungsmassnahmen dadurch gerechtfertigt, dass in Zukunft weniger Unterhaltskosten anfallen. In den Fallbeispielen wurde deshalb ein Schwellwert verwendet, ab dem zusätzliche Unterhaltsaufwendungen mit Erhaltungscharakter entstehen. Dieser Wert kann im Modell aber angepasst werden; es stellt sich nur die Frage, wie

hoch. Bereits bei geringfügiger Erhöhung fallen deutlich geringere zusätzliche Unterhaltskosten an und die Rentabilität der Erhaltungsmassnahme kann dadurch von „volkswirtschaftlich sinnvoll“ zu „volkswirtschaftlich nicht mehr rentabel“ verändert werden. Dem Referenzfall bzw. der Referenzstrategie kommt so eine immense Bedeutung zu. Es ist deshalb zu diskutieren, ob eine andere Referenzstrategie als eine „Nichtstun“-Strategie gewählt werden muss.

4.4 Lücken in der Methodik

Einzelne Faktoren können nur ungenügend eingefangen werden:

- Ist nicht der Strassenzustand allein für die Wahl einer Massnahme ausschlaggebend, so weist das Modell Lücken in der Beurteilung auf. In Fallbeispiel 7 wurden Werkleitungen erneuert (auslösender Faktor) und nur auf Grund dieser Arbeiten wurden Erhaltungsmassnahmen an der Strassenanlage durchgeführt. Wäre allein der Strassenzustand entscheidend gewesen, so wäre die Massnahme (viel) zu früh erfolgt. Es ist deshalb notwendig in diesem Fall dem Ersatz der Werkleitungen einen Nutzen zuzuordnen bzw. den vorhandenen, aber durch die Massnahmen vernichteten Restwert der Strassenanlage nicht dem Betreiber anzulasten.
- Unfallzahlen sind auf dem untergeordneten Strassennetz selten vorhanden. Aus Sicht der Praktiker ist hier darauf hinzuweisen, dass die Unfälle nicht homogen über das gesamte Strassennetz auftreten, sondern eher punktuell. Wird ein Strassenabschnitt betrachtet, der keinen solchen Punkt mit erhöhtem Unfallrisiko beinhaltet (wie alle obigen Fallbeispiele), so werden die Unfallkosten überschätzt (z.B. Fallbeispiel 6). Der Einfluss der Griffigkeit auf die Unfallraten im untergeordneten Strassennetz ist kritisch zu begutachten.
- Die Unfallkosten bzw. Unfallraten während der Bauausführung bergen ebenfalls ein Risiko der Unter- bzw. Überschätzung der Unfallkosten. Der Betreiber kann durch ein gutes Informations- und Umleitungsmanagement einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Unfälle leisten. Dieser Umstand kann in der vorhandenen Methodik nur ungenügend berücksichtigt werden. Eine differenziertere Handhabung der Unfallkosten ist deshalb erstrebenswert, bedingt aber umfassendere Eingaben oder gut begründete Annahmen.
- Komplexe Verkehrssituationen und Umleitungen sind kaum erfassbar. Aus dieser Sicht ist die Methodik entweder nicht genau genug (weitere entscheidende Details müssten eingearbeitet werden können wie in Fallbeispiel 5) oder aber zu genau (indem es auf einzelne Aspekte fokussiert, z.B. Fallbeispiel 6). Der optimale Detaillierungsgrad ist mit einem einzigen und einheitlichen Modell für alle Strassentypen schwierig zu treffen. Eine Differenzierung der Erhaltungsmassnahmen nach deren verkehrlichen Auswirkungen während der Durchführung ist angezeigt. Allenfalls ist die Methodik so zu ergänzen, dass nicht eine Alternativroute betrachtet wird, sondern Zeitverluste und Verkehrsverlagerungen generell separat ausserhalb der Methodik berechnet werden und dann als Eingabe und Zusatzkosten/Zusatznutzen einberechnet werden.
- Der Einfluss der Lärmkosten in dicht bebautem Gebiet ist gemäss den Berechnungen nicht unerheblich (z.B. Fallbeispiel 6). Allerdings sind die absoluten Kosten überraschend hoch, so dass hier über eine Überarbeitung des Lärmkostenmodells nachgedacht werden kann.
- Die Referenzstrategie „Nichtstun“ ist in der Praxis der Fahrbahnerhaltung typischerweise nicht zu beobachten. Aus Sicht der Praktiker ist nicht die Frage entscheidend, *ob* eine Massnahme durchgeführt wird, sondern *wann* sie durchgeführt wird. Die bestehende Referenzstrategie führt für die Fahrbahnerhaltung zu erklärungsbedürftigen Nutzen einer Erhaltungsstrategie (z.B. Fallbeispiele 1 und 2).

4.5 Einfluss auf die Normen

Das neu gewonnene Wissen aus diesen Fallbeispielen ist in die Überarbeitung der Gesamtkostennorm SN 641 907 eingeflossen. Allerdings wurde diese Norm nicht in Abhängigkeit des Strassenzustandes verfasst. Dennoch konnten Erkenntnisse v.a. bei den Nut-

zerkosten und den Kosten Dritter in die Formulierungen und Abläufe, wie sie in der Gesamtkostennorm beschrieben wurden, eingefügt werden.

Die Abhängigkeit der Kosten und Nutzen vom Strassenzustand ist ein sehr zentrales aber auch kontroverses Thema, wie obige Diskussion zeigt. Es ist deshalb davon abzuraten, diese Methode, so wie sie momentan besteht, in einer eigenen Norm festzuschreiben. Zu gross sind die Unsicherheiten v.a. auch im untergeordneten Strassennetz.

Es ist vorgesehen im Erhaltungsmanagement eine neue Normenfamilie zu verfassen. In dieser Hinsicht gibt die durchgeführte Studie wertvolle Hinweise auf Lücken.

5 Fazit

Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass die Modelle aus 2004/711-715 durchaus sinnvolle Ergebnisse liefern, wenngleich bei den Inputs sehr grosse Sorgfalt angebracht ist.

Wichtige Faktoren bei der Bewertung von Erhaltungsmassnahmen werden im Folgenden aufgeführt und diskutiert. Dabei werden die Aussagen in 3 Kategorien unterteilt:

- Bewertungsmethodik
- Sicht des Praktikers
- Forschungsbedarf

5.1 Bewertungsmethodik

Die Bewertungsmethodik lässt es zu, dass ganz unterschiedliche Aspekte beurteilt werden können. Sie ist für alle Strassentypen einsetzbar und es zeigte sich, dass sie grundsätzlich zu sinnvollen Resultaten führt. Die Methodik ist sehr breit gefasst, so dass viele auftretende Situationen erfasst werden können – durch Eingabe der Inputs und Parameter kann die Berechnung entsprechend beeinflusst werden. Da auch der Zustandsverlauf in der Methodik parametrisiert ist, können Annahmen und Experteneinschätzungen zum künftigen Verlauf modelliert werden. Kostenparameter wurden aus den Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse SN 641 820ff. übernommen, können aber ebenfalls geändert werden, wenn besser passende Werte bekannt sind (z.B. Kosten der betrieblichen Unterhaltsarbeiten).

Die Bewertungsmethodik ist allerdings komplex, da die zahlreichen Inputs die Nutzen und Kosten in vielerlei Hinsicht beeinflussen können. Es werden viele Angaben benötigt, teilweise Messdaten, teilweise Parameter, mit denen die Ergebnisse ebenfalls beeinflussbar sind. Im Erhaltungsmanagement und in der Planung von Erhaltungsprojekten sind ein Teil dieser Angaben aber schlichtweg nicht bekannt. So wird auf dem untergeordneten Strassennetz der Zustand nicht systematisch erhoben und die zustandsbeschreibenden Indizes $I_0/I_1, \dots, I_5$ fehlen entweder ganz oder sind nur deskriptiv bzw. nur teilweise vorhanden. Insbesondere die technisch aufwendigere Bestimmung von I_2 bis I_5 führt dazu, dass im untergeordneten Strassennetz diese Indizes oft nicht vorhanden sind (siehe auch Kapitel 5.2).

