



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**

# **Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen**

**Les coûts de l'entretien courant des routes**

**Operational Maintenance Costs of Roads**

**R+R Burger und Partner AG**

**J. Lüking, Dr. rer. pol., Diplomvolkswirt**

**T. Herrmann, Dr. sc. ETH, Dipl. Math. ETH**

**K. Krauer, Dipl. Bauingenieurin HTL, Informatikerin FH NDS**

**F. Preisig AG**

**P. Eckstein, Dipl. Bauingenieur HTL**

**Forschungsauftrag VSS 2000/463 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**Juli 2008**

**1243**



## **Impressum**

R+R Burger und Partner AG  
Haselstrasse 1  
CH-5401 Baden  
+41 (0)56 203 72 11  
+41 (0)56 203 72 99  
info@rrag.ch

F. Preisig AG  
Grünhaldenstrasse 6  
CH-8050 Zürich  
+41 (0)44 308 85 85  
+41 (0)44 308 85 80  
preisig-zh@preisigag.ch

Bearbeitung:  
Jost Lüking  
Thomas Herrmann  
Katja Krauer  
Peter Eckstein

Begleitet durch VSS Expertenkommission 2.02:  
Kay W. Axhausen  
Georg Abay  
Ralf Chaumet  
Alain Cuche  
Christoph Lieb  
Rico Maggi  
François Reber  
Paul Widmer



## Inhaltsverzeichnis

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>2</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>3</b>
<b>1 ANWENDUNGSBEREICH</b> .....	<b>5</b>
1.1 Wozu dient die vorliegende Kostennorm? .....	5
1.2 Kosten-Nutzen-Analyse gemäss SN 641 820 .....	5
1.3 Abgrenzung des Begriffs "Betriebskosten von Strassenanlagen" .....	6
1.4 Vorhandene Normen und Empfehlungen .....	8
<b>2 BETRIEBLICHER UNTERHALT: GRUNDSÄTZE UND DEFINITIONEN</b> .....	<b>9</b>
2.1 Elemente des betrieblichen Unterhalts .....	9
2.2 Strassentypen .....	11
2.3 Bemerkungen .....	11
<b>3 MODELL ZUR BESTIMMUNG DER UNTERHALTSKOSTENSÄTZE</b> .....	<b>12</b>
3.1 Datenerhebung .....	12
3.2 Allgemeines Modell und Beispielrechnung .....	14
3.3 Allgemeine Kommentare zum Modell .....	16
3.4 Auswertungsergebnisse für Tunnelanlagen .....	17
3.5 Auswertungsergebnisse für Nationalstrassen – offene Strecken .....	18
3.6 Auswertungsergebnisse für Kantonsstrassen .....	20
3.7 Auswertungsergebnisse für Stadt- und Gemeindestrassen .....	21
3.8 Kommentar zu den Kostensätzen .....	22
3.9 Aggregation von bewertungstauglichen Kostenkennzahlen .....	22
<b>4 ÜBRIGE BETRIEBSAUSGABEN</b> .....	<b>27</b>
4.1 Schweizerische Strassenrechnung .....	27
4.2 Bewertungstaugliche Kostenkennzahlen .....	28
<b>5 BETRIEBSKOSTEN IM ZEITVERLAUF – TRENDABSCHÄTZUNG</b> .....	<b>29</b>
5.1 Kostentrends gemäss Strassenrechnung .....	29
5.2 Kostentrends beim betrieblichen Unterhalt .....	31
5.3 Kostenkennzahlen im Zeitverlauf .....	32
<b>6 AKTUALISIERUNG DER KOSTENKENNZAHLEN</b> .....	<b>35</b>
<b>7 GLOSSAR</b> .....	<b>36</b>
<b>8 LITERATURANGABEN</b> .....	<b>38</b>



## Zusammenfassung

Die vorliegende Kostennorm SN 641 826 liefert Kostensätze zur Abschätzung der betrieblichen Unterhaltskosten von Strassenanlagen. Darin enthalten ist das Wertgerüst (Kostensätze) zur Prognose der anfallenden Kosten des laufenden Strassenbetriebs im Vergleich von Referenz- und Planungsfällen des Strassenbaus und des Strassenmanagements. Die Norm stellt ein Modell zur Berechnung der Kosten des betrieblichen Unterhalts für die Mehrheit der Strassenanlagen zur Verfügung. Auf Besonderheiten (z.B. Wildübergänge, Winterdienst auf der Gotthardrampe, Wetterverhältnisse, spezielle Einrichtungen, ...) wird im Modell keine Rücksicht genommen, hingegen sollte solchen Begebenheiten im Einzelfall Rechnung getragen werden – beispielsweise mit Hilfe von Praktikern des betrieblichen Unterhalts. Um die zur Verfügung gestellten Modelle zu verwenden, müssen u.a. Informationen bezüglich des Projektumfangs, des Verkehrs, des Untersuchungsraums und des Zeithorizonts zur Verfügung stehen.

Die Betriebskosten entstehen in vier Bereichen: (i) betrieblicher Unterhalt, (ii) Signalisation, (iii) polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung, und (iv) Verwaltungskosten. Die Norm stellt dabei die Kosten des betrieblichen Unterhalts in den Vordergrund, da diese am ehesten von den baulichen und organisatorischen Massnahmen abhängen.

Für die Prognose der betrieblichen Unterhaltskosten werden, ausgehend von den Schweizerischen Mittelwerten, Kostenzu- und Kostenabschläge in Abhängigkeit von Dimension, Verkehr, Umgebung und Massnahmen bestimmt. Für die verschiedenen Strassenkategorien (HLS/HVS, Tunnel, übrige Strassen) werden jeweils separate Modelle zur Berechnung der betrieblichen Unterhaltskosten erstellt. Als Einflussfaktoren werden die Verkehrsstärke, Umgebung und Höhenlage, sowie das Alter und der Ausbau der Strassenanlage und bei Tunnels die Tunnellängen identifiziert. Mit Hilfe dieser Angaben ist es möglich, auf einfache Weise die Kosten des betrieblichen Unterhalts zu prognostizieren.

Im Bewertungszeitraum können sich die Betriebskosten verändern, da sich die Umgebungs- und Betriebsbedingungen (z.B. durch Mehrverkehr oder Alterung der Anlage) verändert haben. Andererseits ergeben sich Kostenveränderungen auch im Trend des technischen Fortschritts, für welchen ebenfalls Prognosemodelle erstellt werden.

Verglichen mit den Investitionen in Neu-, Aus- oder Umbauten von Strassenanlagen bewegen sich die Betriebsausgaben auf sehr geringem Niveau. Über einen typischen Bewertungszeitraum von 40 Jahren machen die Betriebskosten zwischen 5% und höchstens 20% des Gegenwartswerts aus. Die Betriebskosten spielen in der Gesamtbewertung deshalb eine untergeordnete Rolle; relevant für Projektbewertungen sind die Betriebskosten v.a. im Vergleich von Varianten mit ähnlichen Investitionskosten.

## Résumé

La norme de coûts SN 641 826 fournit des coûts unitaires permettant d'évaluer les coûts de l'entretien courant des routes. Elle comprend un tableau des valeurs (coûts moyens) pour la prévision des coûts engendrés par l'exploitation en cours des routes, par rapport à des cas de référence et de planification en matière de construction et de gestion des routes. La norme fournit un modèle pour le calcul des coûts de l'entretien courant de la majorité des routes. Ce modèle ne prend pas en compte les particularités (telles que passages pour le gibier, entretien hivernal sur la rampe du Gothard, conditions météorologiques, installations spéciales, ...), qui sont plutôt traitées au cas par cas, par exemple avec l'aide de praticiens de l'entretien courant. Pour utiliser le modèle mis à disposition, il est notamment nécessaire de disposer d'informations sur l'envergure du projet, le trafic, la période d'examen et l'horizon temporel.

Les coûts d'exploitation proviennent de quatre domaines: (i) entretien courant, (ii) signalisation, (iii) tâches de régulation et de surveillance du trafic incombant à la police et (iv) frais administratifs. La norme met l'accent sur les coûts de l'entretien courant, ceux-ci étant les plus dépendants des mesures de construction et d'organisation

Pour prévoir les coûts de l'entretien courant, des majorations et des déductions de coûts dépendant des dimensions, du trafic, de l'environnement et des mesures sont déterminées sur la base des valeurs moyennes suisses. Des modèles séparés permettant le calcul des coûts de l'entretien courant sont établis pour chaque catégorie de route (routes à haut débit et principales, tunnels, autres routes). Les facteurs d'influence identifiés sont l'intensité du trafic, l'environnement et l'altitude, ainsi que l'âge et l'aménagement de la route, sans oublier la longueur dans le cas des tunnels. Ces données permettent de prévoir les coûts de l'entretien courant de façon simple.

Les coûts d'exploitation peuvent évoluer pendant la période d'évaluation suite au changement des conditions environnementales et d'exploitation (p. ex. par l'augmentation du trafic et le vieillissement de la route). L'évolution des coûts suit également les tendances du progrès technique, pour lequel des modèles de prévision sont également établis.

Comparés aux investissements nécessaires à la construction de nouvelles routes, à leur développement ou à leur rénovation, les coûts d'exploitation se situent à un niveau extrêmement bas. Pour une période d'évaluation typique de 40 ans, les coûts d'exploitation représentent entre 5% et 20% au maximum de la valeur présente. Dans le cadre de l'évaluation générale, ils jouent donc un rôle accessoire. Ainsi, les éléments pertinents pour l'évaluation de projets sont surtout les coûts d'exploitation par rapport aux variantes supposant des investissements similaires.



## Summary

Methods to estimate the operational maintenance costs of roads and therefore a value structure in order to predict the emerging costs of road operation are provided within the cost standard SN 641 826. The estimates can be used to compare reference and project cases of road construction and road management. The standard's model to estimate the operational maintenance costs is valid for the majority of roads. However, special circumstances (e.g. winter maintenance in the Alps, exceptional weather conditions, supplementary facilities ...) are not considered in the model. Nevertheless, the individual case has to accommodate such conditions – e.g. by including expert knowledge on road maintenance. In order to use the cost estimating models, information about project scope, traffic, location and time period must be available.

The operational costs are divided into four groups: (i) operational maintenance, (ii) signalisation, (iii) traffic control and monitoring by the police, and (iv) administrative costs. Since constructional and organisational measures primarily exert influence on the operational maintenance costs, this standard focuses on these costs.

In order to estimate the operational maintenance costs, evolving from the published Swiss Mean Values, surcharges and discounts on costs are determined, which depend on type, dimension, traffic volume and the surrounding area of the road. Different models are developed to estimate the operational maintenance costs for the different road types (motorways, tunnels and other roads). Traffic volume, road age and environment, as well as altitude and tunnel length (where applicable), are identified as the influential factors of operational maintenance costs. With these inputs, operational maintenance cost estimations can be computed easily.

During the specified time period, the operational maintenance costs are subject to change, since on one hand the preconditions on environment or operation may change (e.g. increased traffic volume or deterioration of installations). On the other hand, technical progress results in cost changes, for which prognostic models are developed too.

The operational maintenance costs are very low compared to investment in new construction, extension or reconstruction of roads. During a typical life time of 40 years, the operational maintenance costs account for 5% to, at most, 20% of the present value. However, operational costs are relevant in those cases, where variants with similar investment expenditure are compared.



## 1 Anwendungsbereich

### 1.1 Wozu dient die vorliegende Kostennorm?

SN 641 826 liefert Kostensätze zur Abschätzung der Kosten für den Betrieb - insbesondere für den betrieblichen Unterhalt - von Strassenanlagen in der Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) gemäss SN 641 820 (siehe [15]). Sie liefert insbesondere das Wertgerüst (Kostensätze) zur Abschätzung bzw. Prognose von Kosten des laufenden Strassenbetriebs im Vergleich von Referenz- und Planungsfällen des Strassenbaus und des Strassenmanagements.

Die Norm ist dort zu verwenden, wo keine besseren Informationen verfügbar sind. Ziel dieser Kostenabschätzung für den betrieblichen Unterhalt ist ein Modell zu erarbeiten, das Werkzeuge und Werte für eine grosse Mehrheit der Strassenanlagen zur Verfügung stellt. Sonderfälle („Ausreisser“) können deshalb nur ungenügend bewertet werden und daher sind für gut begründete Sonderfälle (z.B. "Winterdienst auf der N2-Gotthardrampe") spezielle Kosten abzuschätzen. Im Bewertungsprozess sind die Kostenangaben, wenn immer möglich, mit vorhandenen, für die bestehende bzw. projektierte Strassenanlage geltenden Kosteninformationen zu vergleichen bzw. mit Praktikern des betrieblichen Unterhalts zu verifizieren.

Die Norm dient der Abschätzung und Prognose der Kosten des betrieblichen Strassenunterhalts im Vergleich von Referenz- und Planungsfällen für bauliche, verkehrsorganisatorische und betriebliche Massnahmen im Strassennetz. Dabei ist nicht nur diejenige Strasse relevant, auf der die Massnahmen getroffen werden, sondern auch Strassen, die durch die Massnahmen vom Verkehr entlastet (bzw. mit mehr Verkehr belastet) werden.