So vielfältig die Bewertungsmethodik auch ist, sie stösst bei umfangreichen Vorhaben an ihre Grenzen bzw. die Datenaufbereitung zur Verwendung der Methodik ist sehr aufwändig. Werden Erhaltungsabschnitte über verschiedene Strassentypen mit unterschiedlichen Verkehrsstärken, unterschiedlichen Erhaltungsmassnahmen und unterschiedlichen zukünftigen Zustandsverläufen gebildet, so müssen die entsprechenden Werte extern gemittelt und homogenisiert werden, bevor sie verwendet werden können. Die Methodik geht von homogenen Erhaltungsabschnitten und Erhaltungsmassnahmen aus. Erhaltungsabschnitte über eine längere Distanz, über die auch der Charakter der Strasse wechselt (Wohnquartier, Industrieareale, Landstrasse, Nationalstrasse), können nur behelfsmässig abgebildet werden. Geschwindigkeitsänderungen können mit Hilfe von Durchschnittsgeschwindigkeiten über die gesamte Distanz abgebildet werden, sich ändernde Verkehrsstärken müssen ebenfalls gemittelt werden, etc. Der Verkehr und seine Auswirkungen können sich in der Realität über den gesamten Abschnitt hinweg stark verändern, so dass die Kenntnisse zur Bewertungsmethodik sehr genau sein müssen, damit gewisse verkehrliche Aspekte und Effekte abgebildet werden können. Zwar können Erhaltungsmassnahmen mit Ausbaucharakter durch die Methodik abgebildet werden (Änderung der Kapazität); aber auch in diesem Fall gilt, dass die verkehrlichen Auswirkungen extern erfasst werden müssen und danach die entsprechenden Angaben in die Methodik übernommen werden müssen.

Staubildung und erhebliche verkehrliche Auswirkungen während der Durchführung von Erhaltungsmassnahmen können berücksichtigt werden; allerdings sind dazu wiederum

umfassende externe Berechnungen (Verkehrsmodelle, Verkehrssimulationen) durchzuführen. Insbesondere die Reisezeit kann durch Angabe der Kapazität, Geschwindigkeit und des Verkehrsaufkommens mit entsprechenden Eingaben beeinflusst werden; es ist aber aufwändig z.B. Stau zu Spitzenstunden in die Bewertung einfließen zu lassen. Auf der Umfahrroute (alternativen Strecke) gilt hingegen immer dieselbe Geschwindigkeit und Reisezeit. Dem Bewertungsmodell liegt kein Verkehrsmodell oder Verkehrssimulation zu Grunde; entsprechende Inputs müssen separat berechnet und in die Methodik eingefügt werden. Komplexe Verkehrslenkungsmassnahmen, wie sie typischerweise bei Erhaltungsmassnahmen auf stark befahrenen Kantons- und Gemeindestrassen zum Tragen kommen, lassen sich mit einer alternativen Umfahrroute nicht überzeugend modellieren. Insbesondere in zentrumsnahen Gebieten, sind Alternativrouten nicht evident. Verkehrsströme können in der Realität grossräumig umgeleitet werden, oder es bestehen Einspurabschnitte, so dass der Verkehr teilweise die alte Route und teilweise neue Routen befahren kann.

Der Zustand eines Erhaltungsabschnitts ist v.a. im untergeordneten Strassennetz selten gleichmässig. Dies führt dazu, dass nicht eine Massnahme durchgeführt wird, sondern mehrere verschiedene, die auf den jeweils betroffenen Erhaltungsabschnitt zugeschnitten sind. Die Kosten können aber nicht gesondert ausgewiesen werden und eine Verschiebung einer Massnahme kann kaum beurteilt werden, da in Zukunft die ursprünglich geplante Massnahme nicht mehr adäquat erscheint.

Momentan wird eine Erhaltungsstrategie dem Referenzfall „Mach bloss das Minimum“ gegenübergestellt. In der Praxis gibt es so einen Referenzfall nicht, da die Strassenanlagen in der Schweiz unterhalten und erneuert werden, bevor der Zustand sehr schlecht oder sogar kritisch ist (I_x im Bereich von 4 bis 5). Insofern stellt die Bewertungsmethodik eine Situation dar, die real gar nicht existiert. Durch zweimaliges Anwenden der Methodik und der Differenzbildung der Resultate kann der Referenzfall allerdings eliminiert werden, und zwei Strategien können direkt miteinander verglichen werden. Mit Risikobetrachtungen, die auch Extremfälle wie eine Stilllegung einer Strassenanlage berücksichtigen, können weitere Schlüsse in Bezug auf eine optimale Erhaltungsplanung und insbesondere den optimalen Zeitpunkt für Erhaltungsmassnahmen gezogen werden.

Die Bewertungsmethodik setzt voraus, dass die Kosten und Nutzen in Abhängigkeit der Zustandsindizes ermittelt werden können. Sind die Zustandsindizes nicht oder nur deskriptiv vorhanden, so erschwert das eine adäquate Beurteilung enorm. Wenn zusätzlich der Strassenzustand, beschrieben durch die einzelnen Indizes, sehr rasch schlechter wird, so wird der Referenzfall sehr viel teurer, als er realistischerweise werden würde, wenn die Massnahme nur um ein paar Jahre hinausgezögert würde.

5.2 Sicht des Praktikers

Als wesentlicher Punkt kristallisierte sich der Grund für die Durchführung einer Erhaltungsmassnahme für die Bewertung heraus. Während auf Autobahnabschnitten die Sicherheit und der Komfort der Verkehrsteilnehmer und die Erhaltung der Anlage (Vermeidung von zukünftigen Kosten) im Vordergrund standen, war auf Kantonsstrassen der Zustand der hauptsächliche Grund eine Erhaltungsmassnahme einzuleiten. Auf Ebene der Gemeindestrassen waren weder Sicherheit noch Zustand das ausschlaggebende Kriterium, sondern die Arbeiten an den Werkleitungen. Musste die Strasse wegen Kanalisationsarbeiten, Strom-, Gas-, Telefonversorgung etc. geöffnet werden, so wird gleichzeitig eine Erhaltung der Fahrbahn eingeleitet. Besteht kein Bedarf der Werke an Leitungssanierungen, so wird die Strasse meist nur geflickt und nicht erneuert oder instand gesetzt (siehe auch [2]).

Für die Bewertung stehen für den Strassenbetreiber die Nutzerkosten im Hintergrund – der Fokus liegt auf den Massnahmenkosten. Die Budgets zwingen den Betreiber gewisse Erhaltungsmassnahmen zu priorisieren bzw. um einige Jahre zu verschieben. Diese Restriktionen sind für den Betreiber zwingender als ein eventueller hoher volkswirtschaftlicher Nutzen, der durch eine verbesserte Anlage entsteht. Nutzerkosten werden deshalb als zweitrangig angesehen.

Oft bestehen Unsicherheiten bzgl. der Auswirkungen von Verschiebungen von Erhaltungsmassnahmen. Wie verhält sich die Strasse, wenn eine Erhaltungsmassnahme um 5 Jahre hinausgezögert wird? Sind in 5 Jahren aufwendigere Massnahmen erforderlich, die dann teurer sind, als eine heutige Erhaltungsmassnahme? Welche Kosten entstehen für Sofortmassnahmen (z.B. aus Gründen der Sicherheit) während diesen 5 Jahren? In der Praxis werden Massnahmen nicht nur zeitlich verschoben, sondern auch in ihrem Umfang angepasst. Wird eine Massnahme hinausgezögert, so wird dannzumal nicht dieselbe Massnahme durchgeführt, sondern eine neue Massnahme. Sie ist der heutigen zwar meist ähnlich, beinhaltet meist aber noch zusätzliche Arbeiten, die heute nicht ausgeführt würden. V.a. im untergeordneten Strassennetz wird versucht, möglichst viele Synergien zu bündeln, damit die Strasse für die nächsten 25-30 Jahre nicht mehr durch Erhaltungsmassnahmen blockiert werden muss. Auf den Nationalstrassen besteht mit UPlaNS ein Instrument, das möglichst optimale Erhaltungsabschnitte und Massnahmenpakete unter Einhaltung der strategischen Vorgaben des ASTRA bildet.

Die strategischen Betrachtungen basieren alle auf dem aktuellen und zukünftigen Strassenzustand. Ist dieser Strassenzustand nicht bekannt und kann keine Aussage über die zukünftige Entwicklung getroffen werden, so sind diese Analysen nicht zielführend. Als Basis für die optimale Entscheidung über Zeitpunkt und Umfang von Interventionen und die Durchführung von Erhaltungsmassnahmen ist die Kenntnis über den momentanen Strassenzustand und die verlässliche Prognose des Strassenzustandes unerlässlich. Für die Praktiker bedeutet dies, dass auch auf dem untergeordneten Kantons- und Gemeindestrassennetz der Strassenzustand periodisch gemessen werden muss. Erst dann können umfangreiche Erhaltungsstrategien entwickelt und angewandt werden.

Die Erhebung aller Zustandsdaten auch für Gemeinde- und Kantonsstrassen bedeutet, dass die bestehenden Prozesse angepasst werden müssen. Nicht nur die visuelle Zustandserfassung muss erfolgen, sondern auch die technisch weiterführenden Messungen der Unebenheiten in Längs- und Querrichtung, sowie der Griffbarkeit. Dies kostet allerdings Geld, so dass zunächst wohl nur die wichtigen Verbindungsstrassen (nebst den Nationalstrassen) messtechnisch erfasst werden.

Um die Methodik optimal einsetzen zu können, sind aber nicht nur die Strassenzustände wichtig. Auch Bauemissionen, Treibstoffverbrauch, Unfallkennzahlen und Unfallursachen können die Eingabedaten zuverlässiger gestalten. Wo die Unfälle noch nicht systematisch erfasst werden und die Strassenbetreiber die Auswertungen nicht zur Verfügung haben, ist dies unbedingt anzustreben. Ein automatischer Austausch der Daten und ein periodischer Updateprozess sind hier sicherlich sinnvoll. Es scheint, dass v.a. im untergeordneten Strassennetz die Unfallkennzahlen in der Norm eher hoch angesiedelt wurden. In den betrachteten Fallbeispielen waren Unfälle kaum ein Thema und Unfallschwerpunkte wurden mit den Erhaltungsmassnahmen keine behoben oder zumindest entschärft. Insofern kann bei den Fallbeispielen davon ausgegangen werden, dass die Unfallkosten tendenziell überschätzt wurden.

Zwei wichtige Komponenten sind die Reisezeitkosten und die Dauer der Behinderungen. Zwar wird mit teilweise aufwendigen Verkehrskonzepten versucht, die Einschränkungen für den Verkehr und damit für die Verkehrsteilnehmer (Nutzer) so gering als möglich zu halten; eine Variantengegenüberstellung oder Kosten-Nutzen-Gegenüberstellung findet aber nur in seltenen Fällen statt. In dieser Hinsicht wird in der Praxis zwar versucht, auf Nutzerkomponenten einzugehen, es findet aber keine explizite Kostenbetrachtung statt. Bei einfachem Layout der Erhaltungsabschnitte sind die Varianten nicht zahlreich und es werden nur sehr wenige Varianten sinnvoll sein. Hingegen ist bei Erhaltungsmassnahmen auf netzrelevanten Abschnitten eine umfassende Variantenanalyse erforderlich. Die Reisezeit kann sich auch für die Verkehrsteilnehmer auf den übrigen Strassenabschnitten relevant verändern, so dass diese Veränderungen ebenfalls berücksichtigt werden müssen; beispielsweise bei Instandsetzungsarbeiten an Verkehrsknoten. Wann eine umfassende Analyse des Verkehrsgeschehens berücksichtigt werden muss und wann eine einfache Analyse ausreichend ist um die Methodik anwenden zu können, muss im Einzelfall dem Praktiker überlassen werden.

5.3 Forschungsbedarf

In der Forschungsarbeit VSS 2004/714 wurden im Vergleich mit Abb. 2.1 weitere Zusammenhänge festgestellt und geprüft (z.B. Abhängigkeiten von Kostenkomponenten von I_3), doch wurden diese Ergebnisse für die „normalen“ schweizerischen Verhältnisse als ungeeignet angesehen. In weiteren Forschungsarbeiten können solch quantifizierbare Zusammenhänge weiter untersucht werden. Dadurch würden sich die Formeln (siehe Anhang II) für die Berechnung einzelner Kosten- und Nutzenkomponenten ändern, die Methodik selbst würde aber nicht verändert. Diesbezüglich kann die bestehende Arbeit weiter entwickelt und weiter auf schweizerische Strassenverhältnisse angepasst werden.

Allgemein ist zu erwähnen, dass die Resultate in den Fallbeispielen teilweise sensitiv auf Veränderungen in den Inputdaten reagieren. Werden zentrale Parameter oder Eingaben verändert, kann das Ergebnis von „volkswirtschaftlich sinnvoll“ zu „volkswirtschaftlich nicht empfehlenswert“ ändern. Dies ist ein unbefriedigendes Ergebnis, welches aber zeigt, wie wichtig Sensitivitätsanalysen sind. In diesem Bereich ist weiterführende Forschung notwendig, um Parameter, Eingabedaten und Situationen zu identifizieren, die einen erheblichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben. Sind auch Teilergebnisse von Interesse (z.B. Umweltkosten), so müssen auch hier die relevanten Einflussfaktoren identifiziert und Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt werden.

Probabilistische Ansätze und Risikobetrachtungen können die Kosten-Nutzen-Analyse ergänzen. Werden Erhaltungsmassnahmen auf der Zeitachse in die Zukunft verschoben, so sinken zwar die unmittelbaren Kosten für den Betreiber, gleichzeitig steigt aber das Risiko, eine ungeplante Erhaltungsmassnahme durchführen oder die Strassenanlage zumindest temporär aus Sicherheitsgründen stillzulegen zu müssen. Im Zusammenhang mit der Kosten-Nutzen-Analyse ist deshalb die Betrachtung des Risikos bei Nicht-Durchführung bzw. Verschiebung von Erhaltungsmassnahmen zweckmässig.

5.3.1 Zusammenhänge Zustand – Kosten und Nutzen

Liegen in der Praxis nicht alle Zustandsdaten vor, so sind diese zu erheben. Gelingt dies nicht, so muss eine Einschätzung eines Experten erfolgen. Liegen nur Angaben zu I_0/I_1 vor, so können die zeitlichen Verläufe der anderen Indizes angeglichen werden. Dieses Vorgehen ist immer noch zielführender als Entscheidungen ohne Grundlagen zu treffen. Ein vereinfachtes, leichter handhabbares Modell steht nicht im Vordergrund – zumal die bereits quantifizierten Kosten- und Nutzenkomponenten alle in Abhängigkeit von I_0/I_1 neu ermittelt werden müssten.

Der Effekt der Massnahmen auf die Zustandsindizes und den weiteren Zustandsverlauf müssen aus Sicht der Forschungsstelle überarbeitet werden. Die Zustandsverlaufsveränderungen nach der Massnahme müssen klar beschrieben werden. Die vorhandenen Verlaufskurven und deren Anwendung auf die Fallbeispiele zeigen deutlich, dass hier v.a. für das Kantons- und Gemeindestrassennetz erhöhter Forschungsbedarf besteht.

Aus wissenschaftlicher Sicht müssen die Zusammenhänge zwischen Strassenzustand und den einzelnen Nutzen- und Kostenkomponenten weiter vertieft werden. Eine empirische Untersuchung in der Schweiz könnte die Modelle festigen, bzw. aufzeigen, welche anderen Einflüsse ebenfalls bewertet werden müssen. In der vorliegenden Version ist jede Nutzen- bzw. Kostenkomponente nur von einem der Indizes abhängig, aber beispielsweise nie von Griffigkeit und Unebenheiten in Längsrichtung gleichzeitig. Weitere Einflüsse, wie z.B. die Einflüsse der Geschwindigkeit und Verkehrsstärken auf die Unfallkosten, sind in die Methodik zu integrieren.

In diesem Zusammen gilt es speziell zu erwähnen, dass der Zusammenhang zwischen Massnahmenkosten und Strassenzustand ein wichtiges und interessantes Thema ist, das in Zukunft noch besser erforscht werden muss. Grosses Forschungspotenzial wurde bei der Unsicherheit der Betreiber geortet, welche Kosten bei Verschieben der Massnahmen entstehen – besonders wenn sich die Strasse bereits in ungenügendem oder gar schlechtem Zustand befindet. Unklar sind auch Kostenfolgen zeitlich verschobener Erhaltungsmassnahmen, bzw. von Massnahmen, die ein Problem nur teilweise beheben oder

nur teilweise geeignet sind (siehe dazu auch 5.3.2). Für die Kosten-Nutzen-Betrachtung wird angenommen, dass die Erhaltungsmassnahmen sinnvoll und ihre Auswirkungen auf den Strassenzustand plausibel sind und nicht bereits nach wenigen Jahren wieder dieselben Zustandswerte entstehen.