### 1.2 Kosten-Nutzen-Analyse gemäss SN 641 820

SN 641 820 gilt für die Bewertung der volkswirtschaftlichen Effizienz von Infrastrukturinvestitionen und von verkehrspolitischen Massnahmen im Strassenverkehr. Die wesentlichen Grundsätze im Überblick:

Zu bewertende Massnahmentypen	Bauliche Massnahmen (Infrastruktur), verkehrsorganisatorische Massnahmen und betriebliche Massnahmen (z.B. Telematik)
Möglicher Projektumfang	Kleine und mittlere Projekte: Investition bis 50 Mio. Fr. oder maximal 50'000 von einer Veränderung des Verkehrsregimes direkt betroffene Fahrten pro Tag Regionale Grossprojekte: Investitionen von 50 bis 500 Mio. Fr. oder bis 500'000 von einer Veränderung des Verkehrsregimes direkt betroffene Fahrten pro Tag Überregionale und nationale Grossprojekte: Investition über 500 Mio. Fr. oder mehr als 500'000 von einer Veränderung des Verkehrsregimes direkt betroffene Fahrten pro Tag

Anwendbarkeit in Planungsphasen	Grobevaluation ("Vorstudie") oder Feinevaluation ("Hauptstudie"): Strategische Planung, Machbarkeitsstudie/Zweckmässigkeitsbeurteilung, Vorprojekt, Bauprojekt
Bezug zu NISTRA	Die KNA ist Teil der gesamthaften Nachhaltigkeitsbeurteilung auf der Basis von NISTRA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Strassen)
Bewertungstatbestände	Kostenunterschiede zwischen Planungsfällen und einem Referenzfall, z.B. auf Grund von Unterschieden in Dimensionierung, Ausstattung, Zustand oder Lage des Strassennetzes und/oder in der Verkehrsbelastung der Strassenanlagen.
Zeitbezug	Der Betrachtungszeitraum umfasst die Planungs-, Projektierungs- und Bauphase sowie die Nutzungsphase. Die Planungs-, Projektierungs- und Bauphase wird für jede Variante entsprechend der erwarteten Dauer geschätzt. Die Nutzungsphase beträgt 40 Jahre. Haben die verschiedenen Varianten eines Projektes unterschiedliche Eröffnungszeitenpunkte, wird für alle Varianten als gemeinsames Begrenzungsjahr dasjenige Jahr verwendet, in welchem die zuletzt eröffnete Variante 40 Jahre in Betrieb ist. Bei rein verkehrsorganisatorischen Massnahmen beträgt der Betrachtungszeitraum ab Änderung des Verkehrsregimes minimal 5 Jahre.
Raumbezug	Der Untersuchungsraum umfasst das gesamte Einflussgebiet. Es ist zu berücksichtigen, dass der Bau einer neuen Strasse zu Einsparungen von Betriebs- und Unterhaltskosten auf einer anderen, durch den Neubau entlasteten Strecke führen können.
Vergleichszeitpunkt	Um die Kosten und Nutzen, die in unterschiedlichen Zeitperioden anfallen, vergleichbar zu machen, müssen sämtliche Ausgaben und Einnahmen auf einen gemeinsamen Vergleichszeitpunkt umgerechnet werden. Der Vergleichszeitpunkt ist der Zeitpunkt der Entscheidung für oder gegen ein Projekt (oder eine Projektvariante).
Preisbasis	Kostenberechnungen erfolgen zu realen Preisen. Für jede KNA ist ein einheitlicher Preisstand zu wählen, der aber in verschiedenen Untersuchungen nicht gleich sein muss. Die Kosten und Nutzen sind in Faktorpreisen (nicht Marktpreisen) anzugeben, d.h. die indirekten Steuern sind herauszurechnen.

### 1.3 Abgrenzung des Begriffs "Betriebskosten von Strassenanlagen"

SN 641 826 gilt für Strassenanlagen des rollenden Verkehrs einschliesslich einfacher ÖV-Anlagen wie an der Strasse liegende Haltestellen. Sie gilt nicht für spezielle ÖV-Anlagen im Strassenbereich, z.B. Strassenbahngleise, Fahrstromversorgung, Bahnübergänge usw. Ebenso ist sie nicht für Anlagen des ruhenden Verkehrs, insbesondere Parkhäuser usw., gültig.

Im Lebenszyklus einer Strassenanlage fallen folgende Kosten an:

- Baukosten (Investitionskosten)
- Betriebskosten
- Erneuerungs-, Ausbau- und Ersatzkosten (Re-Investitionen)
- Kosten für Rückbau und Entsorgung

Das für SN 641 826 entwickelte Wertgerüst umfasst lediglich Betriebs- und betriebliche Unterhaltskosten von Strassen gemäss SN 641 820, Kapitel 33. Baukosten, Erneuerungs-/Ersatzkosten sowie allfällige Kosten für Rückbau und Entsorgung werden in der Kosten-Nutzen-Analyse als investive Ausgaben separat behandelt.

Die schweizerische Strassenrechnung [3] unterscheidet vier Kategorien für die Betriebskosten von Strassen:

- betrieblicher Unterhalt
- Signalisation (soweit nicht bereits beim betrieblichen Unterhalt verbucht)
- polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung
- Verwaltungskosten (soweit nicht bereits beim betrieblichen Unterhalt verbucht)

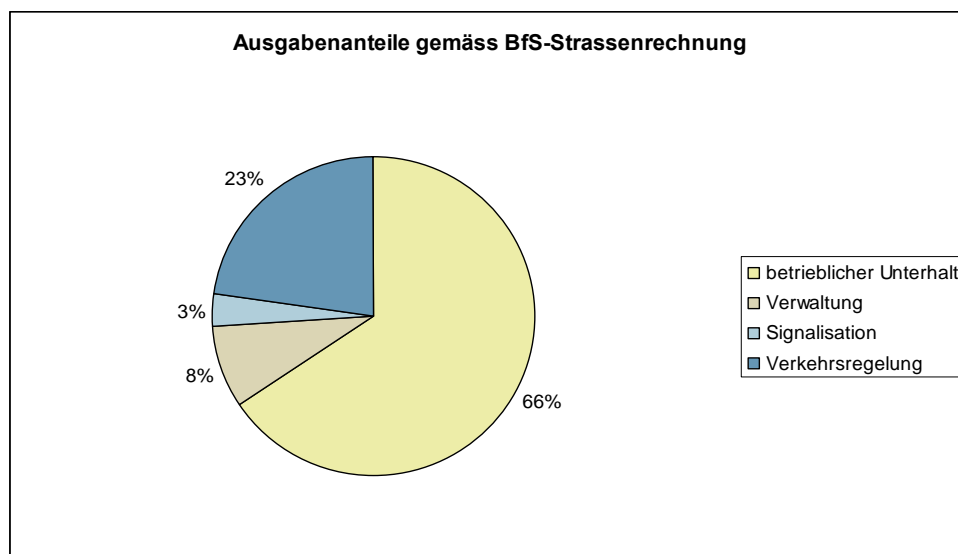


Abbildung 1: Hauptelemente des Strassenbetriebs gemäss schweizerischer Strassenrechnung – Anteile an den jährlichen Ausgaben

SN 641 826 stellt die Kosten des betrieblichen Unterhalts in den Vordergrund, da diese am ehesten von den zu bewertenden baulichen bzw. organisatorischen Massnahmen abhängen. Die vorliegende Norm geht von den Schweizerischen Mittelwerten für die Kosten des betrieblichen Unterhalts aus [1] – soweit solche vorhanden sind – und bestimmt Kostenzu- bzw. -abschläge in Abhängigkeit von Massnahmen, Zustand, Dimension, Umgebung und Verkehr. Zur Quantifizierung der jeweiligen Zu- bzw. Abschläge werden Modelle angegeben. Dabei werden die

Strassen in verschiedene Kategorien unterteilt, für die je ein separates Modell zur Berechnung der betrieblichen Unterhaltskosten erstellt wird.

#### 1.4 Vorhandene Normen und Empfehlungen

Verglichen mit den Investitionsausgaben für den Neu-, Aus- oder Umbau einer Strassenanlage haben die jährlichen Betriebsausgaben typischerweise einen geringen Anteil an den Lebenszykluskosten. Über einen Bewertungszeitraum von 40 Jahren – die in der KNA typischerweise angenommene Nutzungsdauer eines Strassenprojektes – dürften die Betriebskosten je nach Anlage 5 % bis höchstens 20 % des Gegenwartwertes der Lebenszykluskosten ausmachen. Strassenanlagen mit hohen Betriebskosten – das sind v.a. Tunnels – gehen mit so hohen Investitionskosten einher, dass die Betriebskosten in der Gesamtbewertung auch hier nur einen untergeordneten Einfluss haben. Relevant für die Projektbewertung sind die Strassen-Betriebskosten vor allem im Vergleich von Projektvarianten mit ähnlichen Investitionskosten.

In den vorliegenden Normen und Empfehlungen zur Bewertung von Strassenprojekten in der Schweiz spielen die Strassen-Betriebskosten folglich eher eine untergeordnete Rolle:

- SN 640 907 *Grundlagen zur Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement von Strassen* enthält lediglich Kostenkennzahlen für den baulichen Unterhalt. Ebenso ist SN 640 986 *Durchschnittlicher jährlicher Mittelbedarf für die Erhaltung von Strassennetzen* im Wesentlichen auf den baulichen Unterhalt bezogen.
- Die standardisierte Bewertungsmethode des ASTRA für die Beurteilung von Projekten bzw. Projektbestandteilen mit Hilfe der Kostenwirksamkeitsanalyse [10] veranschlagt zur Bemessung von Betriebs- und Unterhaltskosten "im allgemeinen" 1,5 % der Investitionskosten. Im Übrigen wird auf die schweizerischen Mittelwerte für den betrieblichen Unterhalt (je nach Anlage werden CHF 46'000–295'000 pro km und Jahr vorgeschlagen) sowie auf Polizeikosten (CHF 60'000 pro km und Jahr) verwiesen. Betriebskostenänderungen aufgrund von Verkehrsverlagerungen sollen anhand der Lastwagenkilometer berücksichtigt werden, wobei pro LW-Kilometer im bestehenden Netz CHF 0,22 und auf der neu erstellten Strasse CHF 0,15 veranschlagt werden.

## 2 Betrieblicher Unterhalt: Grundsätze und Definitionen

### 2.1 Elemente des betrieblichen Unterhalts

Der betriebliche Unterhalt von Strassen umfasst sämtliche Tätigkeiten und Tatbestände, die der laufenden Gewährleistung von Anlagefunktion, verkehrlicher Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit dienen. Die Kosten des betrieblichen Unterhalts sind *Instandhaltungskosten*, d.h. Kosten, die aufgewendet werden müssen, um den bestimmungsgemässen Gebrauch der baulichen Anlagen während ihrer Nutzungsdauer zu gewährleisten. Diese Kosten lassen sich in folgende Kategorien unterteilen:

- (i) Kosten für den Winterdienst:
  - a. Rufbereitschaft/Pikettdienst und Kontrollfahrten
  - b. Schneeräumung und Bekämpfung der Winterglätte (einschliesslich Streugut)
- (ii) Reinigungskosten
  - a. Reinigung von Fahrbahnen, Mittelstreifen, Banketten, Grünflächen, Nebenanlagen, Rastplätzen, Uferverbauungen, Schutzanlagen, Kunstbauten, Beleuchtungen, Signalisationsmitteln, Gebäuden und Messanlagen, Kanalisation
  - b. Transport und Entsorgung von Reinigungsgut
- (iii) Kosten für die Grünpflege
  - a. Rasen- und Gehölzpflege
  - b. Transport und Entsorgung von Schnittgut
- (iv) Kosten des Technischen Dienstes
  - a. Energieversorgung, Kontrolle, Wartung, Reparatur, Entsorgung von Beleuchtungs- und Belüftungsanlagen, Signalisationseinrichtungen, Markierungen, Stützkonstruktionen und Schutzvorrichtungen
  - b. Streckenbezogener Aufwand: Mieten, Bewilligungen und Gebühren
- (v) Kosten des Unfalldienstes
  - a. Instandstellung beschädigter Anlagen und Einrichtungen

Bemerkung: Der Unfalldienst sollte keine oder nur geringe Kosten verursachen, da die Kosten nach Möglichkeit dem Verursacher weiterverrechnet werden. Dies ist allerdings nicht immer und oft nicht vollumfänglich möglich.

- (vi) Bauliche Reparaturkosten
  - a. Kleinere Reparaturen, die ein sicheres Funktionieren einer Strassenanlage gewährleistet (Ausbesserungen)

Bemerkung: Vor allem in Gemeindebuchhaltungen wird kaum zwischen baulichem Unterhalt und baulichen Investitionen unterschieden (Was gehört zu den laufenden Kosten, was zu den Investitionskosten?).

- (vii) Kosten für den Ausserordentlichen Dienst

a. Massnahmen infolge unvorhersehbarer (einmaliger) Ereignisse

Bemerkung: Die Kosten des ausserordentlichen Dienstes können von Jahr zu Jahr schwanken und werden nicht immer separat ausgewiesen.