5.3.2 Referenzfall

Der im Modell verwendete Referenzfall ist nicht praxisnah. Eine Beurteilung wie sie momentan vorgenommen wird, wird in der Praxis nicht auftreten. In der Praxis werden Varianten miteinander verglichen, in denen die verschiedenen Massnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit unterschiedlichen Effekten auf den Strassenzustand und den weiteren Verlauf des Zustands geplant werden. Der realistische Null- bzw. Referenzfall ist nicht nur in dieser, sondern auch in vorherigen Arbeiten immer wieder Thema von langen Diskussionen. Die Forschungsstelle ortet hier Forschungs- bzw. Klärungsbedarf. Auch im hier verwendeten Referenzfall wird die Strassenbenützung bei ungenügender Sicherheit oder ungenügendem Zustand nicht verändert (Geschwindigkeitsreduktion, Verbot für Lastwagen bis hin zur Schliessung der Strasse). Es wird deshalb angenommen, dass ein Minimalstandard aufrechterhalten wird; nur ist unklar, was dieser Minimalstandard überhaupt ist und welche Risiken ein „Nicht-Erhalten“ bergen. Der Referenzfall im Nationalstrassenbereich muss deshalb auch nicht gleich definiert werden, wie der Referenzfall für einen Erhaltungsabschnitt im Stadtzentrum oder auf der Landstrasse.

Bezüglich der Fahrbahnerhaltung wird daher wohl oft eher ein realistischerer Referenzfall als die „Strategie Nichtstun“ verwendet werden. Trotzdem kann es interessant und wichtig sein, auch das „Nichtstun“ als Vergleichsfall zu berücksichtigen, um Risiken und Gefährdungen realistisch zu beurteilen. Die „Strategie Nichtstun“ muss dann aber richtig ausmodelliert werden.

5.3.3 Verkehrsbetrieb im Bereich der Kapazitätsgrenze

Im Fall von verschieden ausgeprägten Lastrichtungen morgens und abends ist die Verwendung von DTV und Querschnittsangaben bei der Berechnung von Zeitverlusten nicht genau genug. Das relativ hohe Verkehrsaufkommen in kurzer Zeit und die dadurch entstehenden Staus werden nicht abgebildet. Generell gilt, dass Strassenanlagen, die in der Nähe ihrer Kapazitätsgrenze betrieben werden, nicht optimal erfasst werden, während Anlagen mit geringer Auslastung zu kompliziert betrachtet werden. Eine Differenzierung der Strassenanlagen in ihre Auslastung und eine Auslegung des Modells auf verschiedene Auslastungsgrade ist deshalb zu prüfen.

Die Kapazität und die Verkehrsmengen auf Erhaltungsabschnitt und Alternativrouten sind auch bei der Massnahmendurchführung von zentraler Bedeutung. Wird eine wichtige Verbindungsstrasse unterhalten, so sind grossräumige Verkehrsbehinderungen in der Regel die Folge. Um ein Chaos zu verhindern, werden deshalb oft umfassende verkehrliche Massnahmen und Umleitungskonzepte entwickelt. Diese können in die bestehende Modellierung nicht aufgenommen werden.

5.3.4 Unterhaltsarbeiten und ihre Auswirkungen auf die Kosten

Die Synergien zwischen Fahrbahnerhaltung und anderen Arbeiten, die im Strassenraum durchgeführt werden müssen, sind eingehender zu untersuchen und die Auslöser von Unterhalts-, Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten klar zu identifizieren. Dadurch kann das Verschieben von Massnahmen besser quantifiziert werden und v.a. im untergeordneten Strassennetz eine realistischere Planung und Bewertung von Erhaltungsmassnahmen durchgeführt werden.

Eine periodische Erfassung von Zuständen ermöglicht zudem die optimale Planung der Erhaltungsmassnahmen. Nur wenn die Wirkung der Erhaltungsmassnahmen auf die Zustandsindizes erfasst und beobachtet wird, können zukünftige Planungen von Erhaltungsmassnahmen optimal terminiert werden. Zudem ermöglicht ein systematisches Monitoring auch ein Feedback auf die Prognose der Verfallskurven. Durch Vergleich zwischen Prognose und Beobachtung können Anpassungen an den Verfallskurven vorgenommen und die Wirkung von Erhaltungsmassnahmen beurteilt werden. Dies gilt insbe-

sondere für das untergeordnete Strassennetz – auf dem Nationalstrassennetz wird eine Inspektion bei der Abnahme seit einigen Jahren bereits praktiziert.

5.3.5 Verkehrserschwernisse während der Bauausführung

Die Baustellenplanung ist v.a. im Nationalstrassenbereich von Bedeutung. Die Organisation der Baustellen (Verkehrsführung 4/0 bzw. 3/1; Mehrschichtbetrieb; etc.) haben einerseits einen Einfluss auf die Dauer der Behinderungen und andererseits auf intrinsische Parameter wie die Unfallraten. Verschiedene Studien weisen darauf hin, dass die Verkehrsführung im Baustellenbereich besonders beachtet werden muss (z.B. [28], [26], [30] [31]). Die bestehende Modellierung kann mit veränderten Unfallraten umgehen, wie die aber bestimmt werden müssen, ist im Allgemeinen nicht klar genug. Erhöhte Reisezeitkosten auf Grund von häufiger auftretenden Unfällen auf dem Erhaltungsabschnitt und dadurch entstehenden Einschränkungen bei der Benützung der Anlage werden momentan nicht berücksichtigt (siehe auch Kapitel 5.3.4).

Weitere Verkehrserschwernisse betreffen das übrige Netz. Durch umfangreiches Verkehrslenkungsmanagement können neben- und untergeordnete Strassen mit Mehrverkehr belastet werden. Wann sind diese Verlagerungseffekte relevant und wann können sie vernachlässigt werden? In der bestehenden Methodik ist das übrige Strassennetz (Alternativroute) stabil. Weder verändert sich die Reisezeit, noch die Unfallhäufigkeit. Bei nur geringer Verlagerung ist diese Vereinfachung sicherlich zweckmässig, bei umfangreichen Verlagerungseffekten oder Staubildung auf Grund von Kapazitätsengpässen ist diese Modellierung nicht genügend. In dieser Hinsicht werden die Kosten im Planungsfall während der Durchführung der Erhaltungsarbeiten unterschätzt.

5.3.6 Unfallkosten im untergeordneten Strassennetz

Gerade im untergeordneten Strassennetz muss die Frage gestellt werden, ob die Griffigkeit überhaupt einen Einfluss auf das Unfallgeschehen hat, da sich die meisten Unfälle nicht zwischen zwei Autos sondern oft zwischen Auto und Fussgänger bzw. Fahrradfahrer ereignen oder einfache Selbstunfälle (ohne grosse Personenschäden) sind. Winterglätte beispielsweise hat auf die Unfallkosten einen höheren Einfluss als die Griffigkeit der Fahrbahn. Glatteis und Schneematsch auf den Strassen kann nur durch einen verbesserten Winterdienst und somit durch höhere Betreiberkosten bekämpft werden.

Andere Einflüsse wie Geschwindigkeit, Unachtsamkeit, Unübersichtlichkeit und Alkohol am Steuer sind in der Schweiz viel eher „Verursacher“ von Strassenverkehrsunfällen. Der Zustand als Haupt- oder zumindest Mitursache ist nur in wenigen Fällen gegeben.

Anhänge

I	Daten für Modellberechnungen	66
II	Formelsammlung	68

I. Daten für Modellberechnungen

Für die Berechnungen von Kosten und Nutzen sind, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, zahlreiche Angaben notwendig. Liegen die benötigten Inputdaten nicht bzw. nicht vollständig in gemessener Form vor (z.B. Strassenzustand), können die Werte auch an Hand von Abschätzungen oder Experteneinschätzungen eingetragen werden. Die hier gezeigten Inputdaten gehören zu Fallbeispiel 3.

Strassenzustand und Belag Erhaltungsabschnitt heute	
I_0/I_1 heute	3.5
I_2 heute	1
I_3 heute	1
I_4 heute	0.5
I_5 heute	2
Erhaltungsmassnahmen	
Betrachtungszeitraum	2006-2036
Länge Erhaltungsabschnitt	1.1km
Anzahl Massnahmen	2
Gesamtkosten der Unterhaltsmassnahmen	880'000 CHF
Verkehr	
DTV	1'300 Fz/Tag
Schwerverkehrsanteil (inkl. Busse)	6.8%
Alternative	3km mit 50km/h
Besonderheiten	Steigung 4.5% auf 1.1km

Abb. I.1: Inputdaten für Fallbeispiel 3

Die Massnahmen selbst müssen ebenfalls erfasst werden. In diesem Fallbeispiel wurde die Erhaltungsmassnahme in zwei Phasen durchgeführt: Zunächst wurde der Erhaltungsabschnitt teilweise (während 12 Wochen), danach noch während einer Woche total gesperrt. Die Totalsperrung wurde so modelliert, dass die Kapazität mit 0 Fz/h festgelegt wurde. Während der Teilsperre hätten den Engpass 300Fz/h mit 25 km/h passieren können. Die Unfallraten während der Massnahme sind genau gleich hoch wie im Normalbetrieb (Annahme).