(viii) Kosten der zentralen Einrichtungen und der Werkhöfe

- a. Wartung von Fahrzeugen, Maschinen, Messgeräten und Werkzeugen, sowie der technischen Anlagen inkl. Software
- b. Auswerten von Meldungen und Betriebsdaten, Verkehrsüberwachung und -regelung, Mauterhebung
- c. Planung, Verwaltung und Überwachung von Arbeit, Material und Personal

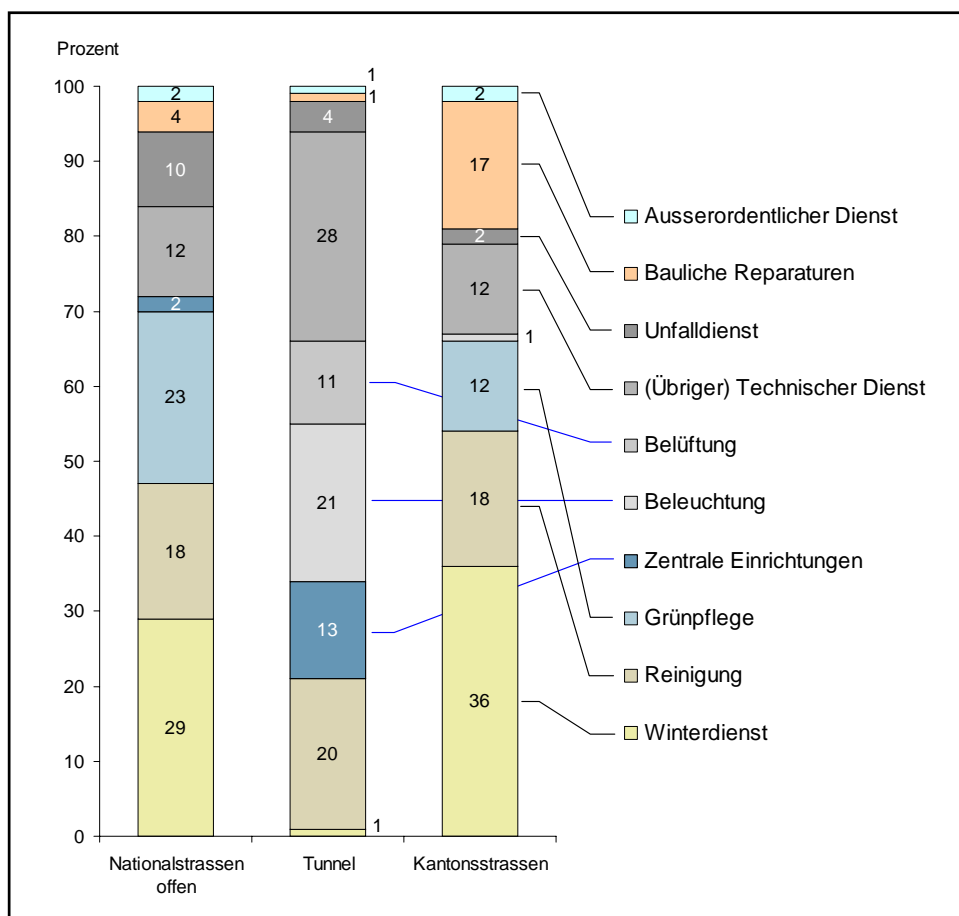


Abbildung 2: Elemente des betrieblichen Unterhalts – Ausgabenanteile



## 2.2 Strassentypen

Die schweizerischen Mittelwerte werden grob für drei verschiedene Strassentypen angegeben. Kostenkennzahlen für Stadt- und Gemeindestrassen wurden im Rahmen der vorliegenden Studie gesondert erhoben. Damit liegen jetzt Werte für vier verschiedene Strassentypen vor:

- (i) Nationalstrassen – offen
- (ii) Tunnels und Galerien
- (iii) Kantonsstrassen
- (iv) Stadt- und Gemeindestrassen

Der betriebliche Unterhalt dieser Strassen obliegt einzelnen Werkhöfen. Je nach Ausstattung (Fuhrpark, Maschinen, ...) und geographischer Lage (Höhenlage, Siedlungsumgebung, ...), sowie den zugewiesenen Strassenabschnitten verursacht der Unterhalt unterschiedliche Kosten.

## 2.3 Bemerkungen

Die Aufteilung des betrieblichen Unterhalts in verschiedene Kostenfaktoren hat den Vorteil, dass die kritischen Kostenverursacher innerhalb eines Werkhofes schnell identifiziert werden können. Oft verursachen Winterdienst oder Reinigung die grössten Kostenanteile. Ein Vergleich der einzelnen Werkhöfe ist aber oft problematisch, da die Werkhofsleiter die einzelnen Kosten unterschiedlich verbuchen, d.h. unterschiedlichen Kostenkategorien zuteilen. Dies gilt vor allem für die Bereiche Technischer Dienst, Unfalldienst, Bauliche Reparaturen, Ausserordentlicher Dienst und Zentrale Dienste. Diese Gruppen sind teilweise eng miteinander verknüpft und überlappen sich. Hingegen lassen sich die drei Kategorien Reinigung, Winterdienst und Grünpflege meist gut miteinander vergleichen, da hier die Kosten klar umrissen und von den übrigen Faktoren abgegrenzt sind.

Die ausgewiesenen Kosten der Werkhöfe unterscheiden sich nicht nur in der Erfassung der oben genannten Kostenfaktoren, sondern hängen auch von den zu Grunde liegenden Strassentypen ab. Darüber hinaus hat der angestrebte Strassenzustand einen wesentlichen Einfluss auf die Unterhaltskosten. Über Stadt- und Gemeindestrassen können oft nur undetaillierte Auskünfte eingeholt werden, da die Kostenfaktoren nicht einheitlich definiert sind (verschiedene Definitionen der Kostenkategorien). Vergleiche werden deshalb umso schwieriger, je lokaler die zu analysierenden Daten sind.

Die Kosten von Schadenwehren waren bis zum 31.12.2001 in den Kosten des Technischen Dienstes enthalten. Dies muss insbesondere in älteren Datensätzen berücksichtigt werden. Zudem ist die Analyse von Daten in einer Zeitreihe erschwert.

Die Kosten der Zentralen Einrichtungen sind nicht streckenbezogen, sondern werden pauschal berechnet und erst in einem zweiten Schritt auf die Strecken verteilt. Zudem werden diese Kosten erst seit 2002 separat erhoben; früher waren sie in den Kosten des Technischen Dienstes enthalten. Allerdings scheinen noch nicht alle Werkhöfe diese Umstellung vollzogen zu haben, was einen Vergleich zwischen den Kostenkategorien zusätzlich erschwert.

### 3 Modell zur Bestimmung der Unterhaltskostensätze

Die schweizerischen Mittelwerte, i.w.S. Laufmeterkosten für den betrieblichen Strassenunterhalt, gelten für "Durchschnittsverhältnisse" des schweizerischen Strassennetzes. Abweichungen von diesen Durchschnittsverhältnissen bestimmen die Höhe der Kosten im zu bewertenden Einzelfall. Zur Abschätzung der fallspezifischen Kosten wird ein Modell entwickelt, das den Kosteneinfluss der Abweichungen vom Durchschnittsfall identifiziert und quantifiziert.

Das Spektrum der Einflussfaktoren für das Modell soll so breit, aber auch so einfach wie möglich sein. Grundsätzlich lassen sich die Kostenzu- bzw. -abschläge in fünf Einfluss-Kategorien aufteilen:

- (i) dimensionsabhängige Zu- / Abschläge:
  - a. Strassenbreite bzw. Anzahl Fahrspuren
  - b. Vorhandensein von Standstreifen in Tunnels
  - c. Vorhandensein von Trottoirs und/oder Radwegen entlang Kantons- und Gemeindestrassen
  - d. Bemessung der Grünanlagen
- (ii) zustands- bzw. altersabhängige Zu- / Abschläge
  - a. Alter der Anlage
- (iii) umgebungsabhängige Zu- / Abschläge
  - a. Siedlungsumgebung
  - b. Höhenlage
- (iv) verkehrsabhängige Zu- / Abschläge
  - a. Verkehrsaufkommen inkl. Schwerverkehrsanteil
- (v) massnahmenabhängige Zu- / Abschläge
  - a. spezielle Einpassung in das Ortsbild
  - b. Schnittstellen zum ÖV

Gewisse Aufwandsfaktoren des Strassenbetriebs sind in diesen Einflusskategorien implizit enthalten. Die Strassenbeleuchtung sowie der Betrieb von Lichtsignalanlagen ist beispielsweise ein wesentlicher Grund für Kostenzuschläge in städtischer Umgebung.

#### 3.1 Datenerhebung

Mittels Fragebögen wurden Werkhofsleiter zu ihrer Einschätzung der Kostenfaktoren befragt. Dabei wurden sowohl die vier verschiedenen Strassentypen als auch die folgenden fünf Kostenfaktoren unterschieden:

- (i) Winterdienst
- (ii) Reinigung
- (iii) Grünpflege

- (iv) Technischer Dienst
- (v) Bauliche Reparaturen

Ganz oder teilweise ausgefüllte Fragebögen und Informationen von folgenden Gemeinden und Werkhöfen flossen in die Auswertung ein: Baden, Basellandschaft, Bern, Hinwil, Luzern (Sprengi), Niederrohrdorf, Nürensdorf, Opfikon, Reinach, Röthenbach, Rüegsau, Spiez, Thusis, Trub, Wallisellen, Winterthur, Wynigen und Zürich (Stadt).

Da nicht alle Werkhofsleiter detaillierte Angaben machen konnten, wurden zusätzlich verschiedene Einflüsse variiert und die Werkhofsleiter mit einer Einschätzung der Kosteneinflüsse beauftragt. Eine solche Variation ist beispielsweise: „Wenn an Stelle einer zweistreifigen eine dreistreifige Fahrbahn vorhanden wäre, wie würden sich Ihrer Meinung nach die Kosten (prozentual) für die Reinigung ändern?“

Die Kostenfaktoren werden pro Masseinheit ermittelt. Als Masseinheiten dienen Kilometer (Kantonsstrassen), virtuelle Kilometer (Nationalstrassen offen und Tunnels) bzw. Quadratmeter (Stadt- und Gemeindestrassen). Die virtuelle Länge eines Nationalstrassenkilometers ist eine angepasste Länge, die Fahrbahnverbreiterungen, Anschlüsse, Rastplätze, usw. in zusätzliche Längen umrechnet. Dies erlaubt, unterschiedliche Strassenabschnitte miteinander zu vergleichen. Die Umrechnung eines (effektiven) Kilometers Nationalstrasse in virtuelle Kilometer Nationalstrasse ist in Kapitel 7 beschrieben (siehe dazu auch [5]). Im Mittel entsprechen 1 effektiven Kilometer 1.27 virtuelle Kilometer. Das ASTRA legt die virtuellen Längen und deren Berechnung fest. Virtuelle Kilometer werden nur für offene Nationalstrassenstrecken sowie Tunnels angewendet. Bei Kantons- und Gemeindestrassen werden hingegen die effektiven Kilometer berücksichtigt.

Beispiel einer Frage des Fragebogens:

**NATIONALSTRASSE**

**Thema:** Winterdienst

**Einflussfaktor:** Verkehr

**Bezugsfall:** durchschnittlich 20'000 - 30'000 Fahrzeuge pro Tag

**Kosten Bezugsfall:** \_\_\_\_\_ CHF / kmv

**Variation eines Einflussfaktors:**

Weniger als 20'000 Fahrzeuge pro Tag:

- 20% oder noch ausgeprägter Kostenabschlag
- 20% bis -10%
- 10% bis 0%
- Keine Auswirkungen

30'000 – 50'000 Fahrzeuge pro Tag:

- 0% bis 10% Kostenzuschlag
- 10% - 20%
- mehr als 20%
- keine Auswirkungen

50'000 – 75'000 Fahrzeuge pro Tag:

- 0% bis 10% Kostenzuschlag
- 10% - 20%
- mehr als 20%
- keine Auswirkungen

Mehr als 75'000 Fahrzeuge pro Tag:

- 0% bis 10% Kostenzuschlag
- 10% - 20%
- mehr als 20%
- keine Auswirkungen

### 3.2 Allgemeines Modell und Beispielrechnung

Die schweizerischen Mittelwerte werden je nach Ausprägung der Einflussfaktoren multiplikativ gewichtet, d.h. die Zu- und Abschläge vom Mittelwert werden mit dem Mittelwert multipliziert. Das allgemeine Berechnungsmodell umfasst die Parameter  $M$ ,  $\lambda$ ,  $a_1 \dots a_n$  und lässt sich folgendermassen beschreiben:

$$C = M\lambda a_1 \dots a_n$$

Dabei werden die folgenden Variablen verwendet:

- $C$  Gesamtkosten des betrieblichen Unterhalts pro km bzw. kmv
- $M$  Schweizerischer Mittelwert (aus [1], abhängig vom Strassentyp)
- $n$  Anzahl Einflussfaktoren (abhängig vom Strassentyp)
- $a_i$  multiplikative Zu-/Abschläge abhängig von Einflussfaktoren
- $\lambda$  Korrekturfaktor (abh. von Strassentyp, Anzahl Einflussfaktoren)

$M$  wird aus den schweizerischen Mittelwertetabellen [1] in die Berechnung übertragen; deshalb wird hier nicht näher auf diesen Parameter eingegangen.  $\lambda$  sowie die Zu- und Abschläge  $a_1 \dots a_n$  werden mit Hilfe der Varianzanalyse abgeschätzt. Das Rahmenmodell ist ein  $n$ -Weg-Haupteffektmodell, welches z.B. für  $n = 3$  (also 3 Effekte) folgendermassen lautet:

$$C_{ijkl} = \mu + E_i + F_j + G_k + \varepsilon_{ijkl}$$

wobei angenommen wird, dass die zufälligen Fehler  $\varepsilon_{ijkl}$  bei den Messungen normalverteilt sind, und dass die Wechselwirkungen ersten Grades und höher vernachlässigbar sind. Da in den Umfragen jeweils nach einzelnen Einflussfaktoren gefragt wurde, kann man obiges Modell weiter vereinfachen, indem man die einzelnen Ausprägungen der Effekte jeweils separat mittels eines 1-Weg-Modells abschätzt. Den Mittelwert  $\mu$  wird durch den Gesamtmittelwert der Angaben der Werkhofsleiter hinreichend genau abgeschätzt.