Nach der Erhaltungsmassnahme wurde angenommen, dass die Strasse wieder in sehr guten, wenn auch nicht ganz neuwertigem Zustand ist. Deshalb wurden alle Zustandsindizes bis auf den Tragfähigkeitsindex I_5 zwischen 0 und 1 festgesetzt. Da die Massnahme keine Anpassungen im Querschnitt oder sonstige Kapazitätserweiterungen mit sich brachte, konnten Geschwindigkeit und Kapazität nach der Massnahme gleich hoch angesetzt werden wie vor der Massnahme. Durch die Erhaltungsmassnahme konnte die Verbindung auch nicht attraktiver gestaltet werden (wie z.B. in Fallbeispiel 4), so dass kein zusätzlicher Verkehr auf dieser Verbindung zu verzeichnen ist.

Massnahmenstrategien		
	Massnahme 1	Massnahme 2
Bezeichnung	Teilspernung	Totalspernung
Zeitpunkt der Erhaltungsmassnahme in ... Jahren	1.25	1.48
Dauer der Erhaltungsmassnahme	0.23	0.02
Kosten der Unterhaltsmassnahme	880'000	0
Veränderter Unfallkoeffizient während der Massnahme	100%	100%
Geschwindigkeitslimit während der Massnahme	25	irrelevant
Kapazität pro Spur während Erhaltungsmassnahme	300	0
I_0/I_1 nach der Massnahme (Annahme)	0.25	0.25
I_2 nach der Massnahme (Annahme)	0.5	0.5
I_3 nach der Massnahme (Annahme)	0.5	0.5
I_4 nach der Massnahme (Annahme)	0.5	0.5
I_5 nach der Massnahme (Annahme)	2	2
Geschwindigkeitslimit nach der Massnahme	53	53
Kapazität pro Fahrstreifen nach Erhaltungsmassnahme	1400	1400
Verkehrszunahme wegen gesteigerter Attraktivität	0.0%	0.0%

Abb. 1.2: Massnahmenstrategien

II. Formelsammlung

Kosten der Unterhaltsmassnahmen pro Jahr	
$K_{\text{Unterhalt}} = s * (NK(I_1) * K_{\text{StrKat}} + K_{\text{Wert}})$ $NK(I_1) = \begin{cases} 1/3 & \text{für } I_1 \in [0,1) \\ 1/3 I_1 & \text{für } I_1 \in [1,3) \\ 25/12 I_1^2 - 73/6 I_1 + 75/4 & \text{für } I_1 \in [3,5] \end{cases}$	s = Länge des Strassenabschnitts NK = normalisierte Kosten K_{StrKat} = Durchschnittliche Kosten pro Strassenkategorie K_{Wert} = Kosten für Unterhaltsmassnahmen mit Erhaltungscharakter als $I_1 \geq 4.5$ I_1 = Oberflächenschäden

Reisezeitkosten pro Jahr	
$K_{\text{Reise}} = 365 * t * DTV * K_{\text{Zeit}}$ $t = \frac{s}{v_{\text{tech}}} \left(1 + \alpha \left(\frac{u}{\text{cap}} \right)^\beta \right)$ $v_{\text{Rough}} = v_{\text{Signal}} - a \frac{I_2 - b}{c} \quad \text{falls } I_2 \geq b$	t = Reisezeit auf dem Abschnitt pro Fahrzeug DTV = durchschnittlicher täglicher Verkehr K_{Zeit} = Kosten pro Zeiteinheit und Fahrzeug s = Länge des Strassenabschnitts v_{tech} = technische Geschwindigkeit u = Verkehrsaufkommen pro Stunde cap = Kapazität in Fahrzeugen pro Stunde α, β = Parameter der Reisezeitberechnung a, b, c = Parameter zur Bestimmung der max. Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Unebenheiten v_{Signal} = signalisierte Geschwindigkeit v_{Rough} = Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Unebenheiten I_2 = Ebenheit in Längsrichtung

Fahrzeugbetriebskosten pro Jahr	
$K_{FBK} = 365 * DTV * t * K_{Std}$ $+ 365 * DTV * \left(\frac{13I_2}{800} + \frac{787}{800} \right) * s * K_{Fzkm}$ $+ 365 * DTV * \left(\frac{13I_2}{800} + \frac{787}{800} \right) * s * T_v * K_T$	DTV = durchschnittlicher täglicher Verkehr t = Reisezeit auf dem Abschnitt pro Fahrzeug K_{Std} = Kosten pro Fahrstunde s = Länge des Strassenabschnitts K_{Fzkm} = Kosten pro Fahrzeugkilometer T_v = geschwindigkeitsabhängiger Treibstoffverbrauch K_T = Treibstoffkosten

Lärmkosten pro Jahr	
$K_{Lärm} = p * K_{dBA} * L_{eq}$ $L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{cap} (Fz_{PW} 10^{0.1L_{PW}} + Fz_{LKW} 10^{0.1L_{LKW}}) \right)$ $L_{PW} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{PWA} + \Delta L_S}{10}} + 10^{\frac{L_{PWR} + \Delta L_B}{10}} \right)$ $L_{LKW} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{LKWA} + \Delta L_S}{10}} + 10^{\frac{L_{LKWR} + \Delta L_B}{10}} \right)$ $L_{PWR} = 9.5 + 35 \log(v)$ $L_{LKWR} = 18.5 + 35 \log(v)$ $L_{PWA} = 62.7 + 10 \log \left(1 + \left(\frac{v}{44} \right)^{3.5} \right)$ $L_{LKWA} = 76.9 + 10 \log \left(1 + \left(\frac{v}{56} \right)^{3.5} \right)$	p = Anzahl der betroffenen Personen K_{dBA} = Lärmkosten/dB(A)/Person L_{eq} = Mittelungspegel Fz_x = Anzahl der Personenwagen und Lastwagen cap = Kapazität in Fahrzeugen pro Stunde ΔL_S = Lärmkorrekturwert für die Steigung ΔL_B = Lärmkorrekturwert für den Strassenbelag v = effektiv gefahrene Geschwindigkeit (abhängig von der Reisezeit, vgl. oben)

Unfallkosten pro Jahr	
$K_{Unfall} = A_{Sachschäden} K_{Sachschäden} + A_{Verletzte} K_{Verletzte} + A_{Getötete} K_{Getötete}$ $A_i = 365 * DTV * s * \theta(I_4) * \psi$	K_x = Kosten für Sachschäden, verletzte und getötete Personen A_x = Anzahl der Unfälle, verletzter und getöteter Personen θ = Unfallraten in Abhängigkeit von Griffigkeit und Strassenkategorie ψ = erhöhter Unfallratenfaktor aufgrund Durchführung der Erhaltungsmassnahme unter Verkehr I₄ = Griffigkeit

Kosten der Luftverschmutzung pro Jahr	
$K_{Luft} = s * 365 * DTV * \frac{\mu T_v^{LKW}}{29.1} K_{LKW}$ $+ s * 365 * DTV * \frac{(1 - \mu) \lambda T_v^{PWD}}{7.7} K_{PW}$ $+ s * 365 * DTV$ $* \frac{(1 - \mu)(1 - \lambda) T_v^{PWB}}{8.6} K_{PW}$ $+ K_M$	s = Länge des Strassenabschnitts DTV = Durchschnittlicher täglicher Verkehr T_v^{LKW} = geschwindigkeitsabhängiger (und somit reisezeitabhängiger) Treibstoffverbrauch für Lastwagen [l/100km] T_v^{PWD} = dito dieselbetriebene Personenwagen T_v^{PWB} = dito benzinbetriebene Personenwagen K_{LKW} = Kosten der Luftverschmutzung pro Fzkm Güterverkehr K_{PW} = dito Personenverkehr K_M = Kosten der Luftverschmutzung der baulichen Massnahme μ = Schwerverkehrsanteil λ = Anteil der dieselbetriebenen Personenwagen