Beispiel: Um den Einfluss des Verkehrsaufkommens auf den Nationalstrassen abzuschätzen wurden die Angaben der Werkhofsleiter in eine Kostentabelle eingetragen. Die Einschätzung der Kosten bzw. der Stärke der Einflussfaktoren bzgl. der fünf Kostenfaktoren Winterdienst, Reinigung, Grünpflege, Technischer Dienst und Bauliche Reparaturen wurden dabei zu Gesamtkosten aufaddiert. Die Stärke des Einflusses ist in Tabelle 1 aufgeführt. Dabei dient ein DTV von 20'000-30'000 Fahrzeugen als Referenzangabe (Einfluss 1.00) und die anderen Kategorienwerte wurden pro Nationalstrassenabschnitt durch Quotient der von den Leitern eingeschätzten Stärke und dem Referenzwert abgeschätzt. Insgesamt wurden für die Nationalstrassen 10 Abschnitte für die Einschätzung der Einflussfaktoren einbezogen. Der Durchschnitt der Einschätzungen für das Verkehrsaufkommen ist in Spalte „DTV-Schnitt“ abzulesen.

DTV	A	B	C	D	E	...	$m_i$	DTV-Schnitt
<20'000	1.00	1.00	0.97	1.00	0.93	...	10	0.99
20'000 – 30'000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	...	10	1.00
30'000 – 50'000	1.04	1.10	1.09	1.00	1.00	...	10	1.04
50'000 – 75'000	1.08	1.21	1.13	1.00	1.00	...	10	1.08
>75'000	1.13	1.24	1.18	1.00	1.00	...	10	1.10
							<b>50</b>	<b>1.04</b>
							Summe	Durchschnitt

Tabelle 1: Varianzanalyse bezüglich DTV

Es zeigen sich verschiedene und interessante Einschätzungen der Werkhofsleiter: Während der Werkhofsleiter für den Autobahnabschnitt D den Einfluss des Verkehrsaufkommens als unbedeutend einschätzt, rechnen die Leiter von A, B, C und E mit teilweise stark steigenden Kosten bei Mehrverkehr (bis 24% höhere Kosten von der niedrigsten bis zur höchsten Kategorie für B).

Allerdings sind in dieser Beispielrechnung die Kosten noch nicht berücksichtigt. Werden die einzelnen Einflussfaktoren zusätzlich mit den tatsächlich auftretenden Kosten gewichtet, so ergeben sich noch kleine Verschiebungen in den Schätzwerten (siehe Tabelle 3 bis Tabelle 6); zudem sind die Einflüsse nicht be-

züglich eines Referenzfalls abzuschätzen, sondern absolut. Diese zwei Korrekturen wurden in der Übersichtstabellen in Kapitel 3.9 zusätzlich mitberücksichtigt; dazu wurden die Kosteneinflüsse mittels folgender Formel abgeschätzt. Sei  $E$  beispielsweise der Faktor, der den Einfluss des Verkehrs beschreibt. Dann werden  $E_1$  bis  $E_5$  folgendermassen abgeschätzt:

$$E_i = \bar{C}_L - \mu_E = \frac{\sum_j C_{ij}}{m_i} - \frac{1}{\sum_{k=1}^5 m_k} \sum_{ij} C_{ij}$$

Mit Hilfe dieser Formel berechnet sich  $E_1$  beispielsweise aus der Differenz zwischen dem Klassenschnitt für „weniger als 20'000 Fahrzeuge“ (CHF 62'304) und dem Gesamtschnitt  $\mu_E$  der Kostenangaben bzgl. DTV (CHF 65'574) also zu  $E_1 = -3'270$ . Den Gesamtmittelwert  $\mu$  wird dabei aus allen Einflusskategorien (Verkehr, Höhenlage, ...) als Mittelwert abgeschätzt und beträgt im Beispiel für die Nationalstrassen CHF 64'571.

Um nun die Schätzwerte für das multiplikative Modell zu erhalten, wird angenommen, dass die Schätzwerte aller Einflussfaktoren  $A_i$  im Verhältnis zu  $\mu$  klein sind. Mit Hilfe der Formel  $a_i = 1 + A_i/\mu$  lassen sich daraus die Schätzwerte für  $a_1 \dots a_n$  berechnen. In obigem Beispiel ist  $E_1 = -3'270$  und deshalb

$$a_1 = 1 + \frac{-3'270}{64'571} = 0.95$$

Der Korrekturfaktor  $\lambda$  wird dabei abhängig vom Strassentyp jeweils durch den Quotienten  $\frac{\mu}{M}$  abgeschätzt – in diesem Beispiel durch 1.02.

### 3.3 Allgemeine Kommentare zum Modell

Wenn man annehmen kann, dass sich die Zu- und Abschläge mit der Zeit nicht ändern (z.B. "Mehrverkehr verursacht immer 10% höhere Kosten"), so hat das multiplikative Modell den offensichtlichen Vorteil, dass es seine Gültigkeit behält, auch wenn sich der Schweizerische Mittelwert  $M$  ändert. Die Einführung des Korrekturfaktors  $\lambda$  hat weitere Vorteile:

- (i) Im Modell wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Einflussfaktoren unabhängig voneinander sind (keine Korrelation vorhanden). Falls sich auf Grund zukünftiger Studien ergeben sollte, dass sich gewisse Einflussfaktoren gegenseitig verstärken bzw. abschwächen, so kann durch eine Anpassung des Korrekturfaktors diese Korrelation wieder ausgeglichen werden.
- (ii) Falls die Anzahl der Einflussfaktoren gross ist, so verstärken sich die einzelnen Zu- und Abschläge gegenseitig stark (durch die Multiplikation). Um diesen Effekt abzuschwächen oder weiter zu verstärken, kann  $\lambda$  entsprechend angepasst werden.
- (iii) Müssen sich auf Grund besonderer zusätzlicher lokaler Begebenheiten (z.B. Pflastersteine, Allee, ...) die Einflussfaktoren zusätzlich verstärken, bzw. abschwächen, so kann dies durch eine Vergrösserung bzw. eine Verkleinerung von  $\lambda$  erreicht werden.

Da in unseren Studien nur maximal sechs Einflussfaktoren aufgeführt werden und davon ausgegangen wird, dass zwischen den einzelnen Einflussfaktoren keine Korrelation auftritt, entfällt eine Anpassung von  $\lambda$  vorderhand.

Durch die Möglichkeit von Anpassungen an lokale Begebenheiten ist einerseits eine Anpassung des Modells an spezielle Bedürfnisse und andererseits die Gültigkeit der geschätzten Parameter über eine längere Zeitdauer gewährleistet.

Bemerkungen: Für Stadt- und Gemeindestrassen sind die wenigen vorhandenen Daten so heterogen, dass nur ein pauschales Modell aufgestellt werden kann und die einzelnen Zu- bzw. Abschläge der verschiedenen Einflüsse kaum aufgeschlüsselt werden können (siehe Tabelle 6). Um genauere Einflüsse auf die Kosten zu erhalten, müssen weitere detaillierte Studien zu den Betriebskosten der Strassenanlagen von Gemeinden durchgeführt werden.

### 3.4 Auswertungsergebnisse für Tunnelanlagen

Ein wesentlicher Kostenfaktor für Tunnelanlagen ist die *Länge*. Da kurze Tunnels (z.B. Schöneich) nicht belüftet werden müssen, entfällt für diese Tunnels die Kategorie Belüftung. Zudem ist für die Bemessung der Lüftung massgebend, ob Richtungsverkehr oder Gegenverkehr herrscht. Lange, einröhrige Tunnels benötigen ausserdem spezielle Flucht- oder Sicherheitseinrichtungen, die besondere Betriebskosten verursachen. Die Schweizerischen Mittelwerte sind entsprechend nach Länge und Röhrenzahl differenziert (siehe Tabelle 2).

Schweizerischer Mittelwert <i>M</i> total (Fr./kmv)		261'100
	Tunnel 2-spurig bis 600m	103'600
	Tunnel 2-spurig bis 2'000m	199'900
	Tunnel 2-spurig bis 2'000m	303'900
	Tunnel 4-spurig (=2 Röhren) bis 600m	286'400
	Tunnel 4-spurig (=2 Röhren) bis 2'000m	267'800
	Tunnel 4-spurig (=2 Röhren) bis 2'000m	246'200

Tabelle 2: Schweizerische Mittelwerte für Tunnel in Abhängigkeit der Länge und Anzahl Spuren.

Als zusätzliche äussere Einflussfaktoren für Tunnels wurden *Verkehrsaufkommen*, *Standstreifen* und *Alter* identifiziert. Jeder dieser Einflussfaktoren ist in Klassen unterteilt, die die zur Verfügung stehenden Variationen angeben; beispielsweise gibt es fünf Klassen für das Verkehrsaufkommen. Für alle Einflussfaktoren und die entsprechenden Unterklassen wird der multiplikative Einfluss mittels obigem Verfahren geschätzt. Die Zu- bzw. Abschläge mit den zugehörigen Klassen sind in folgender Zusammenstellung zu finden:

Einflussfaktor <i>Verkehr</i>		
	0 – 20'000 Fz/d	0.98
	20'000 – 30'000 Fz/d	0.99
	30'000 – 50'000 Fz/d	0.99
	50'000 – 75'000 Fz/d	1.01
	>75'000 Fz/d	1.02
Einflussfaktor <i>Standstreifen</i>		
	Vorhanden	1.01
	Nicht vorhanden	0.99
Einflussfaktor <i>Alter des Tunnels</i>		
	Neu	0.96
	1-5 Jahre	0.99
	5-10 Jahre	1.00
	10 – 20 Jahre	1.02
	>20 Jahre	1.03
<b>Korrekturfaktor <math>\lambda</math></b>		<b>0.96</b>

Tabelle 3: Einflussfaktoren für Tunnel.

Berechnungsbeispiel: Die Kosten des betrieblichen Unterhalts eines 7-jährigen, 2-spurigen und 1'500m langen Tunnels mit vorhandenem Standstreifen und einem Verkehrsaufkommen von durchschnittlich 25'000 Fahrzeugen pro Tag belaufen sich pro virtuellen Kilometer auf ungefähr:

$$199'900 \text{ Fr./kmv} * 0.96 * 0.99 * 0.99 * 1.00 = 188'100 \text{ Fr./kmv}$$

Die schweizerischen Mittelwerte für unterschiedliche Tunnellängen liefern teilweise schwierig zu erklärende Werte, z.B. eine unerwartete Kostendegression bei zweiröhriigen Tunnels mit zunehmender Länge. Vermutlich sind aufgrund der geringen Anzahl von Beispielen hier einzelfallspezifische Verzerrungen wirksam. Auf Grund der Umfrageresultate verursacht der vorhandene Standstreifen in Tunnels höhere Kosten als kein Standstreifen, obwohl das Vorhandensein eines Standstreifens die Unterhaltsarbeiten erleichtert (was zu niedrigeren Kosten führt). Allerdings verursacht der Standstreifen auf Grund der grösseren Tunnelröhren höhere Unterhaltskosten (beispielsweise für die Reinigung).

### 3.5 Auswertungsergebnisse für Nationalstrassen – offene Strecken

Als Einflussfaktoren für die offenen Nationalstrassenabschnitte wurden *Verkehrsaufkommen*, *Siedlungsumgebung*, *Höhenlage*, *Strassenbreite*, *Grünanlagen* und *das Alter* der Strasse identifiziert. Jeder dieser Einflussfaktoren ist wiederum in Klassen unterteilt; beispielsweise ist die Siedlungsumgebung in Stadt, Land und Agglomeration unterteilt. Für alle Einflussfaktoren und die entsprechenden Unterklassen werden die Zu- bzw. Abschläge mittels obigem Verfahren geschätzt. Die ermittelten Zu- und Abschläge mit den zugehörigen Klassen sind in folgender Zusammenstellung zu finden (siehe Tabelle 4).



<b>Einflussfaktor Verkehr</b>		
	0 – 20'000 Fz/d	0.95
	20'000 – 30'000 Fz/d	0.96
	30'000 – 50'000 Fz/d	1.00
	50'000 – 75'000 Fz/d	1.03
	>75'000 Fz/d	1.06
<b>Einflussfaktor Siedlungsumgebung</b>		
	Land	0.99
	Agglomeration	1.00
	Stadt	1.01
<b>Einflussfaktor Höhenlage</b>		
	0-400 m.ü.M.	0.98
	400 – 450 m.ü.M.	0.99
	450 – 800 m.ü.M.	1.01
	Über 800 m.ü.M.	1.03
<b>Einflussfaktor Strassenbreite</b>		
	2 Spuren (1 pro Richtung)	0.99
	4 Spuren (2 pro Richtung)	0.99
	6 Spuren (3 pro Richtung)	1.02
<b>Einflussfaktor Alter</b>		
	< 20 Jahre	0.99
	≥ 20 Jahre	1.01
<b>Einflussfaktor Grünanlagen</b>		
	Insgesamt <5m breit (beidseitig)	0.99
	Insgesamt ≥ 5m breit (beidseitig)	1.01
<b>Korrekturfaktor <math>\lambda</math></b>		<b>1.02</b>
<b>Schweizerischer Mittelwert <math>M</math> (Fr./kmv)</b>		<b>63'500</b>

Tabelle 4: Einflussfaktoren für Nationalstrassen (offene Strecken)

Berechnungsbeispiel: Die Kosten des betrieblichen Unterhalts eines virtuellen Kilometers vierspuriger, 25-jähriger Nationalstrasse mit durchschnittlich 60'000 Fahrzeugen pro Tag in der Nähe einer Stadt im Mittelland (500m über Meer) und mit wenig Grünanlagen beidseits (<5m) beträgt ungefähr:

$$63'500 \text{ Fr./kmv} * 1.02 * 1.03 * 1.01 * 1.01 * 0.99 * 1.01 * 0.99 = 67'400 \text{ Fr./kmv}$$

Auf Grund der Umfrageergebnisse ist der begrünte Mittelstreifen bei einer grossen Mehrheit der Experten kein kostentreibender Faktor. Hingegen deuten einige Bemerkungen darauf hin, dass die *Art* der Grünanlage (Gehölz, Magerwiese, ...) einen Einfluss haben kann.

### 3.6 Auswertungsergebnisse für Kantonsstrassen

Gegenüber den Nationalstrassen wurde als zusätzlicher Einflussfaktor für Kantonsstrassen das Vorhandensein eines Radweges oder Trottoirs identifiziert. Dieses neue Kriterium ersetzt das Kriterium der Grünanlagen der offenen Nationalstrassen; zudem wurde die Klasse „6 Fahrstreifen“ ersatzlos gestrichen und die Klasseneinteilung des Verkehrsaufkommens angepasst. Für alle Einflussfaktoren und die entsprechenden Unterklassen werden die multiplikativen Zu- bzw. Abschläge mittels obigem Verfahren geschätzt. Die Zu- und Abschläge mit den zugehörigen Klassen sind in folgender Zusammenstellung zu finden:

Einflussfaktor <i>Verkehr</i>		
	0 – 7'500 Fz/d	0.92
	7'500 – 10'000 Fz/d	0.95
	10'000 – 25'000 Fz/d	1.02
	25'000 – 50'000 Fz/d	1.05
	>50'000 Fz/d	1.07
Einflussfaktor <i>Siedlungsumgebung</i>		
	Land	0.93
	Agglomeration	0.98
	Stadt	1.09
Einflussfaktor <i>Höhenlage</i>		
	0-400 m.ü.M.	0.92
	400 – 450 m.ü.M.	1.00
	450 – 800 m.ü.M.	1.02
	Über 800 m.ü.M.	1.06
Einflussfaktor <i>Strassenbreite</i>		
	2 Spuren (1 pro Richtung)	0.94
	4 Spuren (2 pro Richtung)	1.06
Einflussfaktor <i>Alter</i>		
	< 20 Jahre	0.95
	≥ 20 Jahre	1.05
Einflussfaktor <i>Trottoir/Radweg</i>		
	Nicht vorhanden	0.92
	Einseitig	1.03
	Beidseitig	1.05
<b>Korrekturfaktor <math>\lambda</math></b>		<b>1.42</b>
<b>Schweizerischer Mittelwert <math>M</math> (Fr./kmv)</b>		<b>27'100</b>

Tabelle 5: Einflussfaktoren für Kantonsstrassen

Der im Verhältnis zu den Nationalstrassen hohe Korrekturfaktor hat verschiedene Ursachen: Zum einen ist das vorhandene Datenmaterial stadt- bzw. agglomerationslastig. Zum anderen drückt er aber auch den gegenseitig verstärkenden Effekt der einzelnen Einflussfaktoren aus. Die Zu- bzw. Abschläge scheinen mehr voneinander abzuhängen. Z.B. ist in städtischen Gebieten kaum mit einem geringen Verkehrsaufkommen auf Kantonsstrassen zu rechnen. Die Einflussfaktoren Siedlungsumgebung und Verkehr verstärken sich gegenseitig, da sie (stark) korreliert sind.

Berechnungsbeispiel: Die Kosten des betrieblichen Unterhalts eines (echten) Kilometers vierspuriger, 25-jähriger Kantonsstrasse auf dem Land mit durchschnittlich 30'000 Fahrzeugen pro Tag im Mittelland (500m über Meer) und mit einseitigem Radweg beträgt ungefähr:

$$27'100 \text{ Fr./km} * 1.42 * 1.05 * 0.93 * 1.02 * 1.06 * 1.05 * 1.03 = 43'900 \text{ Fr./km}$$

### 3.7 Auswertungsergebnisse für Stadt- und Gemeindestrassen

Auf Grund der spärlich vorhandenen Daten bzw. der sehr unterschiedlich geführten Buchhaltungen der Gemeinden kann nur ein sehr pauschales Modell aufgestellt werden. Im Gegensatz zu den drei bisherigen multiplikativen Modellen wird hier ein rein additives Modell verwendet. Als Basiswerte dienen die Durchschnittsangaben der vorhandenen Angaben der Gemeinden und Städte; d.h. als Basiswert dient ein Durchschnittswert aufgeteilt nach Siedlungsumgebung.

Ein gehobenes Ortsbild (verursacht z.B. höhere Reinigungskosten oder Kosten bei der Grünpflege auf Grund der Bepflanzungen) und Schnittstellen zum ÖV (z.B. Markierungsarbeiten, Grünpflege) ergeben einen kleinen Zuschlag in den Kosten pro Meter bzw. Quadratmeter. Andere systematische Einflussfaktoren konnten bislang nicht identifiziert werden.

Einflussfaktor <i>Siedlungsumgebung</i>			
	Land	47.00 Fr./m	5.50 Fr./m <sup>2</sup>
	Agglomeration	28.00 Fr./m	3.75 Fr./m <sup>2</sup>
	Stadt	3.50 Fr./m	0.70 Fr./m <sup>2</sup>
Einflussfaktor <i>Ortsbild</i>			
	Normales Ortsbild	-	-
	Gehobenes Ortsbild	1.50 Fr./m	0.25 Fr./m <sup>2</sup>
Einflussfaktor <i>Öffentlicher Verkehr</i>			
	Schnittstelle inexistent	-	-
	Schnittstelle existent	1.50 Fr./m	0.25 Fr./m <sup>2</sup>

Tabelle 6: Kosten des betrieblichen Unterhalts von Stadt- und Gemeindestrassen

Berechnungsbeispiel: Die Kosten des betrieblichen Unterhalts pro Quadratmeter einer Stadt mit gehobenem Ortsbild, die ebenfalls für Bereiche des ÖV zuständig ist, belaufen sich ungefähr auf:

$$5.50 \text{ Fr./m}^2 + 0.25 \text{ Fr./m}^2 + 0.25 \text{ Fr./m}^2 = 6.00 \text{ Fr./m}^2$$

### 3.8 Kommentar zu den Kostensätzen

Wie eingangs bereits erwähnt, sollen diese Kostenkennzahlen nicht jeden erdenklichen Einzelfall abdecken, sondern nur die gängigen Normalfälle. Deshalb können die mit Hilfe obigen Modells errechneten Kosten für einen Einzelfall von den tatsächlich auftretenden Kosten abweichen. Dies kann mehrere Gründe haben:

- (i) Besonderheiten des Einzelfalls beeinflussen die Unterhaltskosten erheblich, beispielsweise spezielle Installationen von Entwässerungsanlagen (wie z.B. Retentionsbecken), der Winterdienst auf der Gotthardrampe oder Wildtierübergänge. Auf solche Besonderheiten wird im Modell keine Rücksicht genommen, hingegen sollte diesen speziellen Begebenheiten im Einzelfall Rechnung getragen werden.
- (ii) Korrelationseffekte (z.B. zwischen Strassenbreite und Verkehrsaufkommen) können auf Grund des Modellansatzes nur ungenügend wiedergegeben werden. Eine Einbeziehung von Korrelationseffekten würde zu einem unübersichtlichen und von Praktikern nur schwer handhabbaren Modell führen, wobei der Gewinn an Genauigkeit nur gering wäre.
- (iii) Vor allem die Dimensionierung und das Alter von elektromechanischen Einrichtungen scheint einen grossen Einfluss auf die Kosten zu haben. Bereits installierte Verkehrsleitsysteme, grosse Lüftungsanlagen oder auch veraltete Beleuchtungsanlagen in Tunnels verursachen unter Umständen grosse Mehrkosten.
- (iv) Die Kosten können auf Grund der Wetterverhältnisse von Jahr zu Jahr stark schwanken ("Lawinenwinter 1999"). Mit obigen Kostensätzen wird versucht, einen möglichst durchschnittlichen Fall abzubilden.

### 3.9 Aggregation von bewertungstauglichen Kostenkennzahlen

Auf den folgenden Seiten sind die Auswertungsergebnisse zu bewertungstauglichen Kostenkennzahlen für den betrieblichen Unterhalt zusammengefasst. Bei den offenen Strecken werden nurmehr Hauptverkehrs- bzw. Hochleistungsstrassen und die übrigen Strassen unterschieden; Unterscheidungsmerkmale sind z.B. die zu bewältigende Verkehrsmenge, die Trassierungsgeschwindigkeiten sowie die Auslegung und Ausstattung, z.B. mit Leit- und Sicherheitseinrichtungen. Die Stadt- und Gemeindestrassen sind in die Kategorie "übrige Strassen" integriert.

Die Kostenkennzahlen für Tunnels gelten für sämtliche Röhren, nicht pro Röhre. Um angesichts der unerwarteten Schweizerischen Mittelwerte für zweiröhriige Tunnels bewertungstaugliche Kennzahlen zu erhalten, wurden diese aus den Schweizerischen Mittelwerten für einröhriige Tunnels abgeleitet. Dabei wurde angenommen, dass die jährlichen Kosten des betrieblichen Unterhalts eines weniger als 600 m langen zweiröhriigen Tunnels doppelt so hoch sind wie die Kosten für einen einröhriigen Tunnel und dass sich der Kostenunterschied mit zunehmender Länge reduziert (600 – 2'000 m lange zweiröhriige Tunnels sind annahmegemäss noch um das 1,5-fache, über 2'000 m lange zweiröhriige Tunnels um das 1,25-fache teurer als entsprechend lange einröhriige Tunnels). Die entsprechenden Faktoren sind im folgenden Tableau kursiv dargestellt und sollten bei einer späteren Aktualisierung der Norm überprüft werden. Es ist zu beachten,

dass 1x2 spurige Tunnels im Gegenverkehr betrieben werden, was im betrieblichen Unterhalt unter Umständen zu wesentlich höheren Kosten führen kann.

Kostenkennzahlen betrieblicher Unterhalt, jährliche Ausgaben Preisbasis 2004				
		HLS / HVS [kmv]	Übrige Strassen [km]	Tunnel [kmv]
<b>Schweizerischer Mittelwert M</b>	CHF	63'500	27'100	261'100
<b>Korrekturfaktor <math>\lambda</math></b>		1.02	1.42	0.96
<b>Basiskosten <math>M\lambda</math></b>	CHF	64'600	38'600	251'600
<b>Zuschlag, falls nur die effektiven Strassenlängen bekannt sind</b>		(1.27)		(1.00)

Tabelle 7: Kostenkennzahlen für die jährlichen Ausgaben des betrieblichen Unterhalts (Preisbasis 2004)

Verkehr				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
<b><math>\leq 7'500</math></b>	Fz/d	0.95	0.92	0.98
<b>7'500-9'999</b>	Fz/d	0.95	0.95	0.98
<b>10'000-19'999</b>	Fz/d	0.95	1.02	0.98
<b>20'000-24'999</b>	Fz/d	0.96	1.02	0.99
<b>25'000-29'999</b>	Fz/d	0.96	1.05	0.99
<b>30'000-49'999</b>	Fz/d	1.00	1.05	0.99
<b>50'000-74'999</b>	Fz/d	1.03	1.07	1.01
<b><math>\geq 75'000</math></b>	Fz/d	1.06	1.07	1.02

Tabelle 8: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit dem Verkehrsaufkommen. Der Einfluss der Verkehrsmenge auf die Kosten des betrieblichen Unterhalts hängt auch mit der Dimensionierung der Strassenanlage zusammen (vgl. Anzahl Fahrstreifen) und verstärkt sich entsprechend (starke Korrelation).

Siedlungsumgebung				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
<b>Ländliche Umgebung</b>		0.99	0.93	
<b>Lockere Bebauung</b>		1.00	0.98	
<b>Dichte Bebauung</b>		1.01	1.09	

Tabelle 9: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit der Siedlungsumgebung

Tunnellänge				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
≤ 599	m 1x2 spurig			0.40
600-1'999	m 1x2 spurig			0.77
≥ 2'000	m 1x2 spurig			1.16
≤ 599	m 2x2 spurig			0.80
600-1'999	m 2x2 spurig			1.15
≥ 2'000	m 2x2 spurig			1.45

Tabelle 10: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit der Tunnellänge. 1x2-spurige Tunnel werden in Gegenrichtung befahren, damit entstehen grössere Kosten als bei Tunnel mit Richtungsverkehr (z.B. bei der Tunnelreinigung).