Klimakosten pro Jahr	
$K_{Klima} = s * 365 * DTV * K_{CO_2}$ $* \left(\frac{\mu T_v^{LKW}}{100} \gamma_D + \frac{(1 - \mu) \lambda T_v^{PWD}}{100} \gamma_D \right.$ $\left. + \frac{(1 - \mu)(1 - \lambda) T_v^{PWB}}{100} \gamma_B \right)$	s = Länge des Strassenabschnitts DTV = Durchschnittlicher täglicher Verkehr K_{CO_2} = Kosten pro Tonne CO2 T_v^{LKW} = geschwindigkeitsabhängiger (und somit reisezeitabhängiger) Treibstoffverbrauch für Lastwagen [l/100km] T_v^{PWD} = dito dieselbetriebene Personenwagen T_v^{PWB} = dito benzinbetriebene Personenwagen μ = Schwerverkehrsanteil λ = Anteil der dieselbetriebenen Personenwagen γ_B = CO2-Ausstoss pro Liter Benzin γ_D = CO2-Ausstoss pro Liter Diesel

Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
AUN	Allgemeine Unebenheit (als Merkmal der Längsunebenheit)
dBA / dB(A)	A-bewerteter Schalldruckpegel
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
Fzh	Fahrzeugstunde
Fzkm	Fahrzeugkilometer
HDM-4	Highway Development and Management Model
ISOHDM	International Study of Highway Development and Management
LKW	Lastkraftwagen
PIARC	World Road Association
PKW / PW	Personenkraftwagen
PM10	PM10 ist eine Kategorie für Teilchen, deren aerodynamischer Durchmesser weniger als 10 Mikrometer beträgt. (PM=Particulate Matter)
SN	Schweizer Norm; Kürzel von Normen der Schweizerischen Normen-Vereinigung (SNV)
SNV	Schweizerische Normen-Vereinigung
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
UVEK	Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

Literaturverzeichnis

- [1] T. Herrmann, B. Adey, R. Hajdin, J. Lüking und N. Schindele, *Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis*, 2008.
- [2] V. Gnehm, *Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen*, 2008.
- [3] I. Scazziga, *Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Schadensprozesse und Zustandsverläufe*, 2008.
- [4] A. Jacot, *Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert*, 2009.
- [5] G. Girmscheid und A. Fastrich, *Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen*, VSS, 2008.
- [6] T. Stütze, *Volkswirtschaftlich gerechtfertigte Interventionswerte für die Erhaltung von Bundesautobahnen*, 2004.
- [7] Land Transport New Zealand, *Economic Evaluation Manual*, Bd. 1, 2006.
- [8] C. R. Bennett und I. Greenwood, *Modelling Road User and Environmental Effects in HDM-4*, Bd. 7, The Highway Development and Management Series, 2001.
- [9] World Road Association, [Online]. Available: www.piarc.org. [Zugriff am 6. August 2012].
- [10] Weninger-Vycudil, A., *Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System*, 2001.
- [11] G. Barnes und P. Langworthy, *The Per-Mile Costs of Operating Automobiles and Trucks*, 2003.
- [12] J. Cox, *Effect of Road Surface Condition on Vehicle Operating Costs in Australia: Literature Review and Fleet Database Analysis*, 1996.
- [13] C. Wallmann und H. Astrom, *Friction Measurement Methods and the Correlation between Road Friction and Traffic Safety*, 2001.
- [14] E. Hauer, *Observational before-after studies in road safety: Estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety*, 1997.
- [15] W. Hufschmid, *Zustand der Kantonsstrassen gibt zu Besorgnis Anlass*, 2002.
- [16] M. Bürgi, *Grundmodell Werterhaltung*, 2002.
- [17] SN 641 820, *Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr*, 2006.

- [18] SN 641 821, *Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Diskontsatz*, 2006.
- [19] SN 641 822a, *Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Zeitkosten im Personenverkehr*, 2009.
- [20] SN 641 823, *Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Zeitkosten im Güterverkehr*, 2007.
- [21] SN 641 824, *Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Unfallraten und Unfallkostensätze*, 2010.
- [22] SN 641 825, *Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Bewertung und Abschätzung der Zuverlässigkeit*, 2009.
- [23] SN 641 826, *Betriebs- und Unterhaltskosten von Strassen*, 2008.
- [24] SN 641 827, *Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Betriebskosten von Strassenfahrzeugen*.
- [25] SN 641 828, *Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Externe Kosten*, 2009.
- [26] M. Laube, *Verkehrsverhalten und Unfallgeschehen im Bereich von Autobahnbaustellen*, 2001.
- [27] H. P. Lindenmann und R. Weber, *Unfallauswertung - Statistik, Auswertung und Analyse von Strassenverkehrsunfällen*, 1998.
- [28] H. P. Lindenmann, R. Weber, B. Ranft und Y. Chabot-Zhang, *Unfallgeschehen auf stark belasteten Autobahnen*, 2000.
- [29] EVU-Ländergruppe Österreich, *Neue Methoden der Unfallanalyse und Unfallaufklärung - Grundlagen für die Road-Safety-Inspection*, 2005.
- [30] Kuratorium für Verkehrssicherheit, «Gefahrenstelle Autobahnbaustelle?», 2012. [Online]. Available: <http://www.kfv.at/verkehrsmobilitaet/strassenraum/baustellen/>. [Zugriff am 6. August 2012].
- [31] S. Niemann, O. Brügger, C. Dähler-Sturny, C. Imseng und S. Siegrist, *Unfallgeschehen in der Schweiz: bfu-Statistik 2007*, Bern: bfu, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2007.
- [32] H. Sommer, *Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz*, 2002.
- [33] L. Seiler und H. P. Lindenmann, *Is the correlation between pavement skid resistance and accident frequency significant?*, 2004.
- [34] A. Schmid, *Externe Kosten des Verkehrs: Grenz- und Gesamtkosten durch Luftschadstoffe und Lärm in Deutschland*, 2005.
- [35] R. Schandersson, *Road pavement condition and traffic safety: some results and conclusions from the Nordic Project Traffic Safety and road surface*

properties, TOVE, 1994.

- [36] I. Scazziga, «Ermittlung der Nutzerkosten für das Management der Strassenerhaltung,» 1998.
- [37] M. W. Sayers und S. M. Karamihas, *The Little Book of Profiling*, 1998.
- [38] M. W. Sayers, *On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile, Pavement-Vehicle Interaction and Traffic Monitoring*, 1995.
- [39] C. Rosenthaler und U. Dünnenberger, *Konzept Belagsmanagement im Kanton Thurgau*, 2002.
- [40] W. Rauh, *Mit Sicherheit mobil - Strassenverkehr ohne Todesopfer*, Wien: VCÖ Verkehrsclub Österreich, 2000.
- [41] A. Rafi, *Gesamtnutzen im Erhaltungsmanagement*, 2004.
- [42] A. Rafi, *Gesamtkostensystem: Eine Entscheidungsgrundlage für das Management der Strassenerhaltung (MSE)*, 2001.
- [43] A. Rafi und C. Scholer, *Erhaltungsmanagement der Kantonsstrassen Basel-Landschaft*, 2007.
- [44] A. Rafi, *Asset Management System (AMS) für Strassen*, Bd. 11, 2003.
- [45] T. Pischner, *Ansätze zur intermodalen Wirkungsanalyse und Bewertung auf Grundlage der Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen (EWS) und der Standardisierten Bewertung von Verkehrsweginvestitionen des öffentlichen Personalverkehrs*, 2000.
- [46] W. Pichler, *Entscheidungsmodell für die Wahl der Oberbaukonstruktion im Strassenbau*, 1981.
- [47] G. Oefner, *Handbuch für die wirtschaftliche Vergleichsrechnung im Mangement der Strassenerhaltung - Baulastträger und Nutzerkosten*, Bd. 27, München Neubiberg: Universität der Bundeswehr, 1988.
- [48] A. Meyer, *Kostensituation im Strassenverkehr*, 1996.
- [49] V. Meewes, *Sicherheitsanalyse von Strassennetzen*, 2000.
- [50] J. McLean, *The relationship between Pavement Condtion and Road Safety*, 1995.
- [51] J. McLean, *Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Design*, Bd. 22, 1981, pp. 208-211.
- [52] G. Maerschalk, *Systematische Erhaltungsplanung im Strassennetz*, 2003.
- [53] C. Lee and R. Machemehl, *Combined Traffic Signal Control and Traffic Assignment: Algorithms, Implementation and Numerical Results*, 2005.

- [54] W. Köppel und V. Meewes, *Beurteilung der Verkehrssicherheit in den "Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen (EWS)*, 2000.
- [55] A. König, K. W. Axhausen und G. Abay, *Zeitkostensätze im Personenverkehr*, 2004.
- [56] M. Köhler, *Elemente eines Erhaltungsmanagementsystems*, 2002.
- [57] M. Keller und R. Zbinden, *Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980-2030*, Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2004.
- [58] N. Jackson, *An Evaluation of the Relationship Between Fuel Consumption and Pavement Smoothness*, 2004.
- [59] P. Iragüen und J. Ortuzar, *Willingness to Pay for Reducing Fatal Accident Risk in Urban Areas: An Internet-based Web Page Stated Preference Survey*, Accident Analysis and Prevention Hrsg., Bd. 36, 2004, pp. 513-524.
- [60] A. Ihs, *The Influence of Road Surface Condition on Traffic Safety and Ride Comfort*, Queensland: 6th International Conference on Managing Pavements, 2004.
- [61] J. J. Henry, *Evaluation of Pavement Friction Characteristics: A Synthesis of Highway Practice*, 2000.
- [62] G. Heimerl, *Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs - Anleitung 1988, sowie Aktualisierung auf den Sach- und Preisstand 1993*, München: Bundesminister für Verkehr, 1993.
- [63] G. Gottardi und H. Hautzinger, *Der Wert der Zeit im Güterverkehr*, Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure, 2000.
- [64] T. Gillespie und M. Sayers, *Role of Road Roughness in Vehicle Ride*, 1981.
- [65] R. Gehrig, M. Hill, B. Buchmann, D. Imhof, E. Weingartner und U. Baltensperger, *Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs*, 2003.
- [66] A. De Blaeij und D. van Vuuren, *Risk Perception of Traffic Participants*, Accident Analysis and Prevention, Bd. 35, 2003, pp. 165-175.
- [67] J. Craus, M. Livneh und I. Ishai, *Effect of pavement and shoulder condition on highway accidents*, Highway systems, 1991.
- [68] D. Cleveland, *Effect of Resurfacing on Highway Safety*, 1987.
- [69] J. C. Burns, *Roughness and Road Safety*, 1981.
- [70] F. Bruns und K. Axhausen, *Verfahren zur Ermittlung der Veränderung der Zuverlässigkeit durch Verkehrsmassnahmen*, Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure.

- [71] M. Blumer und E. Stahel, «Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell,» 1996.
- [72] C. Bester, *The Effect of Road Roughness on Safety*, 2003.
- [73] G. Awasthi, T. Singh und A. Das, *On Pavement Roughness Indices*, 2003.
- [74] C. Angst, F. Beltzung, D. Bosshardt, C. Clavien, H. Grolimund und H. Pestalozzi, *Lärmarme Strassenbeläge innerorts*, Bern: ASTRA und BAFU, 2005.
- [75] Bundesanstalt für Strassenwesen (BAST), *Volkswirtschaftliche Kosten durch Strassenverkehrsunfälle in Deutschland 2003*, 2005.
- [76] INFRAS, *Verkehrsgrundlagen 1980 bis 2030 zur Berechnung der Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs*, Bern: BUWAL und ARE, 2004.
- [77] ASTRA Arbeitsgruppe UPlaNS und Ernst Basler + Partner AG, *Unterhaltsplanung Nationalstrassen, Standortbestimmung per Ende 2002*, 2003.
- [78] Ecoplan, *Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz - Aktualisierung für die Jahre 1999 bis 2004*, B. f. R. ARE, Hrsg., 2006.
- [79] update, *Strassenverkehrslärm: Erkenntnisse und Minderungsmöglichkeiten*, 2006.
- [80] Müller AG, *Schweizerische Mittelwerte 2004*, 2005.
- [81] OECD, *Road Surface Characteristics - Their Interaction and their Optimisation*, 1984.
- [82] World Road Association (PIARC), *Report of the Committee on Surface Characteristics*, 1987.
- [83] ASTRA, *NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte*, 2003.
- [84] Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), *Nachhaltigkeitsbeurteilung - Rahmenkonzept und methodische Grundlagen*, 2004.
- [85] Bundesamt für Statistik (BfS), *Mobilität und Verkehr - Taschenstatistik 2007*, 2007.
- [86] SN 640 017a ff, *Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit*, Vereinigung Schweizerische Verkehrsfachleute (VSS), 1998-2006.
- [87] Ecoplan und Metron, «Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr,» 2004.
- [88] R+R Burger und Partner AG, «Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen,» 2004-2007.

- [89] Ecoplan, «Handbuch für die Version eNISTRA 2006.1,» 2006.
- [90] ASTRA, *Handbuch des Rechnungswesens für den betrieblichen Unterhalt der Nationalstrassen*, 2004.
- [91] SN 640 510b, *Griffigkeit, Messverfahren*, 1985.
- [92] SN 640 904, *Gesamtbewertung von Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen; Substanz und Gebrauchswerte*, 2003.
- [93] SN 640 925b, *Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF) - Zustandserhebung und Indexbewertung*, 2003.
- [94] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FSV), *Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen*, 1997.
- [95] SN 640 324a, *Dimensionierung Strassenoberbau*, 1997.
- [96] EMPA, *Bericht zum F+E-Projekt "Neues EMPA-Modell für Strassenlärm"*, 1997.
- [97] UK Department for Transport, *2003 Valuation of Benefits of Prevention of Road Accidents and Casualties*, 2004.
- [98] Bundesamt für Raumentwicklung, BFS, *Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010*, Neuchâtel, 2012.
- [99] SN 640 907a, *Erhaltungsmanagement (EM) - Grundlagen zur Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement*, 2012, noch nicht erschienen.

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Strassen, Brücken, Tunnel

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 31.07.2012

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS2009/707

Projekttitel: Validierung des Kosten-Nutzen-Modells zur Bewertung von Erhaltungsmassnahmen mittels aktueller Fallbeispiele

Enddatum: 31.07.2012

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass die Modelle, die in den Forschungsarbeiten VSS 2004/711-715 entwickelt wurden, zu sinnvollen Berechnungsergebnissen führen. Das Zusammenspiel der verschiedenen Modelle, insbesondere zwischen den Kosten-Nutzen-Modellen und den Zustandsverlaufsmodellen, konnte validiert werden. Grundsätzlich können mit dem Kosten-Nutzen-Modell die Fragen nach der Wahl der Interventionsstrategie und nach dem Zeitpunkt beantwortet werden.

Die für die Modellanwendung benötigten Daten sind in der Praxis - insbesondere im untergeordneten Strassennetz - nicht immer in der gewünschten Form und Qualität verfügbar. Fehlen sie, so muss auf begründete Annahmen ausgewichen werden, so wie es in den Fallbeispielen durchgeführt wurde. Im Umgang mit der Methodik muss der Benutzer der Modelle im spezifischen Anwendungsfall die Parameter sorgfältig aufeinander abstimmen. Dies setzt voraus, dass er die Zusammenhänge innerhalb der Modelle sowie unter einander und die Auswirkungen der Änderungen auf das Resultat kennt. Die Studie beleuchtet die Rolle der einzelnen Kostenkomponenten und zeigt auf, welche besonders sensitiv sind: Reisezeit-, Unfall- und Fahrzeugbetriebskosten sowie die Unterhaltskosten in Abhängigkeit des "Schwellwertes Unterhalt I0/I1".

Als wesentliche Komponente in diesem Zusammenspiel hat sich der prognostizierte Verlauf des Strassenzustandes herausgestellt. Geringfügige Änderungen der Inputdaten können das Ergebnis wesentlich beeinflussen, was sich besonders gut am Index I4 "Griffigkeit" zeigt. Werden die Zustandsverläufe wie vorgesehen angewendet, so ergibt sich ein gegenüber der Wirklichkeit zu pessimistischer Verlauf. Annahmen über den Zustandsverlauf der Strassenanlage bzgl. Griffigkeit spielen eine zentrale Rolle bei der Berechnung der Unfallkosten. Für die praktische Anwendung sollte das noch einmal überprüft werden.

Der Wahl der Referenzstrategie kommt ebenfalls eine grosse Bedeutung zu. Sie muss diskutiert werden.

Die Resultate wurden nicht in einem eigenen Normentwurf verarbeitet, sondern sind direkt in die gleichzeitig stattfindende Überarbeitung der Gesamtkostennorm SN 640 907 eingeflossen. Im Hinblick auf eine eigene Normenfamilie zum Erhaltungsmanagement konnten mit der vorliegenden Studie wertvolle Erkenntnisse herausgeschält werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die Modelle aus VSS 2004/711-715 und insbesondere das Modell aus 714 wurden anhand konkreter und aktueller Fallbeispiele von Erhaltungsmassnahmen auf unterschiedlichen Strassentypen validiert. Es wurden plausible Ergebnisse erzielt und Anregungen bzgl. Praktikabilität und Umgang mit Datenverfügbarkeit formuliert. Die bestehende Methodik ist zwar sehr komplex, für einen Kenner aber durchaus handhabbar; zumal mit dem entworfenen Excel-Tool ein Hilfsmittel für die Bearbeitung zur Verfügung steht. Für die Anwendung in der Praxis wurden wichtige Erkenntnisse zu Modellerweiterungen bzw. -anpassungen bzw. -vereinfachungen gewonnen.

Folgerungen und Empfehlungen:

Es wird empfohlen, die bestehende Methodologie in verschiedener Hinsicht zu verändern, damit sie durch die Praktiker benutzerfreundlich bedient werden kann:

- Das vorhandene Excel-Tool ist zu überarbeiten und allgemein verfügbar zu machen.
- Der Einfluss des Strassenzustandes auf die zukünftigen Unterhaltsarbeiten und -kosten ist zu quantifizieren.
- Es ist zu überlegen, ob der bestehende Referenzfall nicht durch einen praxistauglichen Referenzfall ersetzt werden kann.
- Die Einflüsse der Erhaltungsmassnahmen auf den zukünftigen Zustandsverlauf sind zu quantifizieren und die Verhaltenskurven entsprechend zu ergänzen.

Publikationen:

Forschungsbericht "Validierung des Kosten-Nutzen-Modells zur Bewertung von Erhaltungsmassnahmen mittels aktueller Fallbeispiele" VSS 2009/707

Erkenntnisse, die in die überarbeitete Gesamtkostennorm SN 640 907 eingeflossen sind

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Lüking

Vorname: Jost

Amt, Firma, Institut: R+R Burger und Partner AG, Haslstrasse 1, 5401 Baden

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Strassen, Brücken, Tunnel

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die gesteckten Forschungsziele wurden erreicht. Es wurden mehr Fallbeispiele untersucht als im Forschungsgesuch vorgesehen waren, dafür wurde keine eigene Norm entworfen. Stattdessen sind die Erkenntnisse direkt in die parallel laufende Überarbeitung der Gesamtkostennorm SN 640 907 eingeflossen - ein pragmatischer und zielführender Weg.

Die vorgegebene Methodologie wurde wo nötig angepasst und erweitert, so dass für die Bewertung der Fallbeispiele nicht stur an den vorgegebenen Modellen festgehalten wurde. So konnten plausible und stabile Ergebnisse erzielt werden, die ohne diese Adaptionen nicht möglich gewesen wären. Für die Handhabbarkeit in der Praxis werden weitere Änderungen an der Methodik vorgeschlagen.

Umsetzung:

Für alle Fallbeispiele wurde ein einheitliches Bewertungsschema verwendet, das in Excel implementiert wurde und dem Benutzer zahlreiche Möglichkeiten bietet, durch Anpassen von Inputs, Parametern und weiteren Angaben (z.B. Zustandsverlauf) Ergebnisse bzgl. Kosten und Nutzen von Erhaltungsmassnahmen zu erzielen. Allerdings wird vorausgesetzt, dass der Bediener mit der gesamten Methodologie bestens vertraut ist.

Erkenntnisse aus dieser Forschungsarbeit sind direkt in die Überarbeitung der Norm SN 640 907 eingeflossen.

weitergehender Forschungsbedarf:

Die gesamte Methodik muss hinsichtlich Praxistauglichkeit angepasst werden. Dazu gehören eine wissenschaftliche Überarbeitung der Einflüsse des Zustandes auf Kosten und Nutzen, wie auch die Untersuchung des Einflusses von Unterhaltsmassnahmen auf den zukünftigen Zustandsverlauf. Der bestehende Referenzfall ist allenfalls mit einem praxistauglichen Referenzfall zu ersetzen.

Einfluss auf Normenwerk:

Erkenntnisse bereits in der Überarbeitung von SN 641 907 umgesetzt.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Goebbels

Vorname: Dirk

Amt, Firma, Institut: Baudirektion Kanton Zürich, Postfach, 8090 Zürich

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an ? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen <i>Transports de l'avenir ?</i> <i>Moteurs et carburants pour la mobilité de demain</i> <i>What drives us on ?</i> <i>Drives and fuels for the mobility of tomorrow</i>	2011
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärm mindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im labormasstab <i>Désenrobage des enrobés peu bruyants des couches de roulement sous sollicitation de roulement en laboratoire</i> <i>Stripping of Low Noise Surface Courses during Laboratory Scaled Wheel Tracking</i>	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors <i>SPIN-ALP: Abschätzung des Potentials des Intermodalen Verkehrs auf Alpenkorridoren</i> <i>SPIN-ALP: Estimation du potentiel du transport intermodal sur les axes transalpins</i>	2010
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts- Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten <i>Fonctions de résistance pour des tronçons routiers urbains en dehors de la zone d'influence de carrefours</i> <i>Capacity restraint functions for urban road sections not affected by intersection delays</i>	2010
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-Vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes. <i>Die charakteristischen Indikatoren einer Velostadt. Evaluationsmethode der Velopolitiken anhand von 8 Indikatorgruppen für kleine und mittlere Gemeinden</i> <i>Characteristic indices of a Bike City. Method of evaluation of cycling policies in 8 indices for small and medium-sized communes</i>	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology <i>Temps de parcours en réseau urbain</i> <i>Methodologie für Fahrzeitbewertung in städtischen Strassennetz</i>	2011
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit <i>Modèles d'impact d'équipements de véhicules pour améliorer la sécurité routière</i> <i>Modelling of the impact of in-vehicle equipment for the enhancement of traffic safety</i>	2009
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground <i>Entscheidungsgrundlagen und Hilfsmittel für die Planung von TBM-Vortrieben in druckhaftem Gebirge</i> <i>Critères de décision et outils pour la planification de l'avancement au tunnelier dans des conditions de roches poussantes</i>	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr <i>Basic technologies for detecting intermodal traveling passengers</i> <i>Les technologies de base pour l'enregistrement automatique des usagers de moyens de transports</i>	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr <i>L'aggressivité au volant</i> <i>Aggressive Driving</i>	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS" <i>Projet initial pour le paquet de recherche "Augmentation de l'utilité pour les usagers du système d'information de la route"</i> <i>Initial project for the research package "Increasing benefits for the users of the road and transport information system"</i>	2011
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen <i>Application areas of various means of transportation in agglomerations</i> <i>Domaine d'application de different moyen de transport dans les agglomérations</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren <i>Investigations of the ice-wall grow and frost heave in artificial ground freezing</i> <i>Recherches sur la formation corps gelés et du soulèvement au gel pendant la procédure de congélation</i>	2010
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post- tensioning tendons in bridges <i>Qualitätsprüfung und Überwachung elektrisch isolierter Spannglieder in Brücken</i> <i>Contrôle de la qualité et surveillance des câbles de précontrainte isolés électriquement dans les ponts</i>	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammen- treffen von Strassen mit der Schiene <i>Sécurité en cas de tracés rail-route parallèles ou rapprochés</i> <i>Safety measures to manage risk of roads mee- ting or running close to railways</i>	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen <i>On-site runoff experiments on roads</i> <i>Essai d'écoulements pour l'évacuation des eaux des autoroutes</i>	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik <i>IT-Security pour la télématique des transports</i> <i>IT-Security for Transport and Telematics</i>	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen) <i>Passage pour piétons (les bases)</i> <i>Pedestrian crossing (basics)</i>	2011
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauch- absaugung <i>Quantification of the leakages into exhaust ducts in road tunnels with concentrated exhaust systems</i> <i>Quantification des fuites des canaux d'extrac- tion dans des tunnels routiers à extraction con- centrée de fumée</i>	2010
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels <i>Entwicklung einer besten Praxis-Methode zur Risikomodellierung für Strassentunnelanlagen</i> <i>Développement d'une méthode de meilleures pratiques pour l'analyse des risques dans les tunnels routiers</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhand D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis <i>Essai de résistance aux sulfates selon la norme SIA 262/1, Annexe D: Applicabilité et im- portance pour la pratique</i> <i>Testing sulfate resistance of concrete according to SIA 262/1, appendix D: applicability and rele- vance for use in practice</i>	2011
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen <i>Coopération dans les gares et arrêts</i> <i>Coopération at railway stations and stops</i>	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs <i>Activity oriented analysis of induced travel de- mand</i> <i>Analyse orientée aux activités du trafic induit</i>	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaf- tung <i>Approches innovantes de la gestion du sta- tionnement</i> <i>Innovative approaches to parking management</i>	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer? <i>Driver Inattention and Distraction as Cause of Accident: How do Drivers Behave in Cars?</i> <i>L'inattention et la distraction: comment se com- portent les gens au volant?</i>	2012