Anzahl Fahrstreifen				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
2x1 Streifen		0.99	0.94	
2x2 Streifen		0.99	1.06	
2x3 Streifen		1.02		

Tabelle 11: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit der Anzahl Fahrstreifen

Standstreifen in Tunnel				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
Nicht vorhanden				0.99
Vorhanden				1.01

Tabelle 12: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit Standstreifen in Tunnels

Höhenlage				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
≤ 399	m ü.M.	0.98	0.92	
400-449	m ü.M.	0.99	1.00	
450-799	m ü.M.	1.01	1.02	
≥ 800	m ü.M.	1.03	1.06	

Tabelle 13: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit der Höhenlage

Alter der Anlage				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
<b>Neu</b>		0.99	0.95	0.96
<b>1-5</b>	Jahre	0.99	0.95	0.99
<b>6-10</b>	Jahre	0.99	0.95	1.00
<b>11-20</b>	Jahre	0.99	0.95	1.02
<b>≥ 21</b>	Jahre	1.01	1.05	1.03

Tabelle 14: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit dem Alter der Strassenanlage. Es geht hier um den Alterungseffekt einer bestehenden Anlage mit gleich bleibender technischer Ausrüstung. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass insbesondere mit neuen, aufwändigeren Anlagen aufgewertete Tunnel häufig höhere Betriebskosten aufweisen als vor der Erneuerung.

Grünanlagen				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
<b>≤ 5m</b>	Beidseits	0.99		
<b>&gt; 5m</b>	Beidseits	1.01		

Tabelle 15: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit der Begrünung der Strassenanlagen. Kostenunterschiede ergeben sich auch aus der Art der Bepflanzung sowie aus der Begrünung des Mittelstreifens.

Trottoir und Radwege				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
<b>Nicht vorhanden</b>			0.92	
<b>Einseitig</b>			1.03	
<b>Beidseitig</b>			1.05	

Tabelle 16: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit der Existenz von Trottoir und Radwegen entlang der Strasse.

Einfache ÖV-Anlagen				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
<b>Nicht vorhanden</b>			1.00	
<b>Vorhanden</b>			1.05	

Tabelle 17: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit dem Vorkommen einfacher ÖV-Anlagen. Bei Strassen mit schienengebundenem Verkehr, hohem ÖV-Anteil (separate Busspuren) u.ä. muss auf lokale Erfahrungswerte zurückgegriffen werden.

Spezielle Einpassung ins Ortsbild				
		HLS/HVS	Übrige Strassen	Tunnel
<b>Nicht vorhanden</b>			1.00	
<b>Vorhanden</b>			1.05	

Tabelle 18: Zu- und Abschläge in Zusammenhang mit speziellen Anpassungen im Ortsbild (z.B. Pflastersteine, Alleen, usw.).



## 4 Übrige Betriebsausgaben

### 4.1 Schweizerische Strassenrechnung

In der schweizerischen Strassenrechnung werden, wie in Kapitel 1.3 ausgeführt, neben den Kosten für den betrieblichen Unterhalt weitere Elemente der Betriebskosten ausgewiesen. Für das Jahr 2003 gibt das Bundesamt für Statistik folgende Kosten an (in Mio. CHF bzw. in CHF) (siehe [3]):

<i>Gesamtkosten (Mio. CHF)</i>	Gemeindestrassen	Kantonsstrassen	Nationalstrassen
betrieblicher Unterhalt	1'160	609	157
Verwaltung	117	102	24
Signalisation und Markierung	56	45	0
Verkehrsregelung	173	317	176
Betriebskosten (gesamt)	1'506	1'073	357

<i>Kosten pro km (CHF)</i>	Gemeindestrassen	Kantonsstrassen	Nationalstrassen
betrieblicher Unterhalt	22'500	33'700	89'300
Verwaltung	2'300	5'600	13'600
Signalisation und Markierung	1'100	2'500	0
Verkehrsregelung	3'400	17'500	100'100
Betriebskosten (gesamt)	29'300	59'300	203'000

Tabelle 19: Betriebsausgaben für das gesamte Strassennetz (in Mio. CHF, oben) und pro Kilometer (in CHF, unten)

Unterschiede zu den Schweizerischen Mittelwerten ergeben sich durch eine Indexbereinigung zur Berücksichtigung von Teuerungseffekten sowie durch die unterschiedlichen Kosten pro Längeneinheit auf den Nationalstrassen (CHF/km bzw. CHF/km) und die Integration der Unterhaltskosten für Tunnels in die Kosten des Nationalstrassenunterhalts.

Die vom BfS gesondert ausgewiesenen Kosten für Signalisation und Verwaltung stellen Residualpositionen dar, die nicht in den Kosten des betrieblichen Unterhalts enthalten sind; sie sind gering und für die Projektbewertung vernachlässigbar. Die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und -überwachung haben dagegen vor allem bei Kantons- und Nationalstrassen einen so hohen Anteil an den Betriebskosten, dass sie die Projektbewertung beeinflussen könnten. Das ASTRA hat deshalb vorgeschlagen [10], bei der Projektbewertung Polizeikosten in Höhe von 60'000 Franken pro Strassenkilometer zu berücksichtigen.

Die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung werden in der Regel über die Anzahl Personaleinheiten bestimmt, die für die Verkehrspolizei Aufgaben erbringen. Diese Aufgaben reichen aber über den laufenden Strassenbetrieb hinaus:

- Z.B. ist der Polizeidienst im Zusammenhang mit dem ruhenden Verkehr für die Projektbewertung nicht relevant (die entsprechenden kantonalen und kommunalen Polizeikosten werden wegen fehlender Datengrundlagen in der Strassenrechnung des BfS ohnehin nicht ausgewiesen).
- Baustellenbezogene Polizeidienste sind bei den Baukosten (bzw. beim baulichen Unterhalt) und nicht bei den Betriebskosten zu veranschlagen.
- Ebenso sind unfallbezogene Leistungen der Polizei bei den Unfallkosten und nicht bei den laufenden Strassen-Betriebskosten zu berücksichtigen.
- Die Verkehrsregelung und -überwachung ist eigentlich auch ein Element des betrieblichen Strassenunterhalts (dort bei den „zentralen Einrichtungen“); sie hat aber nur bei Tunnels einen nennenswerten Kostenanteil.

Inwieweit Polizeikosten von den zu bewertenden Infrastrukturinvestitionen oder von verkehrsorganisatorischen Massnahmen abhängen, ist daher vorderhand unklar. Im laufenden Strassenbetrieb führt eine Veränderung der Verkehrssicherheit zu veränderten Polizeikosten (und ist dann, wie gesagt, bei den Unfallkosten zu berücksichtigen). Neue verkehrsregelnde Massnahmen – Geschwindigkeitslimiten, neue Lichtsignale oder Verkehrsbeeinflussungssysteme – erhöhen den Aufwand für polizeiliche Verkehrsregelung und -überwachung.

## 4.2 Bewertungstaugliche Kostenkennzahlen

Eine Möglichkeit zum Einbezug von Polizeikosten in die Betriebskostenbewertung ist der Bezug auf Fahrleistungen – je mehr Fahrzeuge im Strassennetz unterwegs sind, desto höher der Aufwand für Verkehrsregelung und -überwachung. In den letzten zehn Jahren hat der verkehrspolizeiliche Aufwand in der Schweiz immer zwischen 4 und 5 Rappen pro Fahrzeugkilometer gelegen. In diesem Sinne liesse sich eine durch eine Infrastrukturinvestition oder durch eine verkehrsorganisatorische Massnahme bedingte Änderung der Polizeikosten anhand der erwarteten Veränderung des Verkehrsvolumens abschätzen.

## 5 Betriebskosten im Zeitverlauf – Trendabschätzung

Im Bewertungszeitraum ergeben sich Betriebskostenveränderungen einerseits durch die Veränderung der Umgebungs- und Betriebsbedingungen – z.B. durch Verkehrswachstum oder durch die Alterung der Anlage. Solche Kostenveränderungen sind durch Wahl eines anderen Auf- bzw. Abwertungsfaktors im Kostenmodell zu berücksichtigen (vgl. Tabelle 7 bis Tabelle 18). Andererseits ergeben sich (reale) Kostenveränderungen auch im Trend des technischen Fortschritts. Solche Kostenveränderungen werden anhand der folgenden Analysen prognostiziert.

### 5.1 Kostentrends gemäss Strassenrechnung

Die Ausgaben für den Strassenbetrieb sind in den letzten Jahren nicht nur nominal, sondern auch indexbereinigt gestiegen. Da das Strassennetz von Jahr zu Jahr grösser wird, steigen auch die gesamten Ausgaben stetig an. Bleibt dieser Trend bestehen, so ist zu erwarten, dass die gesamten Betriebsausgaben um 55.31 Mio. Franken pro Jahr steigen (indexbereinigt, Basis Mai 2000) bzw. umgerechnet auf die Preisbasis von 2004 um 57.03 Mio. Franken pro Jahr (siehe Abbildung 3). Berechnet man die Ausgaben pro Kilometer Strassennetz so ergibt sich ein ähnliches Bild (siehe Abbildung 4): Pro Jahr wächst der Aufwand um 761 Franken pro Kilometer (indexbereinigt, Basis Mai 2000), bzw. umgerechnet auf die Preisbasis von 2004 um 785 Franken pro Kilometer und Jahr.

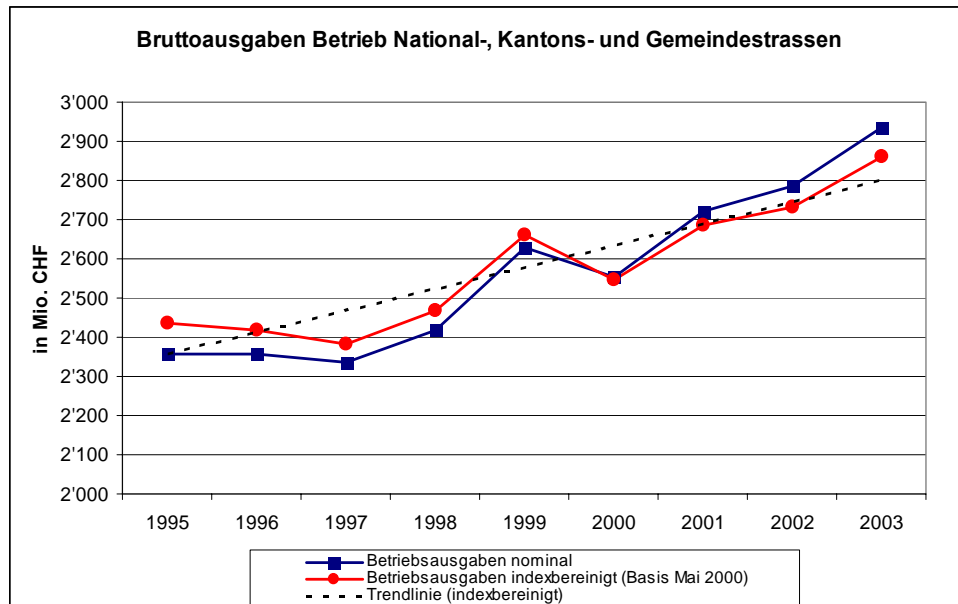


Abbildung 3: Bruttoausgaben für den Betrieb der National-, Kantons- und Gemeindestrassen gemäss Strassenrechnung. Die Ausgaben sind sowohl nominal als auch indexbereinigt dargestellt. Durchschnittlich haben sich die Ausgaben um 55 Mio. Franken pro Jahr erhöht (Preisindexbasis Mai 2000).

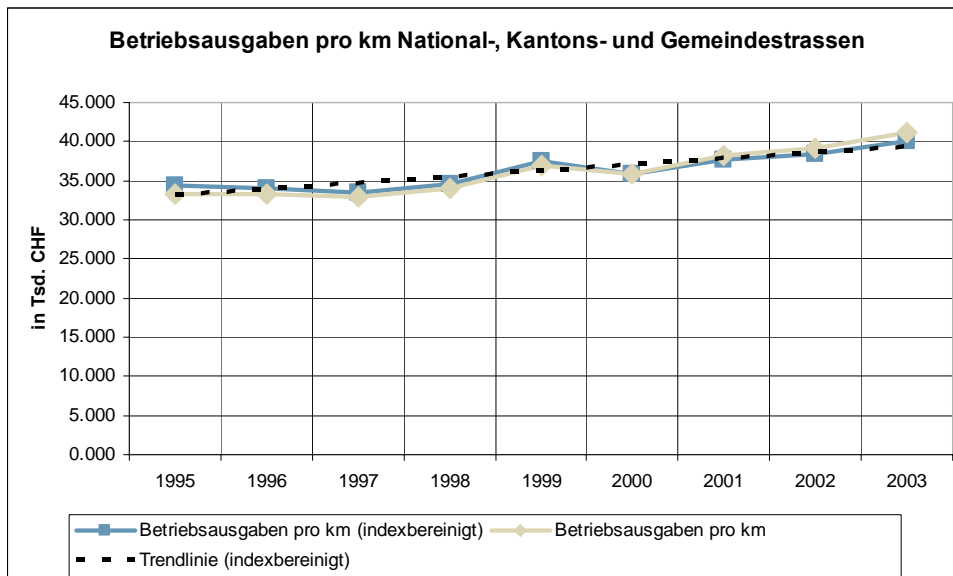


Abbildung 4: Betriebsausgaben gemäss Strassenrechnung pro Kilometer insgesamt (National-, Kantons- und Gemeindestrassen). Im Durchschnitt wurden pro Jahr 761 Franken pro Kilometer mehr ausgegeben (Preisindexbasis Mai 2000).

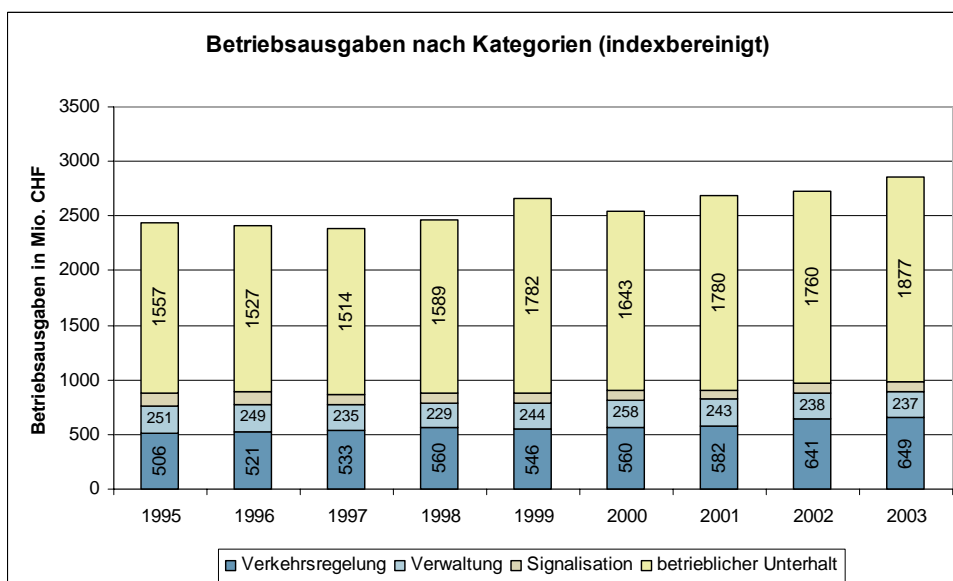


Abbildung 5: Betriebsausgaben nach den 4 Kategorien betrieblicher Unterhalt, Verwaltung, Signalisation und Verkehrsregelung und -überwachung (Preisindexbasis Mai 2000).

Interessant ist zu sehen (siehe Abbildung 5), dass der betriebliche Unterhalt der grösste Kostentreiber ist und den Verlauf der Betriebsausgaben im Wesentlichen bestimmt. Darüber hinaus ist auch festzustellen, dass die Kosten für die Signalisation leicht abgenommen haben und die Verwaltungskosten in etwa konstant geblieben sind. Hingegen sind die (indexbereinigten) Kosten für die polizeiliche Verkehrsüberwachung und -regelung leicht angestiegen, von rund 500 Mio. Franken auf 650 Mio. Franken pro Jahr (Preisbasis Mai 2000). Dies ist v.a. auf erhöhte polizeiliche Kosten auf den Kantonsstrassen zurückzuführen. Eine

schlüssige Erklärung dieses Kostenanstiegs ist nicht möglich, ohne weitere Untersuchungen durchzuführen.

In Abbildung 3 bis Abbildung 5 sowie auch in den folgenden Abbildungen ist ein „Ausreisser“ in den Kosten des betrieblichen Unterhalts im Jahr 1999 zu erkennen. Diese erhöhten Kosten sind auf den „Lawinenwinter 1999“ zurückzuführen, welcher einen erheblichen Mehraufwand im Winterdienst verursachte.

## 5.2 Kostentrends beim betrieblichen Unterhalt

Die schweizerische Strassenrechnung weist teuerungsbereinigt abnehmende Kosten des betrieblichen Unterhalts pro Kilometer Nationalstrasse sowie leicht zunehmende Kosten pro Kilometer Kantons- und Gemeindestrasse aus (vgl. Abbildung 6).

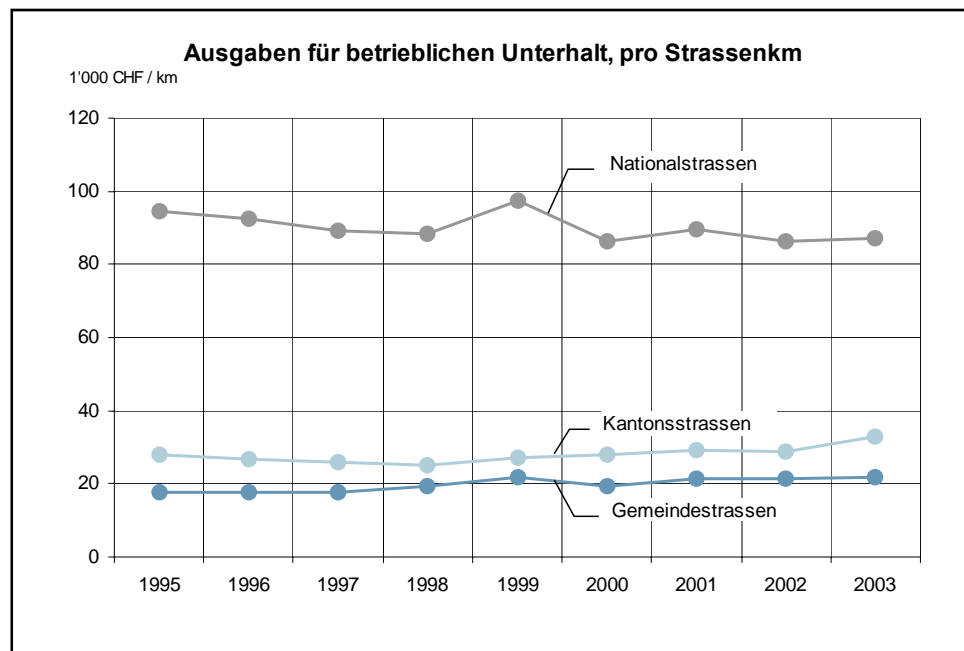


Abbildung 6: Teuerungsbereinigte Ausgaben für den betrieblichen Unterhalt pro Kilometer National-, Kantons- und Gemeindestrasse. Angaben aus der schweizerischen Strassenrechnung 2003 (siehe [2] und [3]).

Die Entwicklung der schweizerischen Mittelwerte zeigt, dass der Kostenrückgang bei den Nationalstrassen im Wesentlichen auf abnehmende Tunnelkosten zurückzuführen ist. Insbesondere bei Beleuchtung, Belüftung sowie beim übrigen technischen Dienst (einschliesslich der zentralen Einrichtungen) sind die Kosten des betrieblichen Unterhalts von Tunnels pro Kilometer deutlich zurückgegangen. Seit 1995 beläuft sich der Rückgang der Einheitskosten für den betrieblichen Unterhaltskosten von Tunnels teuerungsbereinigt auf durchschnittlich 3% pro Jahr [1, 11].

Auf offenen Nationalstrassenabschnitten ist zwischen 1995 und 2004 ein uneinheitlicher Kostentrend zu beobachten, der von den schwankenden Aufwendungen für den Winterdienst geprägt wird. Alle anderen kostenbestimmenden Tätig-

keiten des betrieblichen Unterhalts sind über die vergangenen acht Jahre hinweg ungefähr gleich teuer geblieben.

Auf Kantonsstrassen hat ein kontinuierlicher Rückgang des Aufwands für bauliche Reparaturen zwischen 1995 und 2002 zu einem Rückgang des Aufwands für betrieblichen Unterhalt beigetragen. Dagegen hat der Aufwand für Reinigung und vor allem für Grünpflege zugenommen. Die Jahre 2003 und 2004 waren von einem deutlichen Anstieg des Winterdienst-Aufwandes geprägt.

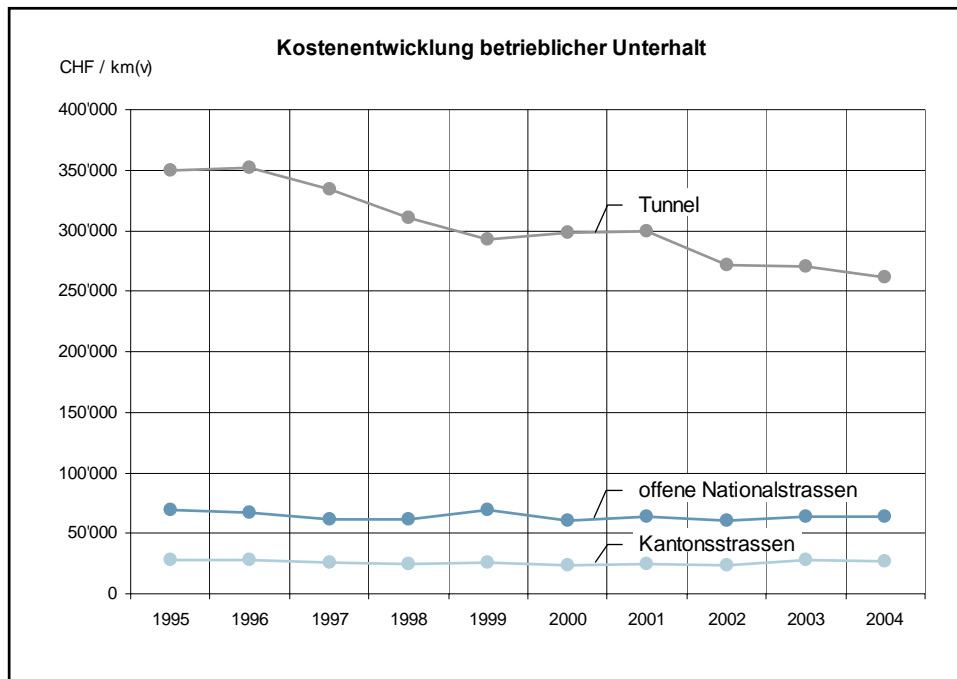


Abbildung 7: Kostenentwicklung im betrieblichen Unterhalt. Schweizerische Mittelwerte, Preisbasis 2004

Wie bereits in Kapitel 2.3 erwähnt, lassen sich Daten in einer Zeitreihe nur schwer analysieren, da einzelne Kostenkategorien wegfallen/hinzukommen (z.B. Schadenwehren) oder unterschiedliche Verbuchungspraktiken die Kosten verfälschen können. Es wird deshalb davon abgesehen, Trendwerte bzw. Durchschnitte der Schweizerischen Mittelwerte (betrieblicher Unterhalt) oder der Strassenrechnungskosten (Verwaltung, polizeiliche Verkehrsregelung und -überwachung, Signalisation) zu verwenden.

In obigen Analysen wurden auch die Strassenzustandsindizes nicht berücksichtigt. Unter der Annahme, dass in Zukunft ein angemessener baulicher Unterhaltsaufwand bei Neu- oder Erneuerungsprojekten betrieben wird, werden die Kosten pro Kilometer nicht steigen.

### 5.3 Kostenkennzahlen im Zeitverlauf

Die schweizerischen Mittelwerte und die schweizerische Strassenrechnung zeigen uneinheitliche Kostentrends. Da sich die Berechnungsgrundlagen für die Kostensätze auf die schweizerischen Mittelwerte abstützen und zudem als Län-

gemeinheit die virtuellen Kilometer benutzt werden, werden für eine Trendabschätzung der Betriebskosten die schweizerischen Mittelwerte zu Grunde gelegt. Deshalb wird ausser für Tunnels keine Kostenveränderung prognostiziert (siehe Abbildung 8):

- Tunnels: Abnahme der Einheitskosten
  - bis 2010: - 3 % p.a.
  - 2010 – 2020 - 2 % p.a.
  - ab 2020 - 1 % p.a.
- HLS, HVS und übrige Strassen: Einheitskosten bleiben konstant

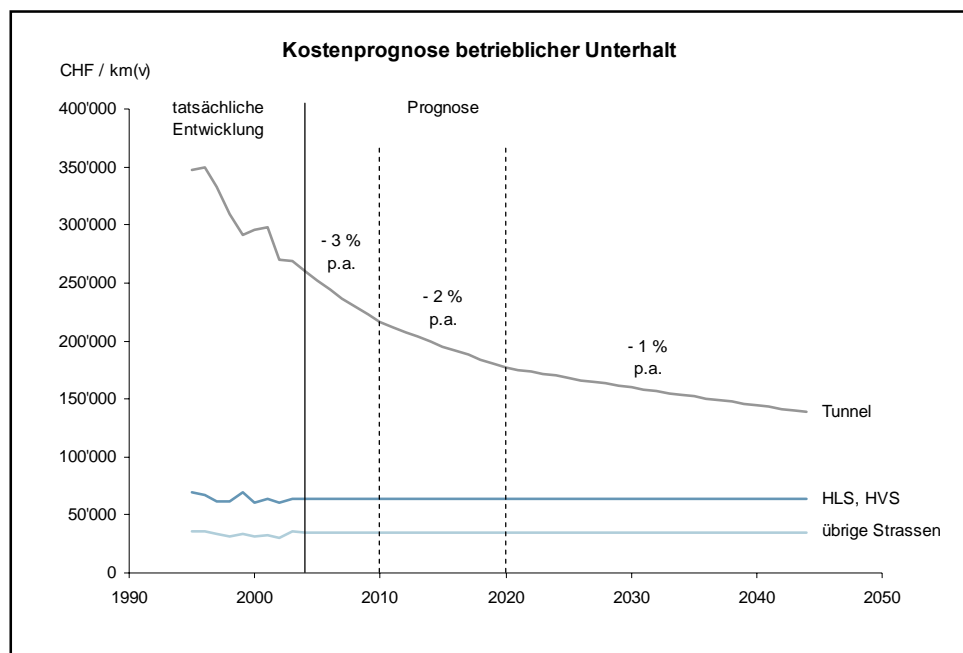


Abbildung 8: Prognose der Kostenentwicklung im betrieblichen Unterhalt. Bezogen auf Basiskosten gemäss Übersicht Tabelle 7.

Diese prognostizierten Kostentrends lassen sich zudem durch weitere Einflüsse begründen. Auf Grund des erwarteten technologischen Fortschritts und besserer organisatorischer Ausnützung von Synergien, können vor allem Tunnelanlagen kostengünstiger betrieben werden. Auf Grund der Neuordnung des Finanzausgleichs (NFA) übernimmt der Bund ab 2008 die Verantwortung für den Betrieb der Nationalstrassen. Das Bundesamt für Strassen ASTRA entwickelt deshalb das Konzept „VM-CH“ (Verkehrsmanagement Schweiz), welches ab 2008 zum Einsatz kommen wird. Der Bund erhält damit mehr Kompetenzen auf dem Nationalstrassennetz (siehe [12]). Zum VM-CH wird unter anderem auch die Verkehrslenkung und -leitung und sowie die Verkehrsinformation und -steuerung gehören. Insbesondere von der Neuorganisation des betrieblichen Unterhalts der Nationalstrassen und der Einteilung in Gebietseinheiten verspricht man sich Einsparungen auf Grund der grösseren „Produktionseinheiten“.

Nebst den organisatorischen Änderungen der Zuständigkeiten, muss zudem der Strassenzustand bei der Ermittlung zukünftiger Betriebskosten mitberücksichtigt

werden. Im Gegensatz zum baulichen Unterhalt dienen kleine, lokale Reparaturen (integriert im betrieblichen Unterhalt) der uneingeschränkten Funktionsbereitschaft der Anlage. Sie verhindern eine allzu schnelle Abnutzung und Zerstörung der Anlage und wirken deshalb lebensverlängernd. Das Grundmodell der Werterhaltung lautet (siehe [13]): *Die langfristige Werterhaltung des Strassennetzes ist nur dann gewährleistet, wenn der Wertverzehr infolge Alterung durch Erhaltungsmassnahmen kompensiert wird.*

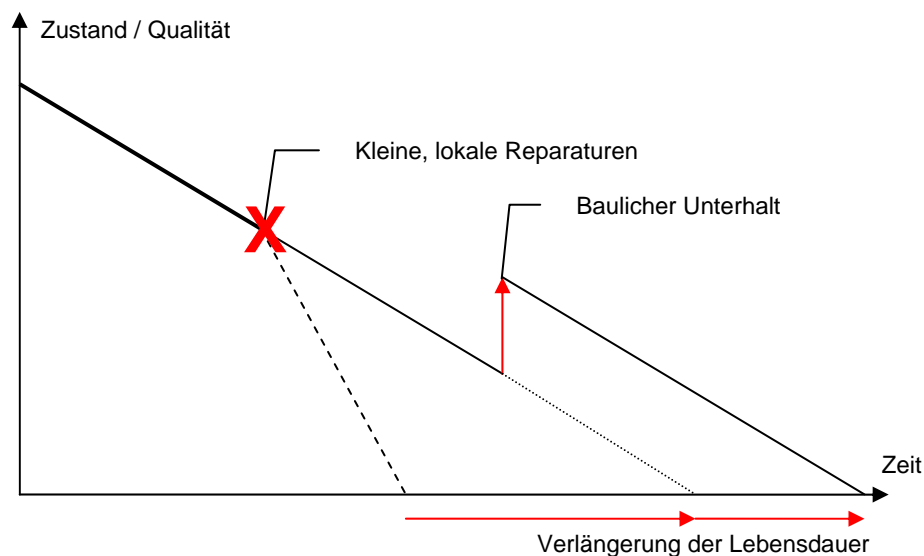


Abbildung 9: Verlängerung der Lebensdauer auf Grund werterhaltender Massnahmen.

Der bauliche Unterhalt enthält diejenigen Massnahmen, die zur Bewahrung oder Wiederherstellung des Ursprungszustandes der Strassenanlage eingesetzt werden (beispielsweise die Erneuerung eines Deckbelags oder der Ersatz einer Brückendichtung).

Der natürliche Alterungsprozess und die Abnutzungserscheinungen sorgen dafür, dass das gesamte Strassennetz einen Wertverlust erleidet. Ohne Unterhaltsmassnahmen wird die Strasseninfrastruktur unbrauchbar, wobei die tatsächliche Lebensdauer in hohem Masse vom Umfang des betrieblichen Unterhalts abhängt. Die sorgfältige Reparatur von kleineren Schäden zum richtigen Zeitpunkt bestimmt zu einem wesentlichen Teil die Lebensdauer der gesamten Strassenanlage.

Bereits 2002 wurde beobachtet, dass sich der Zustand der Kantonsstrassen verschlechtert hat (siehe [14]), d.h. dass die Substanz- und Werterhaltung des Netzes unter dem Plansoll lag. Vorsichtige Schätzungen legen nahe, dass jährlich zwischen 1.5% und 2% des Wiederherstellungswertes aufgewendet werden müssten, damit die Strassenanlagen langfristig erhalten bleiben. Resultate von Studien aus dem Jahr 2002 schätzen den sanierungsbedürftigen Anteil der Kantons- und Gemeindestrassen auf 17% bis 26% (siehe [14]).

Bemerkung: Auch hier gilt es den Einzelfall zu berücksichtigen. Beispielsweise werden neue Tunnels oft aufwändiger ausgestattet und müssen neusten Sicherheitsanforderungen genügen. Dies führt dementsprechend meist zu höheren Betriebskosten, die im zu bewertenden Einzelfall berücksichtigt werden müssen!



## 6 Aktualisierung der Kostenkennzahlen

Das neue Modell zur Abschätzung der zukünftigen Betriebskosten von Strassenanlagen basiert auf 3 Datensätzen:

- (i) Die Schweizerischen Mittelwerte des betrieblichen Unterhalts von National- und Kantonsstrassen dienen als Basiskosten, die je nach Einflussfaktor zusätzlich multiplikativ gewichtet werden.
- (ii) Um die einzelnen Einflüsse zu quantifizieren, wird Expertenwissen verwendet.
- (iii) Die Strassenrechnung fliesst zusätzlich ins Modell ein, um die Kostenfaktoren jenseits des betrieblichen Unterhalts zu berücksichtigen.

Sowohl die in Kapitel 3 verwendeten Schweizerischen Mittelwerte als auch die Strassenrechnung werden jährlich aktualisiert. Im Sinne der Konsistenz der Bewertungsgrundlagen dürfte es sich deshalb empfehlen, die Norm im Fünfjahresrhythmus zu aktualisieren.

## 7 Glossar

**HLS:** Hochleistungsstrassen

**HVS:** Hauptverkehrsstrassen

**NISTRA (Nachhaltigkeits-Indikatoren für STRasseninfrastrukturprojekte):**

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) hat 2001 beschlossen eine Methode zu entwickeln, die erlaubt, Strasseninfrastrukturprojekte unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsziele zu beurteilen. NISTRA unterstützt dabei den Entscheidungsfindungsprozess bei Bau-, Unterhalts-, und Instandsetzungsprojekten und erlaubt eine transparente Beurteilung und den Vergleich einzelner Projekte. Das ASTRA verwendet seit 2003 NISTRA bei grösseren Bauprojekten von National- und Kantonsstrassen (siehe [7]).

**Schweizerische Mittelwerte:** Die Schweizerischen Mittelwerte werden jährlich erhoben und publiziert. Nebst den Kosten des betrieblichen Unterhalts von National- und Kantonsstrassen werden auch Fahrzeug- und Gerätekosten, Personalkosten und andere Kennwerte tabellarisch aufgeführt und graphisch illustriert.

**Virtuelle Kilometer:** Die Kostenkennzahlen für offene Nationalstrassenstrecken sowie Tunnels gelten in Anlehnung an die schweizerischen Mittelwerte für virtuelle Kilometer Strassenlänge. Bei Kantons- und Gemeindestrassen werden hingegen die effektiven Kilometer berücksichtigt. Die virtuelle Länge eines Nationalstrassenkilometers ist eine angepasste Länge, die Fahrbahnverbreiterungen, Anschlüsse, Rastplätze, usw. in zusätzliche Längen umrechnet. Dabei werden drei verschiedene Streckentypen von Nationalstrassen unterschieden: Offene Überlandstrecken, offene Stadtstrecken und Tunnelstrecken.

- (i) **Virtuelle Länge von offenen Überlandstrecken:** Die virtuelle Länge von Überlandstrecken wird wie folgt berechnet:

$$kmv = EL + \frac{FBZ \times 0.7 + AZ \times 1.6}{B \times 1'000}$$

Dabei ist  $EL$  die effektive Länge (in km),  $FBZ$  der Fahrbahnzuschlag (in  $m^2$ ) für Verengungen (als Abzug) und vermehrte Fahrbahnfläche,  $AZ$  der Anschlusszuschlag (in  $m^2$ ) für Rastplätze und Anschlussbauwerke, und  $B$  die Standardbreite der betreffenden Strecke (2-spurig 13m, 4-spurig 21m und 6-spurig 28m).

- (ii) **Virtuelle Länge von offenen Stadtstrecken:** Die virtuelle Länge von Stadtstrecken wird wie folgt berechnet:

$$kmv = \frac{FF \times 1.4}{B \times 1'000}$$

Dabei ist  $FF$  die gesamte Fahrbahnfläche (in  $m^2$ ) und  $B$  die Standardbreite des betreffenden Streckenstücks (in m).

- (iii) **Virtuelle Länge von Tunnelstrecken:** Die virtuelle Länge von Tunnelstrecken ist gleich der effektiven Länge:

$$kmv = EL$$

Dabei gilt zu berücksichtigen, dass die Länge von Abzweigungen in einem Tunnel hinzugerechnet werden müssen (bei 2-röhrigen Tunnels mit

einem Faktor 0.5). Wildübergänge und Galerien zählen in der Regel nicht zu Tunnels, sondern zu offenen Strecken.

Die Faktoren 0.7, 1.6 und 1.4 berücksichtigen einen verringerten bzw. zusätzlichen Aufwand, der durch vergrösserte Streckenbreiten, zusätzliche Rastplätze und Anschlussbereiche, sowie städtische Strecken entsteht. Die Umrechnung eines (effektiven) Kilometers Nationalstrasse in virtuelle Kilometer Nationalstrasse ist in [3] beschrieben und mit einigen Beispielen illustriert. Das ASTRA muss jeder Festlegung und Änderung der Berechnung der virtuellen Länge zustimmen; der aktuelle Stand ist aus dem Jahr 2004. Im Mittel entspricht 1 effektiver Kilometer 1.27 virtuellen Kilometern.

## 8 Literaturangaben

- [1] Schweizerische Mittelwerte 2004. Müller AG, Chur. 2005
- [2] Schweizerische Strassenrechnung, Definitive Resultate 2002. Bundesamt für Statistik, Sektion Verkehr. Juni 2005
- [3] Schweizerische Strassenrechnung 2003. Bundesamt für Statistik, Sektion Verkehr. 2005
- [4] Landesindex der Konsumentenpreise, Totalindex Basis Mai 2000. Bundesamt für Statistik. Januar 2006
- [5] Handbuch des Rechnungswesens für den betrieblichen Unterhalt der Nationalstrassen. Bundesamt für Strassen, 2004.
- [6] Verkehrsentwicklung im Zeitraum 1991-2004. Bundesamt für Strassen ASTRA, 2005. [www.verkehrsdaten.ch](http://www.verkehrsdaten.ch)
- [7] NISTRA – Nachhaltigkeits-Indikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte. Bundesamt für Strassen, ASTRA 2006. <http://www.nistra.ch>
- [8] SN 640 907 Grundlagen zur Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement von Strassen
- [9] SN 640 986 Durchschnittlicher jährlicher Mittelbedarf für die Erhaltung von Strassennetzen
- [10] Standardisierte Bewertungsmethode für die Beurteilung von Projekten bzw. Projektbestandteilen mit Hilfe der Kostenwirksamkeitsanalyse, ASTRA 2000
- [11] Schweizerische Mittelwerte 2002. Müller AG, Chur. 2003
- [12] Kompetenzverschiebung: Neue Zuständigkeiten für die Nationalstrassen. André Bumann; Strasse und Verkehr, Nr. 3, März 2006
- [13] Grundmodell Werterhaltung. Martin Bürgi; Strasse und Verkehr, Nr. 10, Oktober 2002
- [14] Zustand der Kantonsstrassen gibt zu Besorgnis Anlass. Werner Hufschmid; Strasse und Verkehr, Nr. 1, Januar 2002
- [15] SN 640 820 Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr