



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

Grundlagen zur Aktualisierung SN 641 826 – Kosten des betrieb- lichen Unterhalts von Strassen

**Principes pour l'actualisation SN 641 826 – les coûts de
l'entretien courant des routes**

**Fundamentals for the Update of SN 641 826 – Operational
Maintenance Costs of Roads**

R+R Burger und Partner AG
Thomas Herrmann, Dr. sc. ETH, Dipl. Math. ETH
Christoph Kessler, Dipl. Bauing. ETH
Klaus-Peter Liedtke, Dipl. Volkswirt

**Forschungsprojekt VSS 2015/112 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Oktober 2018

1644

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten 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 les auteurs ayant obtenu l'appui de 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)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

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

The content of this report engages only the author(s) supported 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

Grundlagen zur Aktualisierung SN 641 826 – Kosten des betrieb- lichen Unterhalts von Strassen

**Principes pour l'actualisation SN 641 826 – les coûts de
l'entretien courant des routes**

**Fundamentals for the Update of SN 641 826 – Operational
Maintenance Costs of Roads**

R+R Burger und Partner AG
Thomas Herrmann, Dr. sc. ETH, Dipl. Math. ETH
Christoph Kessler, Dipl. Bauing. ETH
Klaus-Peter Liedtke, Dipl. Volkswirt

**Forschungsprojekt VSS 2015/112 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Oktober 2018

1644

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Thomas Herrmann

Mitglieder

Christoph Kessler

Klaus-Peter Liedtke

Federführende Fachkommission

Fachkommission 1: Verkehr

Begleitkommission

Präsident

Pablo Juliá

Mitglieder

Prof. Kay W. Axhausen

Frank Bruns

Peter Heiniger

Peter Hirsiger

Christoph Lieb

Michael Neumeister

Lucien Pignat

Dominik Studer

Deborah von Wartburg

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	9
	Summary	11
1	Einleitung	13
1.1	Ziel der Forschungsarbeit	13
1.2	Normenreihe Kosten-Nutzen-Analyse im Strassenverkehr	13
1.3	Vorgehen	14
2	Ausgangslage und Verbesserungspotenzial	15
2.1	Verwendungszweck der Kostennorm SN 641 826	15
2.2	Anwendung der Kostenmodelle	16
2.3	Geltungsbereich	17
2.4	Verbesserungspotenzial der Norm SN 641 826 (2008)	17
2.5	Nationale und internationale Literatur	18
3	Elemente des Betriebs und Unterhalts	21
3.1	Abgrenzung des Begriffs «Betriebskosten von Strassen»	21
3.2	Elemente der Betriebs- und Unterhaltskosten	21
3.3	Betrieblicher Unterhalt	23
3.3.1	Winterdienst	23
3.3.2	Reinigung	23
3.3.3	Grünpflege	23
3.3.4	Technischer Dienst	23
3.3.5	Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA)	24
3.3.6	Ausserordentlicher Dienst	24
3.3.7	Zentrale Dienste, Werkhöfe	24
3.3.8	Unfalldienst	24
3.4	Kleiner baulicher Unterhalt	24
3.5	Verwaltung	25
3.6	Signalisation	26
3.7	Polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung	26
4	Modell zur Bestimmung der Kosten	27
4.1	Modell	27
4.2	Datengrundlagen	29
4.2.1	Nationalstrassen (Hochleistungs- und Hauptverkehrsstrassen)	29
4.2.2	Kantone	29
4.2.3	Gemeinden	30
4.2.4	Bundesamt für Strassen ASTRA, Bundesamt für Statistik BfS und Beratungsstelle für Unfallverhütung bfU	30
4.3	Zusammenfassung der Kostenarten	31
5	Basiskosten	33
5.1	National- und Hochleistungsstrassen, offene Strecken	33
5.2	Tunnel	34
5.3	Strassen ausserorts	35
5.4	Strassen innerorts	35
6	Umgebungs- und Belastungsfaktoren	37
6.1	Verkehrsbelastung	37
6.1.1	DTV	37
6.1.2	Schwerverkehrsanteil	38

6.2	Infrastruktur	40
6.2.1	Infrastrukturdichte für offene Strecken, Strassen ausser- und innerorts	40
6.2.2	Ausrüstungslevel und Tunneleigenschaften	41
7	Einflussfaktoren des betrieblichen Unterhalts	43
7.1	Zu-/Abschläge der Einflussfaktoren	43
7.2	Winterdienst	44
7.3	Grünpflege	45
7.4	Reinigung	46
7.5	Projektfreier baulicher Unterhalt und Unterhaltsstrategie	47
7.6	Energieverbrauch und BSA	48
7.7	Ausserordentlicher Dienst	49
7.8	Gemeinkosten	50
7.9	Polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung	50
8	Kostentrends von Betrieb und Unterhalt	53
8.1	Kostentrends für den betrieblichen Unterhalt	53
8.2	Kostentrends für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung	55
9	Interpretation der Ergebnisse	57
9.1	Verlässlichkeit des Modells	57
9.2	Unterschiede in den Modellen	58
9.2.1	Basiskosten	58
9.2.2	Einflussfaktoren	59
9.2.3	Polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung	59
9.3	Beispielrechnungen	60
9.3.1	Beispiel 1: Nationalstrassenabschnitt	60
9.3.2	Beispiel 2: Tunnelabschnitt	61
9.3.3	Beispiel 3: Strasse innerorts	61
9.4	Grenzen der Modellierung und Kostenprognose	62
10	Weiterer Forschungsbedarf	65
10.1	Verkehrsflächen	65
10.2	Alter der Anlage und Zustand der Strasse	65
10.3	Zusammenhang Investitionskosten und Kosten projektfreier baulicher Unterhalt	65
10.4	Abhängigkeiten vom Belagstyp	65
10.5	Einführung der Belastung	66
10.6	Kunstabauten	66
10.7	Anzahl Einwohner, Siedlungsdichte, öffentlicher Verkehr und Flächen für den ruhenden Verkehr	66
10.8	Witterungseinflüsse und Naturgefahren	66
10.9	Digitalisierung der Strasse	67
10.10	Organisationsformen und Kostenstrukturen	67
11	Fazit	69
	Anhänge	71
	Glossar	73
	Literaturverzeichnis	74
	Projektabschluss	79
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	82

Zusammenfassung

Die Normenreihe SN 641 820ff «Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr» zeigt auf, welche Kriterien bei der Analyse verschiedener Projekte oder Projektvarianten in einer Kosten-Nutzen-Analyse zu bewerten sind. Dazu gehören auch die Kosten für den Betrieb und Unterhalt der Infrastruktur. Diese wurden mit der Norm SN 641 826 «Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen» im Jahr 2008 veröffentlicht und reflektierten den damaligen Wissensstand. Die Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung (NFA) hat die Organisationsstrukturen bei Bund und Kanton grundlegend geändert. Anwendungserfahrungen und die Auswirkungen der NFA legen nun eine Überprüfung und Aktualisierung der Kosten von Betrieb und Unterhalt nahe.

Das neue Kostenmodell gliedert sich in die Strassentypen «Hochleistungsstrassen», «Strassen ausserorts» und «Strassen innerorts» sowie «Tunnelstrecken». Jeder dieser Strassentypen hat seinen eigenen Basiskostenansatz. Mittels Umgebungs- und Belastungsfaktoren sowie Zu- und Abschlägen auf einzelne Produkte auf Grund des vorhandenen bzw. geplanten Services werden diese Basiskosten an den explizit zu bewertenden Strassenabschnitt angepasst (siehe dazu *Abb. a*). Das Wertgerüst zur Prognose der anfallenden Kosten des Betriebs und Unterhalts eignet sich zur Bewertung von Planungs- und Referenzfällen im Kontext des Infrastrukturmanagements.

Durch die verbreitete Digitalisierung und den einfacheren Zugang zu Datengrundlagen wurden nicht nur die Kosten aktualisiert, sondern auch Anwendung und Treffsicherheit der Kostenschätzungen verbessert. Insbesondere im Bereich der Stadt- und Gemeindestrassennetze wurden dank detaillierten Datengrundlagen Verbesserungen gegenüber der bestehenden Norm erzielt. Seit der Veröffentlichung der Norm vor über 10 Jahren haben auch die Betriebs- und Sicherheitsanlagen (BSA) weiter an Bedeutung gewonnen und wurden bei der Aktualisierung der Kostensätze entsprechend berücksichtigt.

Die neuen Kostenmodelle beinhalten nicht nur aktualisierte Kosten gegenüber der bisherigen Norm 2008, sie werden auch in der Struktur grundlegend überarbeitet. Die grundsätzliche Idee – nämlich die Verwendung von Basiskosten, die durch Zu- und Abschläge präzisiert werden – wird beibehalten. Die dazugehörigen Einflussfaktoren wurden tiefgreifend überarbeitet und fliessen neu als additive statt multiplikative Grössen ins Kostenberechnungsmodell ein. Dabei wurde darauf geachtet, dass sowohl eine Umsetzung in NISTRA problemlos möglich ist, wie auch die praktische Anwendung vereinfacht wird. Die Vereinheitlichung der Einflussfaktoren verbessert die Übersicht, während die Zu- und Abschläge zu Kostenbandbreiten führen. Für die Praxis sind somit drei zentrale Werte für jeweils «durchschnittliche», «überdurchschnittliche» und «unterdurchschnittliche» Aufwendungen verfügbar. Bei Bedarf kann davon abgewichen werden, falls im konkreten Einzelfall Anlass zu einer Anpassung dieser Kosten besteht.

Gegenüber der bisherigen Norm 2008 und ihren Kostensätzen werden die Kosten für die einzelnen Tätigkeitsbereiche transparenter. Zudem ist der neue Ansatz flexibler, denn er berücksichtigt, dass sich Einflussfaktoren sowie Umgebungs- und Betriebsbedingungen während des Betrachtungszeitraums verändern können – beispielsweise durch Verkehrszunahmen, Zustand der Infrastruktur oder weiteren Ausbauten der Infrastruktur und Kommunikation zwischen Betreibern und Nutzern.

Der technische Fortschritt wird dafür sorgen, dass sich die Anforderungen an die Infrastruktur in Zukunft weiter ändern werden. Aspekte der umfassend digitalisierten Infrastruktur oder Konzepte wie «Smart Maintenance» sind weder in den Kosten noch den Prognosetrends enthalten und müssen bei Bedarf ausserhalb der hier analysierten Kostensätze ermittelt werden. Auch die zukünftige weitere Technologisierung der Mobilität wird die Kosten für Betrieb und Unterhalt weiter beeinflussen. Wie werden sich Betreiber, Besitzer und Nutzer beispielsweise auf Themen wie autonomes Fahren, Elektromobilität und übergeordnete Verkehrslenkung einstellen? Wie wird die Nutzung der Infrastruktur aussehen, um auch in Zukunft den unterschiedlichen Bedürfnissen gerecht zu werden? Diese Einflüsse liegen ausserhalb des Fokus' dieser Forschungsarbeit und müssen bei

Bedarf anderweitig eruiert und in eine Kostenschätzung des betrieblichen Unterhalts integriert werden.

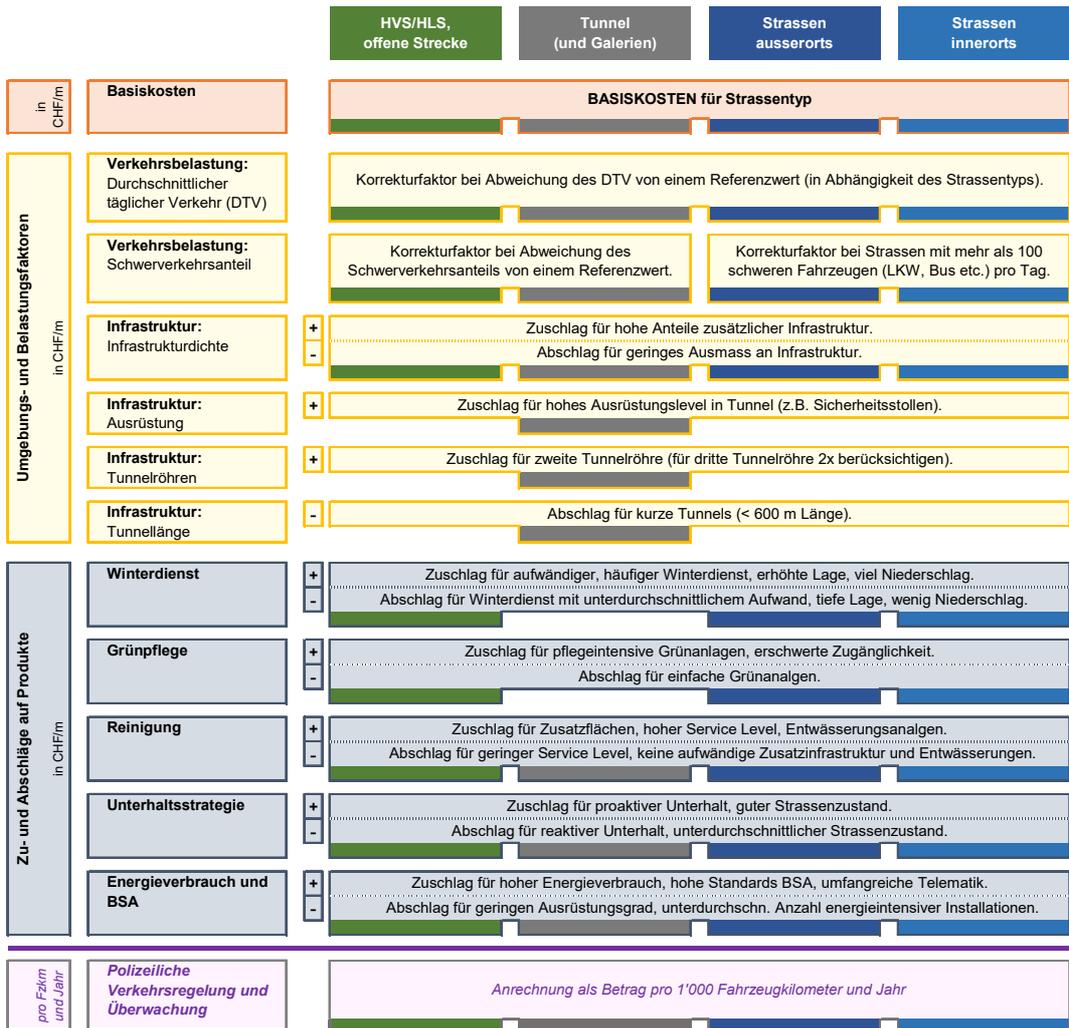


Abb. a Kostenmodell 2018; Mögliche Zu- und Abschläge sind mit einem farblichen Balken markiert

Résumé

La série de normes SN 641 820ss «Analyses coûts/avantages du trafic routier» indique quels sont les critères à évaluer lors de l'analyse de différents projets ou variantes de projets dans le cadre d'une analyse coûts/avantages. En font également partie les coûts de l'exploitation et de l'entretien de l'infrastructure. Ces coûts ont été publiés avec la norme SN 641 826 «Coûts de l'entretien d'exploitation des routes» en 2008 et reflétaient le niveau des connaissances d'alors. La réforme de la péréquation et de la répartition des tâches (RPT) a depuis profondément modifié les structures d'organisation de la Confédération et des cantons. Les expériences d'application et l'impact de la RPT rendent nécessaire la vérification et l'actualisation des coûts d'exploitation et d'entretien.

Le nouveau modèle de coûts est structuré en types de routes «routes à haut débit», «routes hors des localités», «routes à l'intérieur des localités» et «tronçons en tunnel». L'approche pour les coûts de base varie pour chacun de ces types de routes. Ces coûts de base sont adaptés aux tronçons routiers à évaluer explicitement au moyen des facteurs liés à l'environnement et aux nuisances, de même que des suppléments et des déductions sur certains produits en raison des services existants ou planifiés (voir à ce sujet *Fig. b*). La structure des valeurs servant à prévoir les coûts d'exploitation et d'entretien convient à l'évaluation de cas de planification et de référence dans le contexte de la gestion des infrastructures.

La numérisation largement répandue et l'accès aisé aux bases de données ont permis non seulement d'actualiser les coûts, mais aussi d'améliorer l'utilisation et la précision des estimations des coûts. Dans le domaine des réseaux routiers des villes et des communes en particulier, des bases de données détaillées ont en particulier permis d'apporter des améliorations à la norme existante. Depuis la publication de la norme il y a 10 ans, les équipements d'exploitation et de sécurité (EES) ont regagné de l'importance et ont été pris en compte en conséquence lors de l'actualisation des coûts.

Les nouveaux modèles de coûts ne contiennent pas seulement les coûts actualisés par rapport à la norme 2008 puisque leur structure a également été fondamentalement remaniée. L'idée de base, soit l'utilisation de coûts de base précisés par des suppléments ou des déductions, est conservée. Les facteurs d'influence correspondants ont été profondément remaniés et sont désormais intégrés au modèle de calcul des coûts à titre de valeur additive et non multiplicative. Ce faisant, la possibilité d'une mise en œuvre dans NISTRA et la simplification de l'application pratique ont été prises en considération. L'uniformisation des facteurs d'influence améliore la vue d'ensemble, tandis que les suppléments et déductions donnent des fourchettes de coûts. Pour la pratique, trois valeurs centrales sont ainsi disponibles pour les dépenses «moyennes», «supérieures à la moyenne» et «inférieures à la moyenne». En cas de besoin, il est possible de s'en écarter si, dans le cas concret individuel, une adaptation de ces coûts s'avère nécessaire.

Par rapport à la norme de 2008 et à ses coûts, ceux des différents domaines d'activités sont désormais plus transparents. La nouvelle approche est en outre plus flexible, car elle tient compte de la possibilité que les facteurs d'influence et les conditions de l'environnement et de l'exploitation puissent changer pendant la période considérée – par exemple en raison de l'augmentation du trafic, de l'état de l'infrastructure ou d'autres développements des infrastructures et de la communication entre les exploitants et les utilisateurs.

Le progrès technique aura pour effet de faire évoluer encore les exigences à l'égard de l'infrastructure à l'avenir. Les aspects de l'infrastructure largement numérisée ou des concepts tels que la «Smart Maintenance» ne sont pas compris dans les coûts ni dans les tendances des prévisions et doivent, en cas de besoin, être déterminés hors des coûts analysés ici. La technologisation de la mobilité, qui va se poursuivre, continuera également d'influencer les coûts d'exploitation et d'entretien. Comment les exploitants, les propriétaires et les utilisateurs vont-ils par exemple aborder des thèmes comme les véhicules autonomes, l'électromobilité et la régulation globale du trafic? Comment

l'infrastructure devra-t-elle être utilisée pour permettre de répondre aux différents besoins à l'avenir? Ces influences se situent hors du cadre de ce travail de recherche et doivent, si besoin est, être déterminés ailleurs et intégrés à une évaluation des coûts de l'entretien d'exploitation.

en CHF/m		Coûts de base	COÛTS DE BASE par type de route	
Facteurs d'environnement et de nuisances en CHF/m	Charge de trafic: trafic journalier moyen (TJM)		Facteur de correction si le TJM s'écarte d'une valeur de référence (en fonction du type de route)	
	Charge de trafic: part du trafic lourd		Facteur de correction si la part de trafic lourd s'écarte d'une valeur de référence	Facteur de correction pour les routes comptant plus de 100 véhicules lourds (camions, bus, etc.) par jour
	Infrastructure: densité de l'infrastructure	+ -	Supplément pour une part élevée d'infrastructure supplémentaire. Dédution pour une faiblesse de l'infrastructure.	
	Infrastructure: équipement	+	Supplément pour un niveau d'équipement élevé (p. ex. galeries de sécurité).	
	Infrastructure: tubes	+	Supplément pour deuxième tube (à prendre en compte 2 x pour un troisième tube).	
	Infrastructure: longueur de tunnel	-	Dédution pour tunnels courts (< 600 m de long).	
Suppléments et déductions sur les produits en CHF/m	Service hivernal	+ -	Supplément pour un service difficile et fréquent, une altitude élevée et des précipitations fréquentes. Dédution pour un service inférieur à la moyenne, une altitude basse et de rares précipitations.	
	Entretien des espaces verts	+ -	Supplément pour les espaces verts difficiles à entretenir, dont l'accès est compliqué. Dédution pour les espaces verts faciles à entretenir.	
	Nettoyage	+ -	Supplément pour les surfaces additionnelles, haut niveau de service, installations d'évacuation des eaux. Dédution pour un faible niveau de service, l'absence d'infrastructure additionnelle et d'évacuation des eaux.	
	Stratégie d'entretien	+ -	Supplément pour un entretien actif, des routes en bon état. Dédution pour un entretien réactif, un état des routes inférieur à la moyenne.	
	Consommation d'énergie et EES	+ -	Supplément pour une consommation d'énergie importante, des standards EES élevés et une télématique à large échelle. Dédution pour un degré d'équipement réduit et un nombre inférieur à la moyenne d'installations consommant beaucoup d'énergie.	
par véhicule- kilomètres /an	Régulation et surveillance du trafic par la police	Imputation sous forme de montant par 1000 véhicules-kilomètres/an		

Fig. b *Modèle de coûts 2018; Les suppléments et déductions possibles sont indiqués dans un cadre en couleur*

Summary

The SN 641 820ff. «Cost-Benefit-Analysis in Road Transportation» series of standards establishes a set of criteria for evaluating different road infrastructure projects or scenarios within the framework of a cost-benefit-analysis. The cost for operating and maintaining these facilities is part of the criteria set. The current standard SN 641 826 has been published in 2008, it reflects the state of knowledge and experience of that time and is partly considered outdated by now. The infrastructure operators have been re-organised following the introduction of NFA (Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung) in 2008. Practical experience gained with the utilisation of the standard and the consequences of NFA necessitate a revision of the standard and its operations and maintenance cost database.

The new cost model presented here distinguishes between road types «high-performance roads», «rural roads», «urban roads» and «tunnels». A base cost value is attributed to each of these road types. Additional environmental, traffic load or service level related factors are introduced. These are applied as surcharges or deductions to the base cost value so that the specific situation of the respective road infrastructure is taken into account (see *Fig. c*). The value structure for estimating operations and maintenance costs can be used to assess different project and reference scenarios, covering the entire range of infrastructure management.

Rapidly developing digitalisation and easier access to data and have not only provided current cost data, but also improved practicability and efficiency of cost estimates. Especially for rural and urban road networks the scope and quality of available cost data has improved significantly. Also, operating and safety equipment have gained importance during the last decade and are now much better reflected than in the current standard.

In addition to providing up-to-date cost data, the underlying cost structure has been thoroughly revised. The basic idea to use base cost values which are then specified using surcharges and deductions is retained. However, the entire list of relevant cost drivers has been comprehensively updated. They are now implemented as additive instead of multiplicative factors, and a number of new factors is proposed. An implementation within the NISTRA framework is easily possible, and practical application will be simplified. The standardisation of the cost drivers improves the overview, while bandwidths are established to reflect the spread of costs. In any real life application, values for «average», «lower-than-average» and «above average» specifications are allowed within the model. In addition, it is possible to deviate from the supplied standard values if more detailed data is available and would improve the final results.

Compared to the current standard from 2008, transparency with respect to the respective tasks will be increased. Also, the new standard proves to be more flexible, as it will allow for the fact that cost drivers, environmental or service conditions may change during the period under consideration. This could include increased traffic loads, road condition, further infrastructure extensions or future tools of communication between operators and users of the road infrastructure.

It is expected that future technical progress will change the requirements for road infrastructure even further. Extensively digitised infrastructure or concepts like «Smart Maintenance» could not taken into account, neither in the cost values nor in the predicted trends. If necessary, such additional cost drivers will have to be determined separately. Generally, continuing technological progress in mobility will continue to affect the cost of operating and maintaining the road infrastructure. How are operators, owners and users of road infrastructure going to deal with issues like autonomous driving systems, electric mobility, and high-level traffic control systems? How will the infrastructure be utilised in order to meet different future demands? Such effects are outside the scope of the research project and have to be discussed elsewhere. The results, however, should then be integrated into the operations and maintenance cost estimates presented here.

		RP / RGD tronçons ouverts	Tunnels (et galeries)	Routes hors des localités	Routes à l'intérieur des localités
en CHF/m	Coûts de base	COÛTS DE BASE par type de route			
Facteurs d'environnement et de nuisances en CHF/m	Charge de trafic: trafic journalier moyen (TJM)	Facteur de correction si le TJM s'écarte d'une valeur de référence (en fonction du type de route)			
	Charge de trafic: part du trafic lourd	Facteur de correction si la part de trafic lourd s'écarte d'une valeur de référence		Facteur de correction pour les routes comptant plus de 100 véhicules lourds (camions, bus, etc.) par jour	
	Infrastructure: densité de l'infrastructure	+ Supplément pour une part élevée d'infrastructure supplémentaire. - Déduction pour une faiblesse de l'infrastructure.			
	Infrastructure: équipement	+ Supplément pour un niveau d'équipement élevé (p. ex. galeries de sécurité).			
	Infrastructure: tubes	+ Supplément pour deuxième tube (à prendre en compte 2 x pour un troisième tube).			
	Infrastructure: longueur de tunnel	- Déduction pour tunnels courts (< 600 m de long).			
Suppléments et déductions sur les produits en CHF/m	Service hivernal	+ Supplément pour un service difficile et fréquent, une altitude élevée et des précipitations fréquentes. - Déduction pour un service inférieur à la moyenne, une altitude basse et de rares précipitations.			
	Entretien des espaces verts	+ Supplément pour les espaces verts difficiles à entretenir, dont l'accès est compliqué. - Déduction pour les espaces verts faciles à entretenir.			
	Nettoyage	+ Supplément pour les surfaces additionnelles, haut niveau de service, installations d'évacuation des eaux. - Déduction pour un faible niveau de service, l'absence d'infrastructure additionnelle et d'évacuation des eaux.			
	Stratégie d'entretien	+ Supplément pour un entretien actif, des routes en bon état. - Déduction pour un entretien réactif, un état des routes inférieur à la moyenne.			
	Consommation d'énergie et EES	+ Supplément pour une consommation d'énergie importante, des standards EES élevés et une télématique à large échelle. - Déduction pour un degré d'équipement réduit et un nombre inférieur à la moyenne d'installations consommant beaucoup d'énergie.			
par véhicule-kilomètres et par an	Régulation et surveillance du trafic par la police	Imputation sous forme de montant par 1000 véhicules-kilomètres/an			

Fig. c Cost model 2018; Feasible reductions and surcharges are highlighted with a coloured bar

1 Einleitung

1.1 Ziel der Forschungsarbeit

Die Normenreihe SN 641 820ff «Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr» [1] bzw. [2] zeigt auf, welche Kriterien bei der Analyse verschiedener Projekte oder Projektvarianten in einer Kosten-Nutzen-Analyse zu bewerten sind und wie die Monetarisierung erfolgt. Dies dient als Grundlage für die Entscheidungen über einen effizienten Mitteleinsatz bei Strasseninfrastrukturprojekten. Die Norm SN 641 826 «Kosten des betrieblichen Unterhalts» [3] bildet die Grundlage für die Monetarisierung der Betriebskosten («laufende Kosten»), sie grenzt sich von den Investitionen ab und nimmt die Sicht der Strassenbetreiber bzw. Strasseneigentümer ein.

Die aktuelle Norm wurde im Jahr 2008 veröffentlicht und reflektiert den damaligen Stand der Diskussion und der verfügbaren Datengrundlagen. Seitdem ist eine Reihe von Veränderungen eingetreten, die eine Aktualisierung der Norm sinnvoll erscheinen lassen. Die Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung (NFA) hat die Organisationsstruktur durch den Übergang des Nationalstrassennetzes in den unmittelbaren Verantwortungsbereich des Bundes verändert [4]. Zudem stehen mittlerweile deutlich umfassendere und bessere Datengrundlagen zur Verfügung, die es ermöglichen, fundierte und detaillierte Aussagen zu treffen. Insbesondere im Bereich der Stadt- und Gemeindestrassennetze liegen umfangreiche neue Datensätze vor.

Anwendungserfahrungen legen eine Prüfung der bisher verwendeten Kostentreiber nahe. Insbesondere folgende Elemente haben seit der letzten Normenveröffentlichung an Bedeutung gewonnen und sind bei der Aktualisierung der Norm nach Möglichkeit zu berücksichtigen:

- Art und Umfang der technischen Einrichtungen (Beleuchtung, Belüftung, verkehrstelematische Einrichtungen etc.) – dies auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung dieser Anlagen.
- Art und Dimensionierung der Kunstbauten (Tunnel, Galerien, Brücken, Stützmauern etc.).
- Rahmenbedingungen und vorgegebene Service Levels (z.B. Häufigkeit von Reinigungen, Umfang des Winterdienstes, akzeptable Strassenzustände etc.).
- Belagsart.

Darüber hinaus wurde von den Anwendern der aktuellen Norm eine bessere Anwendbarkeit eingefordert. Mit einem verbesserten Ansatz soll die Anwendung der Norm einfacher, gleichzeitig aber auch treffsicherer werden.

1.2 Normenreihe Kosten-Nutzen-Analyse im Strassenverkehr

Die Grundnorm SN 641 820 «Kosten-Nutzen-Analyse im Strassenverkehr; Grundnorm» [1] gilt für die Bewertung der volkswirtschaftlichen Effizienz von Infrastrukturinvestitionen und von verkehrspolitischen Massnahmen im Strassenverkehr im Rahmen einer dynamischen Kosten-Nutzen-Analyse (KNA). Sie gilt als Bewertungsmethode für monetarisierbare Effekte eines Projekts und macht zudem Aussagen zu den Kosten und zum Nutzen von verkehrspolitischen Massnahmen oder Vorschriften. Die Grundnorm mit ihren Detailnormen hat im Wesentlichen die folgenden Anwendungsbereiche:

- Bewertung von Infrastrukturprojekten im Strassenverkehr (bauliche Massnahmen)
- Beurteilung von verkehrsorganisatorischen, verkehrspolitischen und betrieblichen Massnahmen (z.B. Geschwindigkeitslimiten, Abgaben, Betriebs- und Sicherheitsausrüstung, Verkehrssteuerung)
- Ausrichtung auf volkswirtschaftliche Gegenüberstellungen der Vor- und Nachteile

Die KNA ist Teil der gesamthaften Nachhaltigkeitsbeurteilung auf der Basis von NISTRA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Strassen), wobei sie die Planungs-, Projektierungs- und Bauphase sowie die Nutzungsphase umfassen kann. Die Norm SN 641 826 «Kosten des betrieblichen Unterhalts» ist Teil dieser Normenreihe.

1.3 Vorgehen

Als Grundlage für eine Normenaktualisierung wurden neue Kostendaten beim Bundesamt für Strassen ASTRA, den Kantonen und Gemeinden beschafft. Nebst den Kostendaten wurden auch Bezugsgrössen erhoben, die v.a. die Dimensionierung der Strasseninfrastruktur, die Ausstattung bzgl. verkehrstelematischer und sicherheitsrelevanter Anlagen, Service Levels usw. umfassten. Je nach Herkunft der Daten lagen diese Kosten- und Mengenangaben sehr detailliert und ausführlich oder bereits in aggregierter Form vor.

Die eingegangenen Daten wurden anschliessend plausibilisiert und korrigiert. Nach der Datenbereinigung wurden umfangreiche statistische Auswertungen durchgeführt. Ziel dieser Auswertungen war die ausgewogene Festlegung wichtiger Einflussfaktoren und die Abschätzung des jeweiligen Einflusses auf die Kosten des betrieblichen Unterhalts. Es wurden die gesamten Kosten des betrieblichen Unterhalts wie auch Kosten der Teilprodukte wie Winterdienst oder Reinigung eingehend analysiert, um – ausgehend von einem Basiswert – Kosteneinflüsse bei niedriger, normaler und starker Ausprägung eines Einflussfaktors abzuschätzen.

Schlussendlich wurden basierend auf den Erkenntnissen der Auswertung und den Inputs der Begleitkommission Kostenmodelle entwickelt, je eines für die Strassentypen «Hochleistungs-/Hauptverkehrsstrassen, offene Strecke» (HLS/HVS), «Tunnel» ⁽¹⁾, «Strassen ausserorts» und «Strassen innerorts». Es gilt festzuhalten, dass für die Kostenmodelle «Strassen ausserorts» und «Strassen innerorts» sowohl die Daten aus den Gemeinden als auch von den Kantonen verwendet wurden. Für die Modelle «National- und Hochleistungsstrassen» und «Tunnel» wurden ausschliesslich die Daten des ASTRA berücksichtigt. Das Kostenmodell für Tunnel gilt sowohl für National- als auch für Kantonsstrassen, wobei für Kantonsstrassen berücksichtigt wird, dass der Ausrüstungsgrad meist tiefer liegt, als bei Tunnel der Nationalstrasse. Es gilt auch zu beachten, dass Tunnel im Kantonsstrassenbereich meist kurz sind.

(1) Inkl. Galerien und Überdeckungen.

2 Ausgangslage und Verbesserungspotenzial

Verglichen mit den Investitionsausgaben für den Neu-, Aus- oder Umbau von Strasseninfrastruktur 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 Strassenprojekts – dürften die Betriebskosten je nach Anlage zwischen einem und 20 % des Gegenwartswertes der Lebenszykluskosten ausmachen.

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» [5], enthält lediglich Kostenkennzahlen für den baulichen Unterhalt.
- Ebenso ist SN 640 986 «Durchschnittlicher jährlicher Mittelbedarf für die Erhaltung von Strassennetzen» [6] im Wesentlichen auf den baulichen Unterhalt bezogen.
- Die standardisierte Bewertungsmethode des ASTRA für die Beurteilung von Projekten bzw. Projektbestandteilen mit Hilfe der Kostenwirksamkeitsanalyse [7] veranschlagt zur Bemessung von Betriebs- und Unterhaltskosten «im Allgemeinen» 1.5 % der Investitionskosten. Betriebskostenänderungen aufgrund von Verkehrsverlagerungen sollen anhand der Lastwagenkilometer berücksichtigt werden, wobei pro LW-Kilometer im bestehenden Netz 0.22 Schweizer Franken und auf der neu erstellten Strasse 0.15 Schweizer Franken veranschlagt werden.

Eine Kostennorm zum betrieblichen Unterhalt soll dazu dienen, die künftig entstehenden betrieblichen Unterhaltskosten schätzen zu können, sofern keine besseren oder unmittelbar auf das betrachtete Projekt bezogenen Daten vorhanden sind. Die Norm SN 641 826 (2008) ist am 1. Februar 2008 in Kraft getreten und bis heute gültig. Die Norm soll nun durch eine aktualisierte Version abgelöst werden, da sich insbesondere seit Inkrafttreten des NFA die Prozesse, Organisationen und Strukturen dergestalt geändert haben, dass die gültige Norm nicht mehr den heutigen Gegebenheiten entspricht.

2.1 Verwendungszweck der Kostennorm SN 641 826

Die Norm SN 641 826 «Kosten des betrieblichen Unterhalts» [3] dient der Abschätzung und Prognose der Kosten des betrieblichen Strassenunterhalts für bauliche, verkehrsorganisatorische und betriebliche Massnahmen im Strassennetz.

Dabei ist nicht nur diejenige Strasse relevant, auf welcher die Massnahmen geplant wird, sondern auch Strassen, die durch die Massnahmen vom Verkehr entlastet (bzw. mit mehr Verkehr belastet) werden. Im Kontext der Grundnorm liefert die Norm SN 641 826 die erforderlichen Modelle und Kostensätze. Die Norm kommt da zum Einsatz, wo betriebliche Aspekte eine nicht vernachlässigbare Rolle spielen. Einige Anwendungsmöglichkeiten sind in *Tab. 1* aufgeführt.

Tab. 1 Anwendungsbeispiele

Innerhalb von NISTRA	Die KNA ist Teil der gesamthaften Nachhaltigkeitsbeurteilung auf der Basis von NISTRA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte)
KNA ausserhalb von NISTRA	Kosten und Nutzen des betrieblichen Unterhalts, Grössenordnung von Kosten, grobes Benchmarking
Erhaltungsmanagement, Umrüstung von Abschnitten	Bauliche Massnahmen (Infrastruktur), verkehrsorganisatorische Massnahmen und betriebliche Massnahmen (z.B. Betriebs- und Sicherheitsausrüstung, Verkehrssteuerung)
Anwendbarkeit in Planungsphasen	Grobevaluation («Vorstudie») oder Feinevaluation («Hauptstudie»): Strategische Planung, Machbarkeitsstudien und Zweckmässigkeitsbeurteilung, Projektstudie bzw. globales Erhaltungskonzept, Vorprojekt (Generelles Projekt, Massnahmenkonzept), Bauprojekt (Detailprojekt, Massnahmenprojekt)

2.2 Anwendung der Kostenmodelle

Jeder Anwendung gehen zum Teil umfassende Abklärungen voraus. Zunächst muss sich der Anwender überlegen, was miteinander verglichen werden muss. Oftmals stehen Kostenunterschiede zwischen Planungsfällen und einem Referenzfall, z.B. aufgrund von Unterschieden in Dimensionierung, Ausstattung, Zustand oder Lage des Strassennetzes und/oder in der Verkehrsbelastung der Strassenanlagen im Vordergrund.

Es gilt festzulegen, welchen Betrachtungszeitraum die Analyse umfassen soll. Für eine Anwendung in NISTRA umfasst der Betrachtungszeitraum 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 ein gemeinsames Begrenzungsjahr verwendet. Je nach Anwendung kann der Betrachtungszeitraum auch deutlich kürzer ausfallen – z.B. 10 bis 15 Jahre, bis zur nächsten planmässigen Instandsetzung.

Bei längerfristigen Betrachtungen und bei sich deutlich unterscheidenden Varianten ist weiter zu beachten, dass alle Kosten und Nutzen, welche in unterschiedlichen Zeitperioden anfallen, auf einen gemeinsamen Vergleichszeitpunkt umgerechnet werden müssen. Der Vergleichszeitpunkt ist meistens der Zeitpunkt der Entscheidung für oder gegen ein Projekt (oder eine Projektvariante). Kostenberechnungen erfolgen zu realen Preisen. Die Kosten und Nutzen sind in Faktorpreisen (nicht Marktpreisen) anzugeben, d.h. die indirekten Steuern sind herauszurechnen.

Bei der Festlegung des Untersuchungsraumes gilt es zu beachten, dass immer das gesamte Einflussgebiet berücksichtigt wird. Der Bau einer neuen Strasse kann zu Einsparungen von Betriebs- und Unterhaltskosten auf einer anderen, durch den Neubau entlasteten Strecke führen. Ebenfalls führen Umnutzungen oder eine Veränderung des Angebots im Allgemeinen zu Veränderung der Betriebs- und Unterhaltskosten.

Die zu berücksichtigenden Änderungen, die anzuwendenden Kostenfaktoren, die Zu- und Abschläge, die Anpassung an die Teuerung, etc. sind dabei stets vom Anwender zu beurteilen und durchzuführen. Im Normalfall müssen nur Änderungen gegenüber einem Referenzfall bewertet werden. Es ist nicht notwendig, ganze Strassennetze in die Kosten-Nutzen-Analyse aufzunehmen; meist kann sich ein Anwender auf diejenigen Strassenabschnitte beschränken, auf denen der DTV sich über die Jahre und die Varianten hinweg signifikant ändert.

2.3 Geltungsbereich

Die Norm SN 641 826 [3] liefert ein Wertgerüst (Kostensätze) zur Abschätzung bzw. Prognose von Kosten des laufenden Strassenbetriebs im Vergleich mit Referenz- und Planungsfällen des Strassenbaus und des Strassenmanagements.

Die Norm SN 641 826 gilt für Strassen des rollenden Verkehrs einschliesslich einfacher ÖV-Anlagen wie z.B. direkt an die Strasse angrenzende Haltestellen und Busstreifen. Die Norm gilt nicht für spezielle ÖV-Anlagen im Strassenbereich wie z.B. Strassenbahngleise, Fahrstromversorgung, Bahnübergänge usw. Ebenso ist sie nicht für Anlagen des ruhenden Verkehrs wie Parkhäuser usw. gültig.

In der bestehenden Norm wird zwischen «Hochleistungs- bzw. Hauptverkehrsstrassen», «Tunnel» und «übrigen Strassen» unterschieden. Die Norm ist dort zu verwenden, wo die Kosten des betrieblichen Unterhalts benötigt werden, aber keine vertieften Informationen verfügbar sind. Im Bewertungsprozess sind die Kostenangaben der Norm, wenn immer möglich, mit bestehenden Daten abzugleichen und zu verifizieren. Der Einbezug von Praktikern des betrieblichen Unterhalts ist zu empfehlen. Sonderfälle bzw. Spezialfälle müssen gesondert abgeschätzt werden, bzw. die Kostenangaben sind entsprechend anzupassen und mit Experten zu verifizieren.

2.4 Verbesserungspotential der Norm SN 641 826 (2008)

Die bestehende Norm SN 641 826 (2008) bezieht sich auf Daten und Begebenheiten aus dem Jahr 2004 und früher. Sie basiert daher auf Daten und Strukturen vor Einführung des NFA 2008 (Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung). Mit dem NFA sind die Nationalstrassen in den Besitz des Bundes übergegangen, dadurch hat sich die gesamte Organisationsstruktur verändert [8], [9].

Ein weiterer Kritikpunkt an der heute gültigen Norm ist die ungenügende Berücksichtigung des untergeordneten Strassennetzes. Die Stadt- und Gemeindestrassen sind aufgrund spärlicher Datengrundlage nur ungenügend abgebildet. Sie werden nur rudimentär klassifiziert, wobei aber bereits Zuschläge für erhöhten Aufwand auf Grund von ÖV-Haltestellen oder spezielle Einpassungen ins Ortsbild (wie z.B. Pflästerungen) bestehen. Die Aussagekraft und Kostengenauigkeit für den betrieblichen Aufwand des untergeordneten Strassennetzes soll entscheidend verbessert werden.

Die bestehende Norm aus dem Jahr 2008 referenziert auf die nicht mehr existierenden «Schweizerischen Mittelwerte» ⁽²⁾ für Nationalstrassen. Zudem basieren die Kostenberechnungen auf der heute selten gebrauchten Einheit «virtuelle Kilometer» (kmv). Im Weiteren sprechen vor allem erkannte Schwachstellen der heutigen Norm in der Anwendung für eine Aktualisierung. Die Norm soll in der Praktikabilität und Anwenderfreundlichkeit verbessert werden und so von einem breiteren Publikum genutzt werden. Die Norm soll auch unter Praktikern vermehrt Beachtung finden und das Kostenverständnis vergrössern. Ein weiterer Kritikpunkt an der bisherigen Norm war das Fehlen einer Bandbreite der Kosten. Es kann jedoch nicht Aufgabe der Norm sein, alle möglichen Kostenfaktoren zu berücksichtigen und Schätzungen der Kostenveränderungen anzugeben.

Es ist davon auszugehen, dass seit der letzten Normenveröffentlichung neue Kostenfaktoren bei der Kostenberechnung eine wesentliche Rolle spielen. Dies gilt insbesondere für die Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (Beleuchtung, Belüftung, verkehrstelematische Einrichtungen usw.), welche in den letzten Jahren, vor allem bei Nationalstrassen, an Stellenwert gewonnen hat. Strasseninfrastrukturabschnitte mit hohem Kunstbautenanteil haben in der bisherigen Norm keine entsprechende Beachtung erhalten. Gleiches gilt für

⁽²⁾ Die «Schweizerischen Mittelwerte» wurden bis 2010 von der müllerchur AG ermittelt. Seitdem verzichtet das ASTRA auf die Erhebung.

die Belagsart: Die Verwendung von lärmindernden Belagsarten verursacht z.B. höheren Reinigungsaufwand und Winterdienst und damit höhere Unterhaltskosten, welche mit der bisherigen Norm nicht bzw. nur ungenügend abgebildet werden können.

Im Weiteren wird die Norm dem grösseren Streckennetz, der gestiegenen Verkehrsbelastung und vor allem auch der moderneren technischen Ausrüstung nicht mehr vollaufgerecht und vermag immer weniger als geeignete Grundlage für eine nachhaltige Planung und Projektierung zu dienen.

Aus diesen Gründen werden als erstes die drei bestehenden Modelle «HLS, HVS», «Übrige Strassen» und «Tunnel» in die Strassentypen «National- und Hochleistungsstrassen, offene Strecke», «Strassen ausserorts», «Strassen innerorts» und «Tunnel» überführt. Die Angabe von Bandbreiten kann ebenfalls mit Hilfe der neuen Analysen umgesetzt werden: Es werden Bandbreiten ausgewiesen, die nebst dem zentralen Wert für NISTRA auch Kostenschätzungen unter Berücksichtigung wichtiger Kostentreiber ermöglichen. Es ist mit den neuen Modellen zu prüfen, ob weitere Randbedingungen und Einflussfaktoren einbezogen werden können. Dies könnten u.a. vorgegebene Service Levels (Häufigkeit der Reinigung, Winterdienst) oder der akzeptierte Strassenzustand sein.

2.5 Nationale und internationale Literatur

Die Gesamtkosten des Betriebs und Unterhalts für Strasseninfrastrukturen auf allen Ebenen werden in der nationalen und internationalen Literatur nicht ausführlich diskutiert; wohl auf Grund der Tatsache, dass unterschiedliche Organisationseinheiten jeweils unterschiedliche Prozesse und Kostenstrukturen aufweisen und so umfassende Vergleiche nur bedingt möglich sind. Jedoch werden einzelne Bestandteile wie Winterdienst, Reinigung und v.a. der bauliche Unterhalt ausführlicher untersucht.

Die Norm SN 641 826 [3], [10] enthält folgende Basiskosten für den betrieblichen Unterhalt:

HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel ⁽³⁾	Übrige Strassen
97.67 CHF/m	299.52 CHF/m	45.95 CHF/m

Abb. 1 Basiskosten gemäss aktueller Norm SN 641 826 (2008) mit Preisbasis 2017 ⁽⁴⁾

Erste globale Kostenkennzahlen können aus der Strasseninfrastrukturrechnung der Schweiz und diversen weiteren statistisch aufbereiteten Zahlen aus den Berichten des Bundesamtes für Statistik entnommen werden [11], [12]. Für National-, Kantons- und Gemeindestrassen sind spezifische Kostenkennzahlen ebenfalls vorhanden.

Lange Jahre hat die Firma müllerchur AG im Auftrag des ASTRA und einzelnen Kantonen Statistiken über die Kosten des betrieblichen Unterhalts von National- und Kantonsstrassen geführt (siehe beispielsweise [13], [14]). Im Zuge des NFA und den dadurch entstandenen neuen Zuständigkeiten des ASTRA wurden die Zahlen in den letzten paar Jahren nur noch für einzelne interessierte Kantone erhoben und ausgewertet. Ein Benchmarking der Gebietseinheiten [15] zeigte erstmals seit der Einführung des NFA, dass die Kosten in einzelnen Produkten wie z.B. Winterdienst oder Grünpflege hohe Unterschiede zwischen den Gebietseinheiten aufweisen.

Die Fachorganisation kommunale Infrastruktur trägt seit über 20 Jahren Kennzahlen zu den Teilbereichen Winterdienst, Reinigung und bauliche Reparaturen zusammen [16]. Die Zahlen geben einen ersten Hinweis darauf, dass das Preisniveau für Reinigung und

⁽³⁾ Gemäss gültiger Norm (Ziffer 8) nehmen die Kosten real ab. Diese Trendprognose war nicht zutreffend, weshalb der Trend in den Tunnelkosten nicht eingerechnet wurde.

⁽⁴⁾ Umrechnung: Index Tiefbau April 2004: 84.0 (Preisbasis Oktober 2015=100%)

Winterdienst über die letzten Jahre einigermaßen konstant geblieben ist, hingegen die baulichen Reparaturen abgenommen haben. Die Daten und Ergebnisse sind allerdings aggregiert und lassen keine detaillierten Einblicke zu.

Eine Studie zu Kennzahlen der kommunalen Strasseninfrastruktur in der Schweiz aus dem Jahr 2016 wurde durch die ETH Zürich und die pom+Consulting AG durchgeführt [17]. Die Daten geben ein sehr heterogenes Bild ab, so dass detaillierte Benchmarks kaum möglich waren. Dennoch konnten einige Zusammenhänge festgestellt werden. Die vorliegende Forschungsarbeit hat bezüglich der Gemeinden fast denselben Datensatz verwenden können – allerdings wurden auf Grund der unterschiedlichen Fragestellungen andere statistische Methoden zur Auswertung verwendet. Auf Einsparpotentiale v.a. bei kleineren Gemeinden beim Inventar macht der Bericht [18] aufmerksam. Darin wird ebenfalls die Organisationsstruktur thematisiert, welche sich teilweise optimieren lässt.

In Deutschland ist mit der EWS 97 [19], [20] ein Regelwerk vorhanden, das bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Strassen verwendet wird. Darin enthalten sind auch Kosten für den laufenden Betrieb. Sie umfassen Kostenspannweiten – umgerechnet auf Schweizer Franken, Preisbasis 2017 [21], [22] – welche in *Tab. 2* zu finden sind.

Tab. 2 *Laufende Kosten gemäss EWS 97, umgerechnet auf Schweizer Franken 2017* ⁽⁵⁾

Strassentyp	Laufende Kosten (pro Jahr)	
Autobahnen	20 bis 62 CHF/m	
Strassen ausserorts	21 bis 51 CHF/m	
Strassen innerorts	8.5 bis 32 CHF/m	
Rad- und Gehwege	1.30 CHF/m	
Tunnel	einröhrig	320 CHF/m
	zweiröhrig	533 CHF/m
Brücken		320 CHF/m

Allerdings sind die ausgewiesenen Kosten in EWS 97 nicht eins zu eins mit den Kosten in diesem Bericht vergleichbar. Einerseits haben Umfang und Komplexität der Arbeiten zugenommen, Anforderungen an Sicherheit und technische Ausrüstung wurden verschärft, und andererseits sind die Inhalte der Arbeiten nicht deckungsgleich mit den schweizerischen. Dennoch geben die Zahlen einen Anhaltspunkt, wie hoch Kosten für Betrieb und Unterhalt im Vergleich zu Deutschland sein können.

Auch in Österreich sind Zahlen zu laufenden Kosten vorhanden [23], [24], [25]. Sie sind ausser für Autobahnen und Schnellstrassen tiefer als in Deutschland (siehe *Tab. 3*).

⁽⁵⁾ Umrechnung: 1 Deutsche Mark (DM) entspricht 0.81510 CHF (siehe [64]), Tiefbaupreisteuerungsindex 1997-2017: 1.34952

Tab. 3 *Laufende Kosten Österreich 2011, umgerechnet auf Schweizer Franken 2017* ⁽⁶⁾
unter der Annahme von 2 bis 4 Fahrstreifen pro Laufmeter Strasse

Strasstyp	Laufende Kosten (pro Jahr), Richtwerte
Autobahnen und Schnellstrassen	47 bis 95 CHF/m
Strassen ausserorts	22 bis 30 CHF/m
Strassen innerorts	9 bis 10 CHF/m
Tunnel	130 bis 140 CHF/m

Es muss festgehalten werden, dass die diversen Organisationsformen und -grössen dazu führen, dass die Datenlage heterogen ist; dies nicht nur in der Schweiz sondern auch in anderen Ländern. Deshalb wurde in der vorliegenden Studie versucht, die Daten soweit aufzubereiten, dass sie für alle Ebenen der Strasseninfrastruktur einheitlich und somit vergleichbar sind – zumindest innerhalb der Schweiz. Sie lassen sich nur bedingt mit Wegekosten oder laufenden Kosten aus Deutschland und Österreich vergleichen

Es muss aber auch festgehalten werden, dass die Anforderungen an die diversen Organisationseinheiten unterschiedlich sind und bleiben werden, so dass auch in Zukunft trotz allen Harmonisierungsbestrebungen die Daten weder einfach verfügbar noch direkt miteinander vergleichbar werden. Die Anforderungen und Aufgaben der Organisationseinheiten bleiben unterschiedlich und somit auch die jeweils optimale Organisationsform und folglich auch die Kostenstrukturen (siehe dazu beispielsweise [26]).

⁽⁶⁾ Umrechnung: 1€ entspricht 1.28472 (siehe [64]), Tiefbaupreisteuerungsindex 2011-2017: 1.02888

3 Elemente des Betriebs und Unterhalts

Die Begriffe «Betrieb» und «Unterhalt» von Strassenanlagen werden sehr vielfältig und heterogen verwendet. Dadurch werden auch je nach Literaturquelle bzw. Kontext die Begriffe unterschiedlich gebraucht und mit unterschiedlichen Inhalten hinterlegt. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Begriffe im Zusammenhang mit «Betrieb» und «Unterhalt» von Strassenanlagen und ihre Verwendung innerhalb dieser Forschungsarbeit detailliert beschrieben. Dabei wird berücksichtigt, dass die Kosten innerhalb der Normenreihe zur Kosten-Nutzen-Analyse ausgewiesen werden müssen. Alle verfügbaren Daten wurden mit Hilfe dieser Begriffsstruktur in diese einheitliche Mengen- und Kostenstruktur überführt, welche sich von andernorts verwendeten Definitionen unterscheiden kann.

3.1 Abgrenzung des Begriffs «Betriebskosten von Strassen»

Im Lebenszyklus einer Strasseninfrastruktur fallen folgende Kosten an (siehe auch [27], [28], [29]):

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

Das für die Norm SN 641 826 entwickelte Wertgerüst umfasst lediglich den betrieblichen Unterhalt, d.h. die laufenden Kosten, welche zu den Betriebskosten der Strassen zählen. Allerdings lassen sich die «Betriebskosten der Strasse» und die «Unterhaltskosten» nicht immer vollständig trennen. Gerade der bauliche Unterhalt ist nicht immer klar einer Kostenkategorie zuzuordnen. In der vorliegenden Studie interessieren nur die Betriebs- und Unterhaltskosten, soweit sie als laufende Kosten bezeichnet werden können. Es muss unterschieden werden zwischen Unterhalt und Erneuerung, Instandhaltung und Instandsetzung, Ersatz und Ausbau (siehe auch *Kapitel 3.2*). Die weiteren Kostenarten wie Baukosten, Landkosten, Erneuerungs-/Ersatzkosten sowie allfällige Kosten für Rückbau und Entsorgung werden in der Kosten-Nutzen-Analyse als investive Ausgaben (aktivierbare Ausgaben) behandelt und separat betrachtet.

Die Betriebs- und Unterhaltskosten gliedern sich gemäss der Grundnorm SN 641 820, Absatz 33 wie folgt:

- Betriebskosten (wie Signalisation, Verkehrskontrolle, Mauterhebung, Winterdienst, Säuberung, Grünpflege, Entwässerung, Beleuchtung, Tunnelbelüftung).
- Routineunterhalt (wie kleine lokale Reparaturen sowie die üblichen periodischen Instandhaltungsarbeiten).

Der Fokus der Norm SN 641 826 liegt auf Betriebs- und Unterhaltskosten und enthält dementsprechend die Betriebskosten und den Routineunterhalt.

3.2 Elemente der Betriebs- und Unterhaltskosten

Der Betrieb und Unterhalt von Strassen umfasst sämtliche Tätigkeiten und Tatbestände, die der laufenden Gewährleistung von Anlagefunktion, verkehrlicher Verfügbarkeit, 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. Die Strasseninfrastrukturrechnung der Schweiz [12] unterscheidet vier Kategorien für die Betriebsausgaben der Strasseninfrastruktur:

1. Betrieblicher Unterhalt
2. Verwaltung
3. Signalisation
4. Verkehrsregelung und Überwachung

Gemäss Richtlinie ASTRA 16200 «Betrieb NS - Allgemein verbindliche Bestimmungen zu den Teilprodukten» [30] und «Betrieb NS - Tätigkeitsverzeichnis» [31] werden im Betrieb die beiden Kostenarten betrieblicher Unterhalt und kleiner baulicher Unterhalt (kbU) verbucht.

Der Begriff «Baulicher Unterhalt» wird in der Schweiz verschieden verwendet: Einerseits als Oberbegriff über alle Unterhaltsarbeiten baulicher Art (i) und als Begriff, der den baulichen Unterhalt in Projekten vom projektfreien baulichen Unterhalt (dem oft sogenannten kleinen baulichen Unterhalt) abgrenzt (ii). Diese Abgrenzung ist notwendig, da die Strassenbetreiber und -eigentümer projektierte Unterhaltsarbeiten den Investitionen zuschreiben, den projektfreien baulichen Unterhalt aber zu den laufenden Kosten zählen.

Deshalb wird im Folgenden der Begriff «Kleiner baulicher Unterhalt» als weiteres Teilprodukt in die Kostenstruktur aufgenommen. Der Begriff ist im Sinne von laufenden Kosten zu verstehen, weshalb auch der Begriff projektfreier baulicher Unterhalt verwendet wird. Somit können die Betriebs- und Unterhaltskosten gemäss *Abb. 2* in fünf Kostenkategorien unterteilt werden. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Kostenkategorien detaillierter beschrieben.

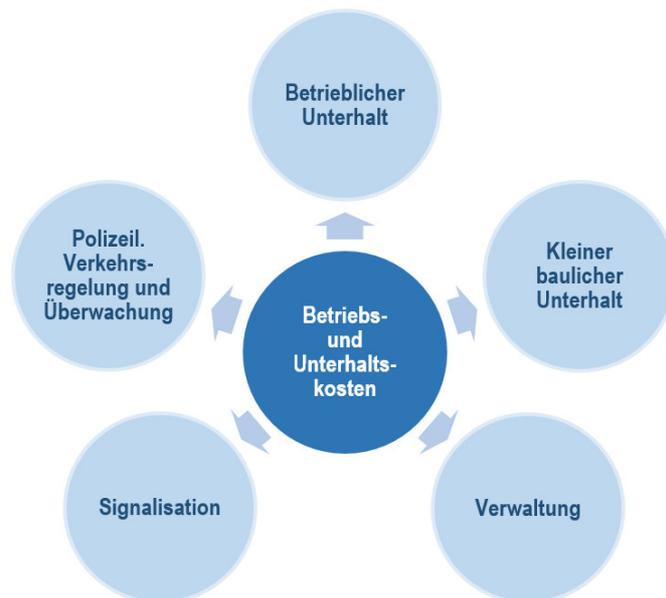


Abb. 2 Kostenstruktur für die Ausgaben für Betrieb und Unterhalt der Strasseninfrastruktur

3.3 Betrieblicher Unterhalt

Der betriebliche Unterhalt enthält gemäss [30], [32] und [33] folgende Produkte, wobei auf Grund der Datenlage aus den Kantonen und Gemeinden die Kategorie Zentrale Dienste und Werkhöfe separat hinzugenommen wurde. Da seit wenigen Jahren auch beim ASTRA die Gemeinkosten separat ausgewiesen werden müssen, ist folgende Aufteilung für diesen Bericht ausschlaggebend:

1. Winterdienst
2. Reinigung
3. Grünpflege
4. Technischer Dienst
5. BSA, soweit nicht bereits im technischen Dienst enthalten
6. ausserordentlicher Dienst
7. Zentrale Dienste und Werkhöfe
8. Unfalldienst

3.3.1 Winterdienst

Der Winterdienst umfasst alle Tätigkeiten in Zusammenhang mit Schneeräumung und der Bekämpfung der Winterglätte, einschliesslich des Streuguts. Zudem sind in diesem Produkt auch die Rufbereitschaft bzw. der Pikettdienst und Kontrollfahrten bzw. Überwachung des winterlichen Strassenzustandes enthalten. Die Aufwendungen im Winterdienst hängen stark von Region und Niederschlagsmengen bzw. Temperaturschwankungen ab.

3.3.2 Reinigung

Die Reinigung der Strassenanlagen umfasst die Reinigung von Fahrbahnen, Mittelstreifen, Banketten, Grünflächen, Nebenanlagen, Rastplätzen, Uferverbauungen, Beleuchtungen, Kanalisations- und Entwässerungssysteme, Signalisationsmitteln, Schutzanlagen, Kunstbauten, Tunnel, Galerien, Brücken, sowie von Gebäuden und Messanlagen. Zur «Reinigung» gehören aber auch Reinigungsaufgaben entlang von Geh- und Radwegen und an ÖV-Haltestellen, insbesondere das Leeren der aufgestellten Abfallkübel. Die Transporte, Überwachungstätigkeiten in Zusammenhang mit der Reinigung, die notwendigen Gerätschaften und die Entsorgung des Reinigungsgutes wird ebenfalls unter «Reinigung» verbucht.

3.3.3 Grünpflege

Alle Aufwendungen in Zusammenhang mit der Rasen- und Gehölzpflege entlang der Strassen (Mähen, Bäume und Sträucher schneiden, Bepflanzungen etc.), dem Unterhalt der strassenseitigen Parkanlagen und einzelner Blumenbeete sowie dem Transport und der Entsorgung des Schnittguts bzw. Gehölzes werden zur «Grünpflege» gezählt. Hinzu gezählt werden auch Aufwendungen für Material (Saatgut, Blumen, Gärtnereien etc.) und Werkzeug für die Ausführung der Grünpflege. Zudem gehören je nach Organisationsform auch die Überwachungstätigkeiten in Zusammenhang mit der Grünpflege in diese Kategorie.

3.3.4 Technischer Dienst

Nicht in allen Fällen lässt sich der technische Dienst von den Kosten der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) trennen – gerade im untergeordneten Strassennetz wird eine exakte Trennung aufwändig und daher nur selten vorgenommen. In jedem Fall gehören alle Überwachungstätigkeiten in Zusammenhang mit den diversen Schutz- und Sicherheitseinrichtungen (Lawinenschutz, Steinschlagnetze, Dämme, Leitplanken etc.) zum technischen Dienst. Darüber hinaus ist auch die Entsorgung von technischen Gerätschaften im technischen Dienst enthalten.

3.3.5 Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA)

Sofern die Kosten für die BSA nicht bereits in den Kosten des technischen Dienstes enthalten sind, können sie gesondert ausgewiesen und untersucht werden. Insbesondere im übergeordneten Strassennetz ist diese Trennung vorhanden.

Je nach Strassenkategorie und BSA-Ausgestaltung umfassen die Aufwendungen für die BSA unter anderem die Energieversorgung sowie die Kontrolle, Wartung und Reparatur von Beleuchtungs- und Belüftungsanlagen, Signalisationseinrichtungen, Markierungen, Stützkonstruktionen und Schutzvorrichtungen.

3.3.6 Ausserordentlicher Dienst

Zum ausserordentlichen Dienst zählen alle Massnahmen infolge unvorhersehbarer (einmaliger) Ereignisse (wie z.B. Naturgefahren, Schadenwehr etc.). Die Kosten des ausserordentlichen Dienstes können von Jahr zu Jahr schwanken und werden nicht immer separat ausgewiesen und oftmals nicht budgetiert.

Weiterhin werden in diesem Zusammenhang Spezialaufgaben zu Handen Dritter, die nicht in direktem Zusammenhang mit Ereignisbewältigung stehen, abgedeckt. Diese Kosten werden aber in dieser Untersuchung nicht detailliert berücksichtigt.

3.3.7 Zentrale Dienste, Werkhöfe

Alle Aufwendungen, die mit dem Unterhalt und der Pflege des Fahrzeug- und Maschinenparks sowie mit der Bewirtschaftung des Materiallagers anfallen, zählen zu den Aufgaben der Zentralen Dienste. Sofern die Kosten für Verwaltung, Rechnungswesen, Controllingleistungen, Koordinationsaufgaben, etc. (Gemeinkosten) nicht separat in den Verwaltungskosten (siehe *Kapitel 3.5*) aufgeführt werden, sind sie ebenfalls in den zentralen Diensten und Werkhöfen verrechnet.

3.3.8 Unfalldienst

Zum Unfalldienst zählen alle Massnahmen, die in Folge eines Unfalls durchgeführt werden müssen. Die Kosten für den Unfalldienst sollten grundsätzlich kostenneutral sein, da der Aufwand dem Unfallverursacher weiterverrechnet werden kann. Dennoch lassen sich nie alle Kosten weiterverrechnen, so dass ein geringfügiger Anteil durch die Gemeinschaft bezahlt werden muss.

3.4 Kleiner baulicher Unterhalt

Der «Kleine bauliche Unterhalt» deckt Instandhaltungsmassnahmen ab, welche ohne Projekt im sogenannten projektfreien baulichen Unterhalt durchgeführt werden. Die Massnahmen innerhalb des kleinen baulichen Unterhalts haben für die Infrastruktur teils «lebensverlängernden» Charakter, teils dienen sie lediglich dazu, weiterhin das sichere Funktionieren der Strassenanlage zu gewährleisten. In der Schweiz wird für die Nationalstrassen folgende Unterscheidung gemacht (siehe [34]).

Der «Kleine bauliche Unterhalt» gliedert sich demnach in bauliche Reparaturen und kleine Einzelmassnahmen (vgl. *Abb. 3*):

- Die «Baulichen Reparaturen» beinhalten alle Reparaturarbeiten an Anlagen oder Teilen davon, wobei diese Arbeiten den Charakter von Sofortmassnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses, sowie der Betriebssicherheit der Anlagen haben.
- Bei den «Kleinen Einzelmassnahmen» handelt es sich um Massnahmen, die zusätzlich zu den baulichen Reparaturen auch zur Substanzerhaltung beitragen.



Abb. 3 Gliederung des baulichen Unterhalts

Massnahmen innerhalb des kleinen baulichen Unterhalts erfolgen unter dem Aspekt, dass sich Verfügbarkeit und Sicherheit der Strasse verbessern oder zumindest nicht weiter sinken und dass der kurzfristige Unterhaltsaufwand vermindert wird. Die Massnahmen haben nicht zwingend einen «lebensverlängernden» Charakter; sie sind also keine Instandsetzungsmassnahmen. Eine klare Abgrenzung zwischen Reparatur, Unterhalt, Instandhaltung und Instandsetzung ist nicht immer möglich. Einerseits besteht Interpretationsspielraum, z.B. für das Nachsäen grösserer zusammenhängender Flächen, und andererseits werden die Kosten nicht immer gemäss ihrem ursprünglichen Charakter verbucht. Je nach Organisationsstruktur und ihren Prozessen wird nicht immer konsequent zwischen baulichem Unterhalt und baulichen Investitionen unterschieden. Die Kosten werden manchmal einfach auf jenem Konto verbucht, auf welchem noch Budget vorhanden ist.

Für die vorliegende Forschungsarbeit zählen zum kleinen baulichen Unterhalt folgende Arbeiten (nicht abschliessend; in Anlehnung an [32]), wobei auf eine Unterscheidung zwischen «Baulichen Reparaturen» und «Kleinen Einzelmassnahmen» verzichtet wird:

- Kleinere Reparaturen, die ein sicheres Funktionieren einer Strassenanlage gewährleisten (insbesondere Ausbesserungen der Fahrbahn)
- Alle projektfreien Massnahmen (projektfreier baulicher Unterhalt), unabhängig von den konkreten Anlageteilen. In einzelnen Organisationen lassen sich projektfreie Massnahmen oft abgrenzen, da ein Höchstbetrag festgelegt wurde, bis zu welchem eine Massnahme als projektfrei gilt. Solche Höchstbeträge sind je nach Organisation unterschiedlich und reichen von wenigen 10'000 bis 250'000 Schweizer Franken auf Nationalstrassen.
- Behebung von Schäden und Verschleiss-Erscheinungen von Hand, in offener Bauweise
- Sanierungen, Instandstellungen infolge Frost-, Frosttausalz-Schäden usw.
- Belagsflicken, Ausgiessen von Rissen und Fugen
- Sichern von Böschungen, Entfernen von losen Felspartien
- Sanieren resp. Rekultivieren von Deponie- oder Abtragstellen durch Bodenlockerung usw.
- Nachsäen grösserer zusammenhängender Flächen

3.5 Verwaltung

Sofern nicht bereits in den Kosten und Aufwendungen der zentralen Dienste und Werkhöfe verrechnet, gehören zu den Verwaltungskosten all jene Gemeinkosten, welche nicht direkt den Strassenabschnitten und Teilprodukten zugeordnet werden können. Darunter fallen:

- Führung, Controlling, Verwaltung, Auswerten von Meldungen und Betriebsdaten, Mauterhebung und Verkehrsüberwachung und -regelung, (sofern nicht separat verbucht, siehe auch *Kapitel 3.7*), sowie Planung, Verwaltung und Überwachung von Arbeit, Material und Personal inkl. Betrieb und Unterhalt aller technischen Anlagen inkl. Software für Personal- und Rechnungswesen.

- Zentrale Einrichtungen und Werkhöfe (sofern nicht bereits unter *Kapitel 3.3.7* enthalten).
- Kosten des Unfalldienstes (sofern nicht bereits unter *Kapitel 3.3.8* enthalten).

3.6 Signalisation

Der Aufwand für die Signalisation wird je nach Organisationseinheit und Betreiber oft auch in den Teilprodukten BSA, technischer Dienst oder bei der polizeilichen Verkehrsregelung und Überwachung verbucht und somit nicht immer als separate Kostenposition ausgewiesen.

Die temporäre Signalisation von Baustellen ist ein wesentlicher Bestandteil der Signalisation und ist bei den Nationalstrassen immer in den Projektkosten enthalten. Ist sie nicht in den Projektkosten direkt enthalten, muss sie hier berücksichtigt werden. Die Aufwendungen für die Signalisation hängen direkt mit Art und Gestaltung der Baustelle zusammen. Kostenunterschiede können dementsprechend beträchtlich sein. Die Baustelleneinrichtung und -sicherung mit Signalisationsmitteln ist stark vom Sicherheitsgedanken geprägt. Steigen die Anforderungen, so steigen oft auch die Kosten. Allerdings ist es schwer vorherzusehen, welche Anpassungen in Zukunft durchgeführt werden, und Kostenanpassungen daraus abzuleiten (siehe auch *Kapitel 8*).

3.7 Polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung

Die Verkehrsregelung und Überwachung bezeichnet die Regelung, Steuerung und Überwachung des Verkehrsflusses. Sie dient dem Zweck, den Ablauf des Verkehrs flüssig und sicher zu ermöglichen. Falls dies zu bestimmten Zeitpunkten oder an bestimmten Orten nicht automatisch erfolgen kann, greift die Polizei manuell ein. Bei folgenden Begebenheiten kommen polizeiliche Massnahmen zum Einsatz, damit ein möglichst reibungsloser Verkehrsablauf gewährleistet werden kann:

- bei Verkehrsunfällen
- bei Baustellen und Umleitungen
- bei Anlässen und festlichen Veranstaltungen
- bei Katastrophen (z.B. Überschwemmungen)
- bei Truppenverschiebungen, Militär, Ausnahmetransporte

Verkehrsregelungen können von Personen durchgeführt und durch technische oder bauliche Einrichtungen (z. B. Verkehrszeichen) unterstützt werden. Dies geschieht allgemein (z.B. Verkehrsführung zu Stosszeiten) oder ereignisbezogen (z.B. nach Unfällen). Der Aufwand für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung ist manchmal in den Teilprodukten BSA oder technischer bzw. ausserordentlicher Dienst verbucht oder wird den Gemeinkosten zugewiesen. Somit ist er nicht immer als separate Kostenposition verrechnet.

4 Modell zur Bestimmung der Kosten

Die Kosten des betrieblichen Unterhalts sind vielschichtig. Um möglichst vielen Begebenheiten Rechnung zu tragen und Kosten in einer Norm festzulegen, die für viele Situationen zutreffend sind, wurde ein Kostenmodell entwickelt. In diesem Kapitel werden die Modellidee und die technischen Auswertungen bzw. Datenanalyse vorgestellt. Die Kosten des betrieblichen Unterhalts werden in einem einfachen Modell ermittelt, indem ein Anwender Basiskosten mit Zu- und Abschlägen versehen kann, je nach Ausgestaltung der lokalen Begebenheiten des konkreten Einzelfalls.

Um die Kostendaten miteinander vergleichen zu können, wurden zunächst alle Kosten auf die einheitliche Preisbasis 2017 umgerechnet und – falls vorhanden – Steuern wie die Mehrwertsteuer herausgerechnet. Für die Umrechnung auf die Preisbasis 2017 wurden bauspezifische Indizes verwendet (siehe [35], [36]).

4.1 Modell

Einflussfaktoren auf die Kosten des betrieblichen Unterhalts sind sehr zahlreich. Länge und Fläche des zu bewirtschaftenden Streckenabschnitts sind dabei zentrale Kostentreiber. Je länger und breiter eine Strassenanlage ist, desto höher sind die Kosten des betrieblichen Unterhalts. Nebst Längenausmassen beeinflussen aber noch weitere Faktoren die Kosten: Die Gestaltung der Grünflächen, die Ausstattung bzgl. Beleuchtung oder Lichtsignalanlagen, Schneefall bzw. Niederschlagsmengen etc. Das Spektrum der Einflussfaktoren ist umfassend, wird hier für die Kostenmodelle aber so einfach wie möglich gewählt. Die Modellidee wurde aus Sicht eines Anwenders, v.a. eines NISTRA-Anwenders, erstellt.

Die Kosten berechnen sich auf der Grundlage eines aus einem Durchschnittswert ermittelten Basiswertes für den entsprechenden Strassentyp, der dann additiv mittels Addition oder Subtraktion der gewünschten Umgebungs-, Belastungs- und Produktfaktoren präzisiert werden kann. Schlussendlich kommt noch ein verkehrsleistungsabhängiger Wert für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung hinzu (siehe *Abb. 4*).

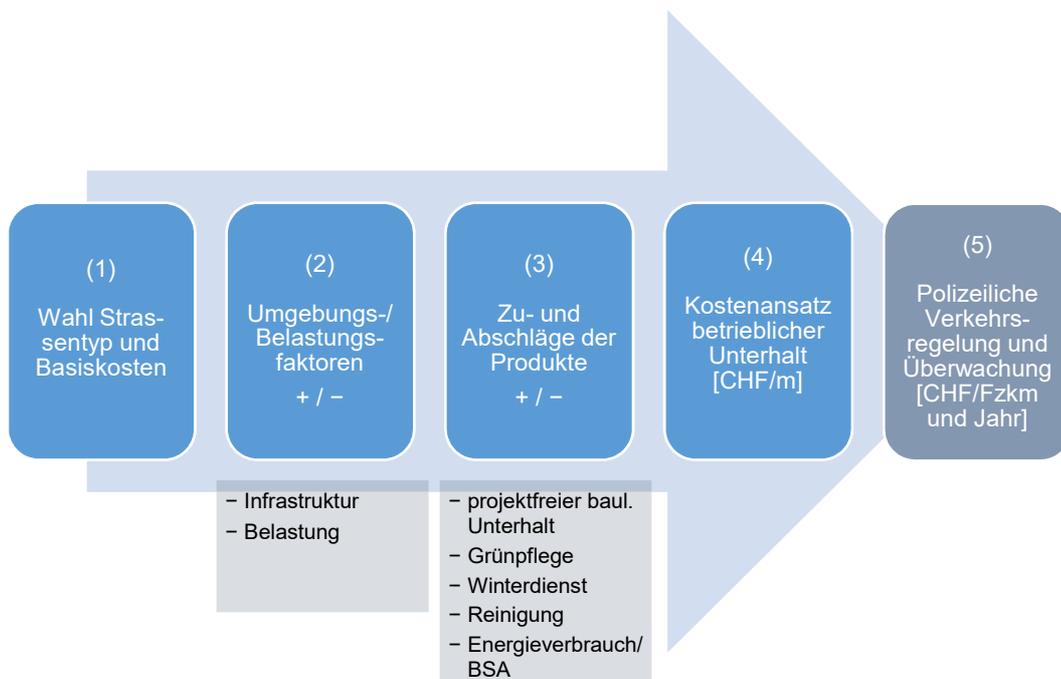


Abb. 4 Aufbau und Anwendung des Kostenmodells

Der Ablauf für die Anwendung des Kostenmodells gliedert sich in folgende 5 Schritte:

- 1) Es wird der passende **Strasstyp** gewählt, welchem ein Basiswert in Schweizer Franken pro Laufmeter (CHF/m) für die Kosten von Betrieb und Unterhalt zugeordnet ist.
- 2) Eine erste Kostenanpassung dieses Basiswerts ist mittels **Umgebungs- und Belastungsfaktoren** möglich. Es können folgende Faktoren einfließen:
 - Einfluss der Eingliederung der Strasse in die Umgebung (Topographie) in Bezug auf erforderliche Infrastrukturmassnahmen.
 - Einfluss des Verkehrsaufkommens auf der Strasse, sowohl aufgrund einer unter- oder überdurchschnittlichen Verkehrsbelastung (DTV), als auch aufgrund eines unter- oder überdurchschnittlichen Schwerverkehrsanteils (Prozent).
 - Einfluss der Kunstbautenanteile und Infrastrukturdichte im Bereich des betrachteten Strassenabschnitts, die einen erhöhten Aufwand z.B. in Siedlungsbereichen oder auf Tunnelstrecken aufgrund einer aufwendigeren Ausstattung nach sich ziehen.
- 3) Im nächsten Schritt können **Zu- oder Abschläge** aufgrund der Ausprägung in den Produkten erfolgen:
 - Für die Zu- und Abschläge werden die Produkte «projektfreier baulicher Unterhalt», «Grünpflege», «Winterdienst», «Reinigung» und «Energieverbrauch/BSA» berücksichtigt.
 - Bei Strassen, welche einen erhöhten oder verminderten Aufwand z.B. für den Winterdienst oder die Reinigung haben, kann dies mittels Zu- und Abschlägen korrigiert werden.
- 4) Es resultiert ein **«Kostenansatz betrieblicher Unterhalt»** pro Laufmeter, der die spezifischen Eigenheiten des betrachteten Strassenabschnittes abbildet.
- 5) Für die polizeiliche Verkehrsüberwachung und Signalisation werden die Kosten nicht pro Laufmeter angegeben, sondern pro Fahrzeugkilometer (Fzkm)⁽⁷⁾. Dies widerspiegelt die Tatsache, dass nicht die Infrastruktur per se, sondern die Verkehrsleistung für die Kosten verantwortlich ist. Dieser Kostenwert vervollständigt die Kosten des betrieblichen Unterhalts.

Additive Modelle haben zum Ziel, die Kosten in verschiedene Kategorien aufzuschlüsseln, welche unabhängig voneinander zu- oder abgerechnet werden können. Damit Anwender nicht eine Vielzahl von Einflussfaktoren ermitteln müssen, wurden die Zu- und Abschläge mittels statistischer Analysen errechnet. Somit müssen Anwender nur noch entscheiden, ob sie über- oder unterdurchschnittliche Anlagen oder Aufwendungen haben, und nicht mehr die genaue Fläche der Grünanlagen messen. Diese Vereinfachung wurde zu Gunsten der Anwendbarkeit getroffen.

Zunächst wurden Einflussfaktoren gesucht, die einen signifikanten Einfluss auf die Kosten haben. Dies wurde einerseits mit Hilfe von ANOVA-Betrachtungen (Varianzanalyse, Analysis of variance, siehe dazu z.B. [37], [38]) und andererseits mit Hilfe von Clusterverfahren bewerkstelligt (siehe dazu z.B. [39] und Illustration in *Abb. 5*). Dabei wurde Merkmal für Merkmal hinsichtlich seines Einflusses auf die Gesamtkosten analysiert. Pro möglichem Einflussfaktor wurde mit Hilfe des F-Tests und dessen Statistiken errechnet, wie gross der Einfluss dieses Faktors auf die Gesamtkosten bzw. auf die Kosten der Produkte wie Winterdienst, Reinigung etc. ist. Beispielsweise wurden die Länge der Entwässerungsleitungen in einen Zusammenhang mit den Kosten für die Reinigung gebracht oder die Anzahl Schneefalltage oder Anzahl Tage mit Null-Grad-Durchgängen bei der Temperatur im Zusammenhang mit den Kosten für den Winterdienst untersucht. In der Analyse wurden die verfügbaren Kosten und Mengen- bzw. Ausmassangaben in Cluster, d.h. Bereiche eingeteilt und analysiert, ob ein signifikanter

(7) Die Fahrzeugkilometer beinhalten die Fahrtleistung des motorisierten Verkehrs.

Einfluss besteht oder nicht. Im Fall der Länge der Entwässerungsleitungen im Nationalstrassenbereich konnte so ein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden, im Fall der Schneefalltage und Winterdienstkosten war der Zusammenhang zu wenig signifikant. Für eingehende Literatur zu ANOVA, Clusterverfahren und statistische Tests wird verwiesen auf [37], [38], [39], sowie Quellen im Internet wie Wikipedia.

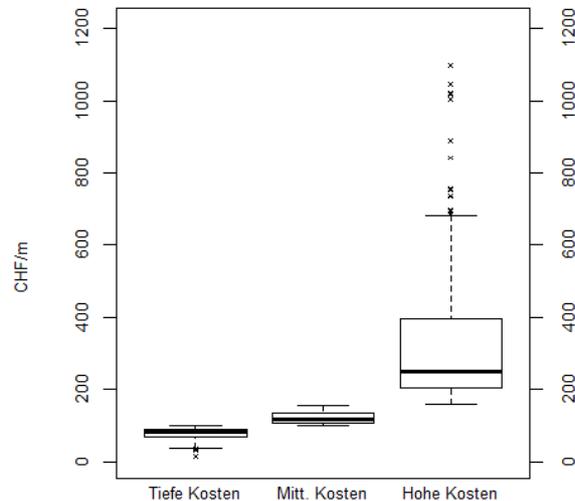


Abb. 5 Cluster für «tiefe», «mittlere» und «hohe» Kosten, (illustriert an Hand von Kosten Nationalstrassen, offene Strecke für streckenbezogene Cluster)

4.2 Datengrundlagen

Es wurden ausschliesslich bereits vorhandene, möglichst nicht aggregierte Daten abgefragt. Auf eine umfangreiche einheitliche Datensammlung bei Bund, Kantonen und Gemeinden wurde bereits im Vorfeld nach Rücksprache mit einigen kantonalen Stellen verzichtet, da der Aufwand seitens der Behörden zu gross erschien und somit nur mit mangelhaften Rücklauf der Umfrage zu rechnen war. Allerdings zeigte sich, dass auch vorhandene Daten der Forschungsstelle nicht zur Verfügung gestellt werden konnten. Gerade bei den kantonalen Ämtern war die Zurückhaltung gross.

Es wurden nur Daten verwendet, für deren Verwendung die Forschungsstelle eine schriftliche Genehmigung seitens der Verwaltungsbehörden erhalten hat, auch wenn weitere Kostendaten zur Verfügung gestanden hätten. Damit die Daten untersucht werden konnten, hat sich die Forschungsstelle verpflichtet, die Daten vertraulich zu behandeln.

4.2.1 Nationalstrassen (Hochleistungs- und Hauptverkehrsstrassen)

Für die Nationalstrassen (offene Strecken und Tunnel) konnten auf die Kostengrundlagen der Gebietseinheiten zurückgegriffen werden. Die elf Gebietseinheiten offerieren und verrechnen dem Bundesamt für Strassen ASTRA jährlich ihren Aufwand für den Unterhalt auf den Nationalstrassen. Die eingereichten Daten haben auf Vorgabe des ASTRA alle die gleiche Struktur und sind daher gut miteinander vergleichbar.

- Daten aller 11 Gebietseinheiten
- Jahre 2008 bis und mit 2016 vollständig; 2017 teilweise
- Kostenstruktur gemäss Vorgaben ASTRA

4.2.2 Kantone

Die Datenbeschaffung bei den Kantonen für die Kostenanalysen «Strassen ausserorts» und «Strassen innerorts» erwies sich als schwieriger. Fehlende personelle Ressourcen für

die Aufarbeitung der Daten und ein gewisser Respekt vor einem «Benchmarking» waren mehrheitlich die Gründe, der Forschungsstelle keine Daten zur Verfügung zu stellen. Viele Kantone stehen auch einer anonymisierten Publikation von Kostendaten kritisch gegenüber, da unbedarfte Leser die Kostenangaben oft nicht mit der notwendigen Sorgfalt interpretieren (können). Daten von folgenden Kantonen wurden für die Auswertung verwendet: Bern, Waadt, Schwyz, Jura, Aargau, Thurgau, Obwalden und Appenzell Ausserrhoden. In den meisten Fällen standen Daten der letzten 5 bis 10 Jahre, in einem Fall sogar für die letzten 30 Jahre zur Verfügung; allerdings war der Detaillierungsgrad ganz unterschiedlich.

Die Kostenstruktur war wie erwartet heterogen – im Kern aber einheitlich genug, um eine klare Zuteilung auf die hier verwendete Kostenstruktur (siehe *Abb. 6*) vornehmen zu können. Die Datenerhebung ist nicht einheitlich, da die Betriebsbuchhaltungen kantonale sehr verschieden sind. Es gilt zu beachten, dass nicht alle Kantone alle Kostenarten und Produkte erheben. So konnten beispielsweise zum Winterdienst mehr Daten ausgewertet werden als zum projektfreien baulichen Unterhalt.

Die Kostendaten aus den Berichten der müllerchur AG (siehe z.B. [14]) beinhalten Winterdienst, Reinigung, Grünpflege, Technischer Dienst, Unfalldienst, Bauliche Reparaturarbeiten und Ausserordentlicher Dienst. Gemeinkosten werden nicht explizit aufgeführt, gleiches gilt für Signalisation- und BSA-Kosten, welche mindestens teilweise im technischen Dienst integriert wurden. Die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung fehlt in diesen Berichten. Somit lassen sich die Ergebnisse in diesem Forschungsbericht nicht eins zu eins mit denjenigen aus den Berichten der müllerchur AG vergleichen.

4.2.3 Gemeinden

Für Angaben aus den Gemeinden konnte auf den umfassenden Datensatz aus dem Projekt EFFIN «Effizienter Betrieb und Unterhalt der technischen Infrastruktur» [17] zurückgegriffen werden. Das Projekt wurde an der ETH Zürich (Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement) mit Unterstützung der pom+Consulting AG durchgeführt und im Frühling 2017 abgeschlossen. Die aufwendig beschafften Datensätze wurden in der Rohfassung zur Verfügung gestellt. Der Aufwand für die Datenbeschaffung beschränkte sich demnach auf die Einholung der Freigabe zur Nutzung der Daten bei den entsprechenden Gemeinden. Zusätzlich konnten Angaben aus einer weiteren Gemeinde verwendet werden. Der Datensatz umfasste somit 40 Gemeinden (davon 39 von 45 aus EFFIN). Über 4'000 Kilometer Strassen konnten in einer Netzübersicht analysiert werden; dies entspricht etwa 8 % der gesamtschweizerischen Länge der Gemeindestrassen.

Die Daten können als repräsentativ für die Schweiz angesehen werden, da aus allen Regionen, Höhenlagen, Gemeindegrössen etc. Daten vorlagen. Grössere und kleinere Städte sind in den Daten ebenso vertreten wie ländliche Gemeinden mit geringen Einwohnerzahlen, Gemeinden aus den Alpen und Voralpen wie auch des Mittellandes, Tourismusgebiete und Gemeinden ohne nennenswerte touristische Angebote.

Vom Projekt BORMAC «Ermöglichung eines realistischen Benchmarkings des baulichen Unterhalts der Kantonsstrassen» [40] (ETH Zürich, Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement) konnte nicht profitiert werden, da dieses Projekt auf die Investitionskosten ausgerichtet ist und keine betrieblichen Kosten erfasst wurden.

4.2.4 Bundesamt für Strassen ASTRA, Bundesamt für Statistik BfS und Beratungsstelle für Unfallverhütung bfU

Für die Indexierung der Kosten bzw. Diskontierung wurden die frei verfügbaren Indizes des Bundesamts für Statistik BFS verwendet. Es wurde auf den Landesindex der Konsumentenpreise (Totalindex) [36], den Baupreisindex - Entwicklung der Baupreise [41] und die zugehörigen detaillierten Ergebnisse (Neubau Strasse nach BKP) [42] zurückgegriffen.

Im Baupreisindex wurden die beiden Kostenarten Tiefbau und Neubau Strasse verwendet. Der Index wurde anschliessend mittels den detaillierten Ergebnissen zu Gärtnerarbeiten (u.a. für die Grünpflege) und Elektroanlagen (u.a. für BSA) angepasst.

Als Grundlage zur Abschätzung des belastungsabhängigen Aufwands wurden die Verkehrsmengen und der zugehörigen Schwerverkehrsanteil ermittelt. Die Daten der automatischen Verkehrszählung für die Nationalstrassen (SASVZ) sind beim Bundesamt für Strassen ASTRA verfügbar. Für den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) konnten die Daten des Jahrs 2015 beschafft werden [43]. Der Anteil der schweren Güterfahrzeuge konnte der Abbildung aus dem Jahr 2013 [44] und den Angaben aus [45], [46] und [47] entnommen werden, die Fahrleistungen stammen aus dem SINUS-Report von der Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu [48].

4.3 Zusammenfassung der Kostenarten

Für die Auswertung und Analyse der Kosten und ihrer Treiber wurde eine Aggregation bzw. Aufteilung vorgenommen, die sich zwar an die gültigen ASTRA-Richtlinien anlehnt, sich aber dennoch in einigen Bereichen von ihr unterscheidet

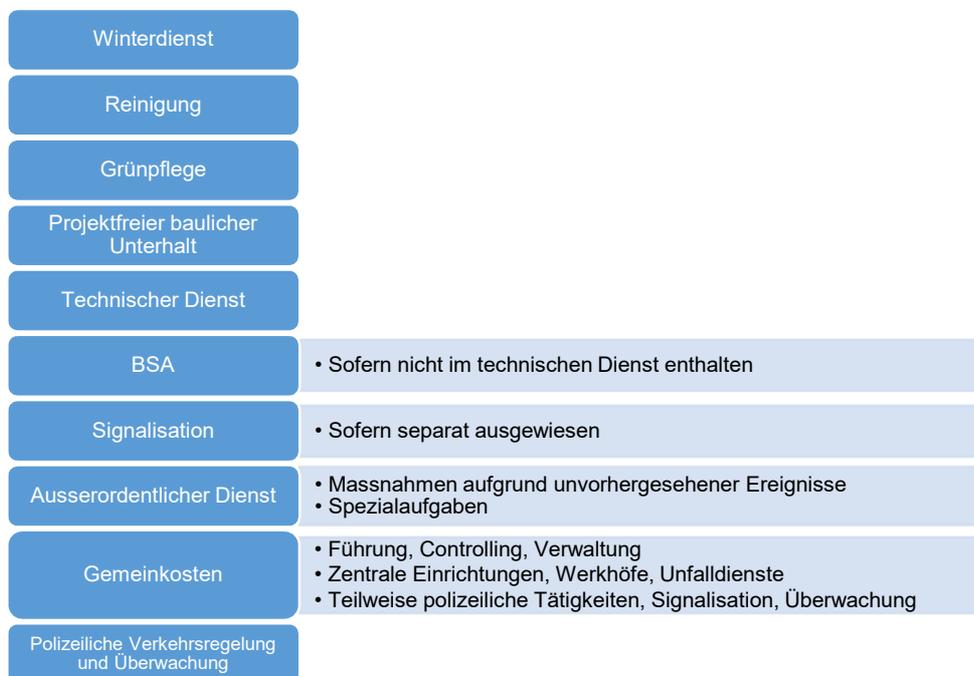


Abb. 6 Zusammenstellung der Produkte des betrieblichen Unterhalts

Die Kosten für zentrale Dienste und Werkhöfe, sowie die Kosten der Verwaltung wurden in einer Kostenart «Gemeinkosten» zusammengefasst. Alle erhobenen Kosten wurden je nach Datengrundlage in diese Kostenstruktur überführt.

Es gilt festzuhalten, dass nicht immer eine eindeutige Zuordnung vorgenommen werden konnte. Die Kostenstrukturen und Organisationsprozesse der einzelnen Datenlieferanten sind nicht einheitlich. Je umfassender beispielsweise BSA-Anlagen sind, desto eher sind die Organisationsstrukturen und Prozesse des betrieblichen Unterhalts so ausgelegt, dass BSA, Signalisation und der eigentliche technische Dienst voneinander getrennt werden können. Dementsprechend sind bei geringem Ausrüstungsgrad Kosten von BSA-Anlagen und Signalisationsaufwendungen im technischen Dienst enthalten und werden nicht gesondert betrachtet.

5 Basiskosten

Je nach Strassentyp unterscheiden sich die Kosten für Betrieb und Unterhalt deutlich. Eine erste Unterscheidung ist demnach, die Strassenabschnitte nach ihrer groben Charakteristik aufzuteilen. In der gültigen Norm SN 641 826 (2008) wird zwischen Hochleistungsstrassen (HLS, HVS), Tunnel und übrigen Strassen unterschieden. Diese Unterscheidung wird übernommen – allerdings werden die übrigen Strassen nun in Strassen ausserorts und Strassen innerorts unterteilt. Die Basiskosten wurden aus den Daten der vergangenen Jahre berechnet und je nach Verfügbarkeit von Zeitreihendaten mittels Regression auf das Jahr 2017 hochgerechnet.

5.1 National- und Hochleistungsstrassen, offene Strecken

National- und Hochleistungsstrassen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie kreuzungsfrei und häufig richtungstrennt sind. Sie dürfen nur von Motorfahrzeugen befahren werden. Eigentümer ist der Bund, für Unterhalt und Betrieb sind die Gebietseinheiten zuständig.

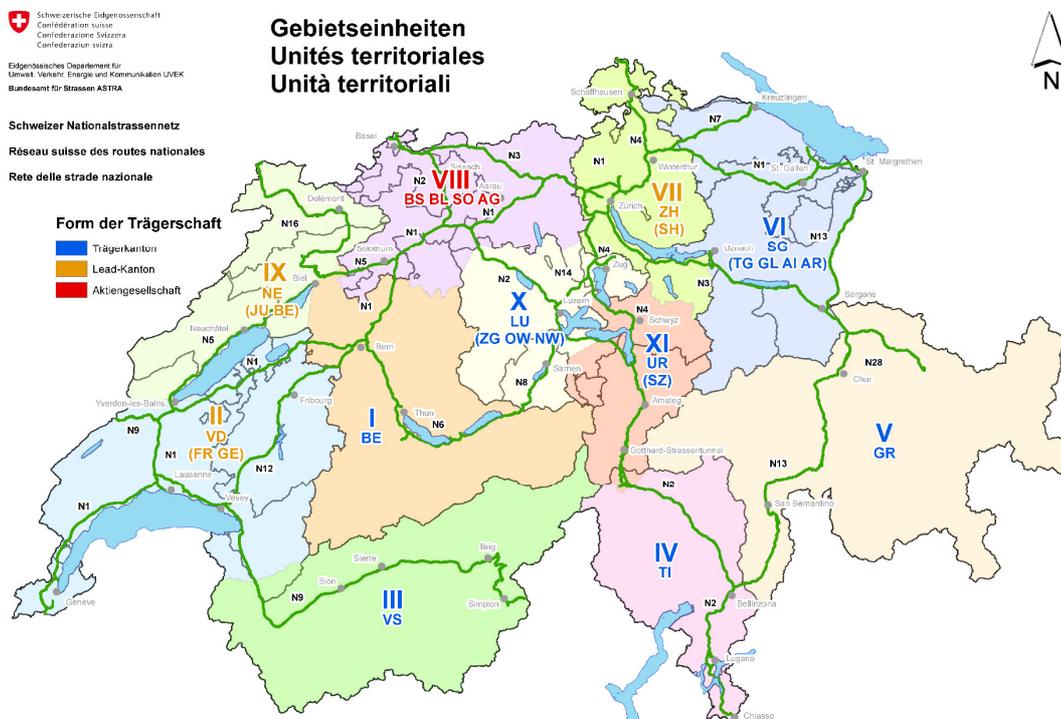


Abb. 7 Zuständigkeitsbereich der Gebietseinheiten (Quelle: ASTRA)

Die Basiskosten für die offenen Strecken der Nationalstrasse betragen knapp 130 Schweizer Franken pro Laufmeter und Jahr mit Preisbasis 2017 (siehe Abb. 8). Diese Kosten decken den betrieblichen Unterhalt, kleinen baulichen (projektfreien) Unterhalt, Verwaltung und die Signalisation ab. Zudem beinhalten sie bereits den absehbaren Mehraufwand für die neue Baustellensicherheit (siehe dazu auch Kapitel 8.1). Nicht integriert sind die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung.

Die Analyse der Daten zeigt, dass sich 75 % aller Werte in einem Bereich von rund 75 CHF/m bis 250 CHF/m bewegen. Eine Standardabweichung beträgt ca. 138 CHF/m und 89 % aller Daten befinden sich innerhalb einer Standardabweichung um den Mittelwert. Bereinigt man die Daten um offensichtliche Ausreisser, so verkleinert sich die Standardabweichung auf ca. 50 CHF/m. Eine Clusteranalyse mit um Ausreisser bereinigte Daten hat zudem ergeben, dass Clustermittelwerte um die Werte 90 CHF/m, 140 CHF/m

und 240 CHF/m zu finden sind. Diese Werte können alternativ für tiefe, mittlere und hohe Ansätze verwendet werden.

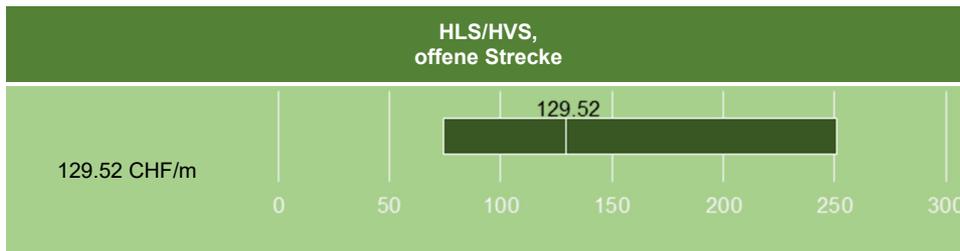


Abb. 8 Basiskosten für Hochleistungs- und Hauptverkehrsstrassen (offene Strecken), Preisbasis 2017, Bandbreite mit 75 % aller Kostendaten

Zu den Aufgaben der Gebietseinheiten gehören Winterdienst, Reinigung, Grünpflege, technischer Dienst und Elektro-Unterhalt, baulicher Unterhalt sowie Unfalldienst und ausserordentlicher Dienst. Dazu kommen noch die gebietseinheitsinternen Verwaltungs- und Organisationsaufgaben, sowie die Arbeiten in und rund um den Werkhof. Überwachung und Überprüfung von Anlagenteilen gehören ebenfalls zu den Aufgaben des Betriebs und Unterhalts, weshalb diese Tätigkeiten bei der Ermittlung der Kosten hier nach Möglichkeit eingeschlossen sind.

5.2 Tunnel

Tunnel sind Kunstbauten, die der Unterquerung von Hindernissen wie Bergen, Gewässern oder anderen Verkehrswegen dienen. Überdeckungen und Galerien, die auch zu den Tunneln zählen, dienen dem Schutz von Naturgewalten, dem Schutz der Bevölkerung von Lärm oder werden von Wildtieren zur Überquerung der Strassen genutzt. Unterführungen werden nicht zu den Tunnelbauwerken gezählt, wenn diese in offener Bauweise hergestellt wurden oder kürzer als 80 Meter sind. Die Basiskosten für den Betrieb und Unterhalt eines Tunnels betragen:

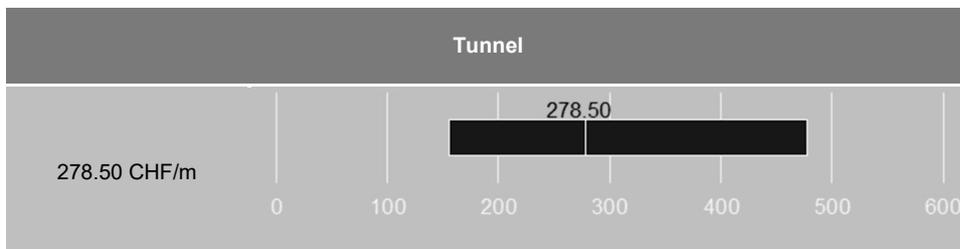


Abb. 9 Basiskosten für Tunnelstrecken (inkl. Galerien und Überdeckungen), Preisbasis 2017, Bandbreite mit 75 % aller Kostendaten

Die Analyse der Daten zeigt weiter, dass sich 75 % aller Werte in einem Bereich von rund 150 CHF/m bis 475 CHF/m bewegen. Eine Standardabweichung beträgt ca. 247 CHF/m und 77 % aller Daten befinden sich innerhalb einer Standardabweichung um den Mittelwert. Bereinigt man die Daten um die Ausreisser, so halbiert sich die Standardabweichung auf ca. 125 CHF/m. Eine Clusteranalyse mit um Ausreisser bereinigte Daten hat zudem ergeben, dass Clustermittelwerte um die Werte 160 CHF/m, 250 CHF/m und 355 CHF/m zu finden sind. Allerdings zeigen die Daten auch erhebliche Abweichungen gerade für das Cluster mit hohen Werten. Eine weitere Charakterisierung und Hinzunahme von Einflussfaktoren kann die Kostenkennwerte besser erklären. Nichtsdestotrotz können diese Werte alternativ für tiefe, mittlere und hohe Ansätze verwendet werden.

5.3 Strassen ausserorts

Die Signalisationsverordnung (SSV) definiert die Strassen innerorts und ausserorts wie folgt [49]:

Der Bereich «innerorts» beginnt beim Signal «Ortsbeginn auf Hauptstrassen» (4.27) oder «Ortsbeginn auf Nebenstrassen» (4.29) und endet beim Signal «Ortsende auf Hauptstrassen» (4.28) oder «Ortsende auf Nebenstrassen» (4.30). Der Bereich «ausserorts» beginnt beim Signal «Ortsende auf Hauptstrassen» oder «Ortsende auf Nebenstrassen» und endet beim Signal «Ortsbeginn auf Hauptstrassen» oder «Ortsbeginn auf Nebenstrassen».

Diese Definition wird prinzipiell auch hier angewandt, wobei in der Praxis die Zuständigkeiten nicht beim Signal «Ortsende» beginnen bzw. enden. Dies gilt es im konkreten Fall ebenfalls zu berücksichtigen. Die Höchstgeschwindigkeit auf Strassen ausserorts liegt meist zwischen 60 km/h und 80 km/h, kann in seltenen Fällen aber davon abweichen. Die Strasse führt durch mehrheitlich unbebautes Gebiet, in Ortsnähe auch durch locker bebauten Gebiet. Für die Kostenuntersuchungen wurden keine Feld-, Wald- oder Kieswege untersucht.

Hingegen sind die Aufgabengebiete der Strassenbetreiber für Strassen ausserorts ähnlich wie für Hochleistungs-/Hauptverkehrsstrassen. Winterdienst, Grünpflege und Reinigung gehören ebenso zu den Aufgaben wie die Verwaltung und technischen Dienste. Allerdings ist im Bereich Telematik die Bedeutung von Betriebs- und Sicherheitsanlagen deutlich geringer als auf dem HLS-Netz.

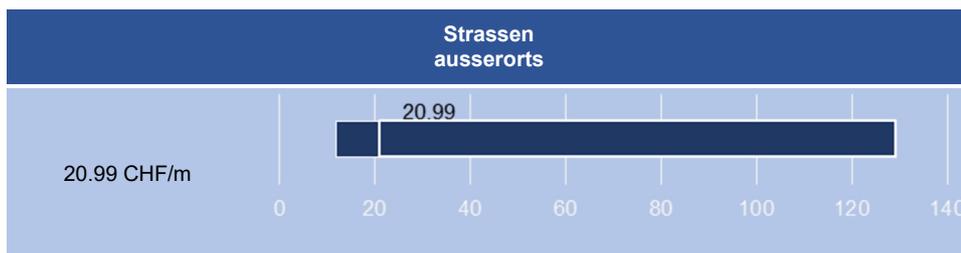


Abb. 10 Basiskosten für Strassen ausserorts, Preisbasis 2017, Bandbreite mit 75 % aller Kostendaten

Die Analyse der Daten für die Strassen ausserorts zeigt, dass sich 75 % in einem Bereich von rund 12 CHF/m bis 128 CHF/m bewegen, wobei Kosten über 80 CHF/m nur in zwei Fällen auftraten. Die Werte 12 CHF/m und 80 CHF/m können alternativ für tiefe bzw. hohe Ansätze verwendet werden.

5.4 Strassen innerorts

Strassen innerorts befinden sich in locker bis dicht besiedeltem Gebiet. In der Schweiz ist meist eine Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, 30 km/h oder gar 20 km/h, in seltenen Fällen auch 60 km/h vorgesehen. Die Aufgabengebiete sind ebenfalls gleich wie bei Hochleistungs-/Hauptverkehrsstrassen und Strassen ausserorts. Gerade innerorts kommen aber weitere Schwerpunkte hinzu, da auch der Langsamverkehr (Rad- und Gehwege) sowie der öffentliche Verkehr eine Rolle spielen. Die einzelnen Aufgaben können nicht mehr so effizient ausgeführt werden, so dass im Vergleich zu den Strassen ausserorts Mehrkosten entstehen. Folgende Basiskosten für die Strassen innerorts wurden ermittelt:

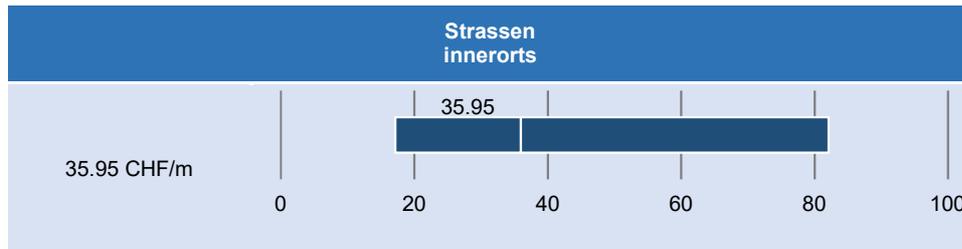


Abb. 11 Basiskosten für Strassen innerorts, Preisbasis 2017, Bandbreite mit 75 % aller Kostendaten

Der Basiswert für Innerortsstrassen liegt um etwa drei Viertel höher als der entsprechende Wert ausserorts. Dies ist vor allem der Tatsache geschuldet, dass Strassen im Innerortsbereich in der Regel eine höhere Dichte ergänzender Infrastruktur (Signalisation, BSA, Trottoirs und Radwege) aufweisen und zudem auch öfter mit ÖV-Anlagen belegt sind.

Die Analyse der Daten für die Strassen innerorts zeigt weiter, dass sich 75 % der Werte in einem Bereich von rund 17 CHF/m bis rund 82 CHF/m bewegen, wobei Kosten über 60 CHF/m in vier Fällen auftraten. Die Werte 17 CHF/m und 60 CHF/m können alternativ für tiefe bzw. hohe Ansätze verwendet werden.

Im Vergleich mit [16] scheinen die Kosten eher tief zu sein, zeigt doch ein Vergleich von 10 Schweizer Städten in der Summe von Reinigung, Winterdienst und kleinem baulichen Unterhalt Kosten von 4.6 Schweizer Franken pro Quadratmeter. Bei einer Strassenbreite von 5.5 Meter ergäben schon nur diese drei Teilprodukte Kosten von 25 Schweizer Franken pro Laufmeter. Dabei ist davon auszugehen, dass insbesondere in Städten die mittlere Strassenbreite eher bei 7 bis 8 Metern liegt, sodass die Kosten für diese drei Produkte bei 30 bis 35 Schweizer Franken pro Meter liegen. Dies zeigt, dass städtisch und ländlich geprägte Siedlungen deutlich zu unterscheiden sind.

6 Umgebungs- und Belastungsfaktoren

Die Umgebungs- und Belastungsfaktoren berücksichtigen die äusseren Einflüsse auf den Strassenabschnitt. Darunter fallen z.B. Verkehrsgeschehen, Siedlungsnähe, Umgebung, Topographie, touristische Anforderungen und erforderliche Infrastruktur. Sie sind häufig dadurch charakterisiert, dass äussere Zwänge existieren, auf die ein Betreiber der Strassenanlage keinen oder nur sehr geringen Einfluss hat.

Für eine Anpassung der Basiskosten auf Grund solcher Umgebungsfaktoren werden zwei verschiedene Faktoren verwendet, die die Umgebungsparameter widerspiegeln und bei der statistischen Analyse als signifikante Einflussfaktoren ermittelt wurden.

- 1) **Verkehrsbelastung:** Die Verkehrsbelastung eines Strassenabschnittes wirkt sich auf die Unterhaltskosten aus – einerseits durch den erhöhten Verschleiss der Fahrbahn auf verkehrsreichen Abschnitten, andererseits auch z.B. durch den erschwerten Zugang für die Unterhaltsdienste. Zwei Sub-Faktoren berücksichtigen die Auswirkung der Verkehrsbelastung auf die Unterhaltskosten:
 - a. DTV: Eine höhere oder tiefere Verkehrsbelastung als im Durchschnitt des jeweiligen Strassentyps führt zu Mehr- oder Minderkosten im Unterhalt und Betrieb.
 - b. Schwerverkehr: Die schweren Lastkraftfahrzeuge mit hohen Achslasten führen zu einem beschleunigten Verschleiss der Strasseninfrastruktur und ihrer einzelnen Anlagenteile. Weicht der Schwerverkehrsanteil vom Durchschnitt des jeweiligen Strassentyps ab, werden ebenfalls Minder- oder Mehrkosten geltend gemacht.
- 2) **Infrastrukturdichte:** Sowohl in urbanen Räumen als auch in topografisch schwierigen Regionen, die aufwendige und teils zahlreiche Kunstbauten erfordern, ist von höheren Unterhaltskosten auszugehen. Bei unter- oder überdurchschnittlicher Infrastrukturausstattung können Minder- oder Mehrkosten anfallen.

Durch Anwendung der Minder- und Mehrkosten werden die Basiskosten auf einen Wert aktualisiert, der den relevanten Umgebungs- und Belastungsfaktoren Rechnung trägt. In den folgenden Kapiteln werden die Minder- bzw. Mehrkosten quantifiziert und erläutert.

6.1 Verkehrsbelastung

Je mehr Verkehr und je mehr Schwerverkehr die Strasseninfrastruktur nutzt, desto höher werden die Kosten des Betriebs und Unterhalts. Die Infrastruktur wird stärker beansprucht, was zu einem beschleunigten Verschleiss führt und je nach Strategie des Unterhalts auch zu vermehrten Reparaturarbeiten an den unterschiedlichen Anlagenteilen führt. Viel Verkehr auf den Strassen führt aber auch zu aufwändigeren Installationen zur Verkehrslenkung und Verkehrsüberwachung. Somit ist der Betrieb der Anlagen ebenfalls teurer als auf einem Abschnitt mit weniger Verkehr. Dies gilt für alle Strassentypen – allerdings in unterschiedlichem Ausmass. Eine Anpassung des Basiswerts für die Kosten des betrieblichen Unterhalts kann deshalb über die Verkehrsbelastung erfolgen. Für Abschnitte, deren Belastung deutlich von einer mittleren Belastung abweicht, werden die Kosten so angepasst, dass sowohl Verkehrsmengen als auch Schwerverkehrsanteile berücksichtigt werden. Dabei gilt es zu unterscheiden, ob die Ursache einer Mehrbelastung die Verkehrsmenge oder der Anteil des Schwerverkehrs (oder eine Kombination von beiden) ist.

6.1.1 DTV

Die Basis-DTV-Werte für die einzelnen Strassentypen sind die entsprechenden Durchschnittswerte aus der Datensammlung. Abweichungen von den Durchschnittswerten werden mit Minder- oder Mehrkosten belegt. Die gesamte Verkehrsleistung auf den Nationalstrassen 2012 betrug 25'947 Millionen Fahrzeugkilometer (Fzkm) und stieg bis

2016 auf 27'131 Millionen Fahrzeugkilometer [45]. Dies entspricht einem DTV von knapp 40'000 Fahrzeugen pro Abschnitt, davon sind knapp 2'300 Fahrzeuge (Fz), die dem Schwerverkehr zugeordnet werden müssen [11, 45] (siehe auch *Kapitel 6.1.2*). Auf dem übrigen Strassennetz ist der durchschnittliche tägliche Verkehr viel geringer; er beträgt knapp 1'500 Fahrzeuge pro Tag. Allerdings können die Unterschiede zwischen einzelnen Strassen enorm gross sein: Es gibt auch im untergeordneten Strassennetz Belastungen mit sowohl täglich 20'000 und mehr Fahrzeugen, als auch wenigen Hundert Fahrzeugen.

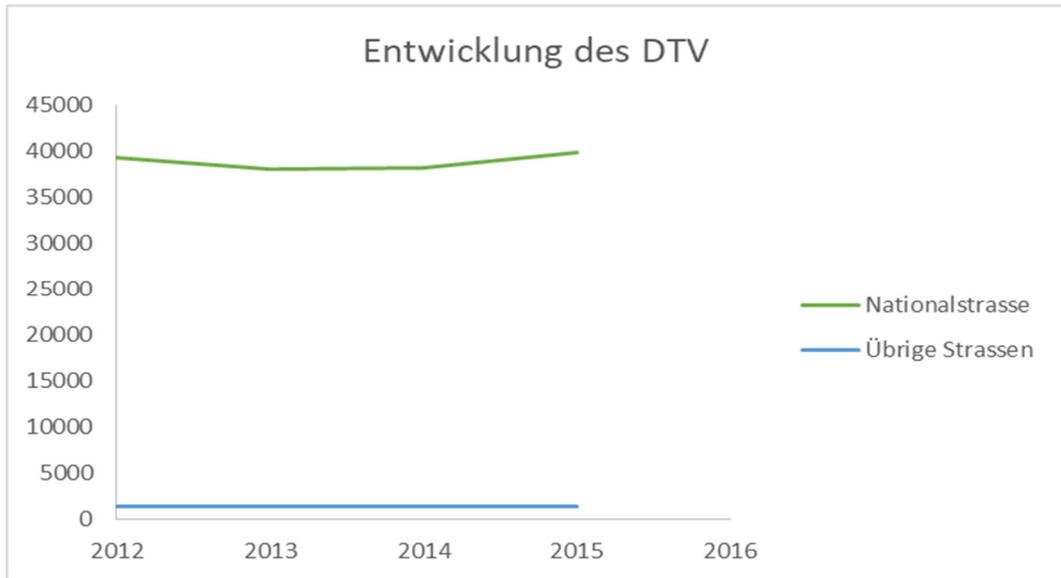


Abb. 12 Entwicklung des DTV auf Nationalstrassen und den übrigen Strassen seit 2012

Für die Verkehrsleistung wurden folgende Zuschläge ermittelt.

HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
± 0.27 CHF/m pro 1'000 Fz bei Abweichung des DTV von 40'000	± 2.27 CHF/m pro 1'000 Fz bei Abweichung des DTV von 40'000	± 0.05 CHF/m pro 1'000 Fz bei Abweichung des DTV von 1'500	± 0.10 CHF/m pro 1'000 Fz bei Abweichung des DTV von 1'500

Abb. 13 Änderung des Basiswerts in Abhängigkeit der Verkehrsleistung

Es wurde angenommen, dass die Basiswerte sich auf einen mittleren DTV beziehen. Die Spannweite des DTV gerade im untergeordneten Strassennetz ist aber von Strasse zu Strasse beträchtlich. Eine Änderung des Basiswerts auf Grund der Verkehrsleistung für eine Strasse mit einem DTV von 21'500 beträgt für eine Strasse innerorts 2.00 Schweizer Franken pro Meter und für eine Strasse ausserorts 1.00 Schweizer Franken pro Meter. Dies entspricht einer verkehrsbedingten Erhöhung der Kosten von 5-10 %. Dies deckt sich in etwa mit den Erwartungen.

6.1.2 Schwerverkehrsanteil

Die Verkehrsleistung des Güterverkehrs auf der Nationalstrasse betrug 2012 1'511 Millionen Fahrzeugkilometer und stieg bis 2016 auf 1'567 Millionen Fahrzeugkilometer. Auf den Nationalstrassen beträgt demnach der Anteil der Verkehrsleistung des Güterverkehrs 5.78 % (im Jahr 2016). Der Anteil des Güterverkehrs bewegte sich über die letzten Jahre stets zwischen 5.75 % und 6.10 % – ist also in etwa bei 6 % konstant. Auf dem übrigen Strassennetz wurden zwischen 2012 und 2016 zwischen 718 und 690 Millionen Fahrzeugkilometer per Gütertransport zurückgelegt. Dies entspricht in etwa 2 % der gesamten Verkehrsleistung [45].

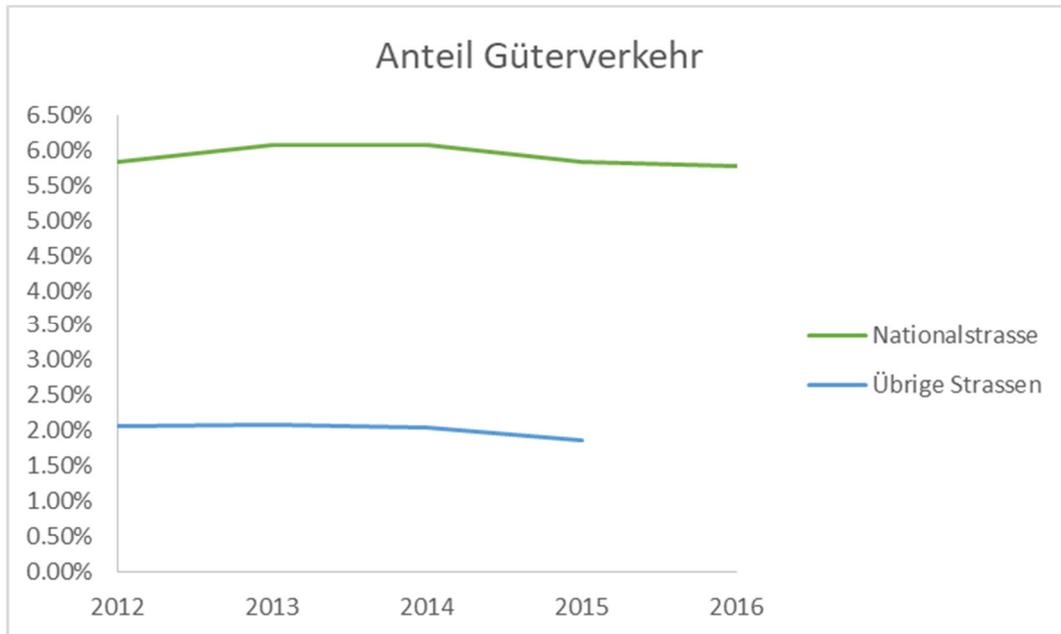


Abb. 14 Anteil des Güterverkehrs an der gesamten Verkehrsleistung

Die schweren Lastkraftfahrzeuge schädigen eine Strasse klar am meisten und sind daher auch für einen überproportionalen Anteil an den Unterhaltsaufwendungen verantwortlich. Einen ersten Anhaltspunkt erhält man, wenn man die Mautgebühren bzw. LSVa des Schwerverkehrs anschaut. Die Höhe der Tarife ist abhängig von der Anzahl der Achsen der Fahrzeuge. So werden beispielsweise in Österreich über 2 Mal mehr Mautgebühren für 4-achsige LKW erhoben als für 2-achsige [50]. Allerdings ist dieser Tarif um mehr als das Doppelte höher als der vergleichbare Tarif in Deutschland. LSVa bzw. Mautgebühren sind politisch gefärbt und können deshalb nicht als Grundlage für die schwerverkehrsbedingten Kosten von Betrieb und Unterhalt herangezogen werden.

Der Schwerverkehrsanteil in Prozent wird wiederum mit dem Durchschnittswert des Strassentyps verglichen, bei niedrigeren oder höheren Schwerverkehrsanteilen werden entsprechende Korrekturfaktoren angeboten. Für die Nationalstrassen sowie Strassentunnel bilden die durchschnittlichen Schwerverkehrsanteile des jeweiligen Strassentyps den Basiswert. Weicht der Schwerverkehrsanteil einer Strasse vom Basiswert des entsprechenden Typs ab, so können folgende Mehr- oder Minderkosten geltend gemacht werden.

HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
± 0.29 CHF/m pro 1%-Punkt Änderung des Schwerverkehrsanteils von 6.0%	± 2.13 CHF/m pro 1%-Punkt Änderung des Schwerverkehrsanteils von 6.0%	+ 4.00 CHF/m bei Strassen mit mehr als 100 schweren Fahrzeugen (LKW, Bus etc.) pro Tag	+ 6.00 CHF/m bei Strassen mit mehr als 100 schweren Fahrzeugen (LKW, Bus etc.) pro Tag

Abb. 15 Änderung des Basiswerts in Abhängigkeit des Schwerverkehrsanteils

Es wurde angenommen, dass sich die Basiswerte auf einen mittleren Schwerverkehrsanteil beziehen. Dieser betrug bei den offenen Nationalstrassenabschnitten wie oben beschrieben 6 %. Weiter wurde angenommen, dass der Schwerverkehr für 20 % der Kosten verantwortlich ist. In [51] wird erläuternd beschrieben, dass der Schwerverkehr Mehrkosten an der Infrastruktur verursacht. Dabei werden kapazitätsbedingte, gewichtsbedingte und dimensionsbedingte Mehrkosten unterschieden. Für Betrieb und Unterhalt sind die gewichtsbedingten Kosten natürlich im Vordergrund, da kapazitätsbedingte und dimensionsbedingte Mehrkosten v.a. bei der Erstellung der Infrastruktur höher ausfallen, weil eine Strasse breiter gebaut oder die Steigung der Strasse angepasst werden muss. Im Unterschied zu den Kunstbauten sind die Anteile für den baulichen Unterhalt bei der Fahrbahn

höher, dafür schlagen aber die Kunstbauten bei Aus- und Neubauten höher zu Buche. Dies ist eine eher konservative Annahme, da z.B. in Österreich der Wegekosten-Anteil von Fahrzeugen über 3.5 Tonnen auf 57 % geschätzt wird [52].

Für die Innerorts- und Ausserortsstrassen, die nicht Bestandteil des HLS-/HVS-Netzes sind, wird ein vereinfachtes Verfahren angewendet. Es muss lediglich entschieden werden, ob der betrachtete Strassenabschnitt überdurchschnittlichen Schwerverkehr aufweist. Dies ist der Fall, wenn die Strasse mit mehr als 100 schweren Fahrzeugen (LKW, Bus etc.) pro Tag befahren wird. Die Belastung entspricht einer Zufahrtsstrasse zu einem Industrie- oder Gewerbegebiet bzw. einer durch den öffentlichen Verkehr befahrenen Strasse. In diesem Falle sind die Basiskosten um einen pauschalen Faktor von 4.00 Schweizer Franken pro Meter bzw. 6.00 Schweizer Franken pro Meter zu erhöhen.

6.2 Infrastruktur

Eine urbane Umgebung oder städtische Agglomerationen haben einen Einfluss auf die Unterhaltskosten. Ebenso ist in Tourismusgebieten von höheren Kosten auszugehen. In beiden Fällen wird der Service Level höher angesetzt, als in Orten mit geringen touristischen Aufkommen, wenig Einwohnern oder in ländlichen Bereichen, wo ein tieferer Aufwand erwartet wird. Die erforderliche Infrastruktur ist abhängig von der Topographie, der Dichte des Strassennetzes bzw. der Nähe zu Siedlungsräumen. Je nach Lage der Strasse ist mit höherem Anteil von Kunstbauten oder Stützbauwerken zu rechnen.

6.2.1 Infrastrukturdichte für offene Strecken, Strassen ausser- und innerorts

Durch eine Harmonisierung der Infrastrukturelemente konnten folgende infrastrukturbedingte Zu- bzw. Abschläge zu den Basiskosten ermittelt werden (siehe Abb. 16).



Abb. 16 Änderung des Basiswerts in Abhängigkeit der Infrastruktur

Die strassentypspezifischen Ab- und Zuschläge bei unter- oder überdurchschnittlicher Infrastrukturausstattung wurden für alle Strassentypen analysiert.

Für die offenen Strecken der Nationalstrasse wurden auf Grund der Datengrundlagen Stützmauern, Kabelrohrblöcke, Rastplätze und Raststätten, Fahrzeugrückhaltesysteme und Entwässerungsleitungen berücksichtigt. V.a. die Strassenentwässerung zeigte hier grosse Signifikanz auf die Kosten, aber auch zusätzliche Stützmauern zeigten einen kostenwirksamen Effekt. Die Abwesenheit von solchen Infrastrukturelementen zeigte entsprechend geringere Kosten in der Analyse. Diese Änderungen entsprechen insgesamt einem knapp 10 %-Aufschlag bzw. etwas mehr als einem 6 %-Abschlag auf die Basiskosten. Wie erwartet ist hier die Spannweite relativ gering, da Nationalstrassen typischerweise ähnlich ausgestaltet werden (bzw. worden sind). Betrieb und Unterhalt sind stark strukturiert und die Prozesse etabliert. Im Einzelfall – z.B. bei ausragenden Brückenbauwerken – können die Kostenzuschläge durchaus höher ausfallen. In diesen Fällen ist aber auf Expertenwissen zurückzugreifen und eine Kostenschätzung an Hand der spezifischen Gegebenheiten angebracht.

Die durchschnittliche Infrastrukturausstattung einer Ausserortsstrasse ist eher niedrig, so dass bei einer «unterdurchschnittlichen» Ausstattung nur geringe Kostenreduktionen möglich sind. Andererseits sind Innerortsstrassen bereits im Durchschnitt mit einer hohen Infrastrukturausrüstung versehen, so dass die Mehrkosten bei «überdurchschnittlicher» Ausstattung nur gering ausfallen.

Die Werte der Zu- und Abschläge reflektieren somit bereits die Infrastruktur-Ausstattungsstandards der einzelnen Strassentypen. In *Tab. 4* sind die Kriterien für infrastrukturbedingte Zu- und Abschläge nochmals aufgeführt.

Tab. 4 Kriterien für Zu- und Abschläge für Infrastruktur

	HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
Zuschlag	<ul style="list-style-type: none"> – Überdurchschnittlicher Anteil von: – Entwässerungsleitungen – Sowie erheblicher Anteil an: – Stützmauern, Kunstbauten (Brücken, Über-/Unterführungen) – Kabelrohrblöcke – Fahrzeugrückhaltesysteme – und/oder Rastplätze und Raststätten 		<ul style="list-style-type: none"> – Mehrere Brücken und Kunstbauten – Entwässerungsleitungen und Schächte – ÖV-Anlagen – Rad-/ Gehwege – Alleen 	<ul style="list-style-type: none"> – Entwässerungsleitung und Einlaufschächte – Dichtes und vielseitiges Werkleitungsnetz – ÖV-Anlagen – Rad-/ Gehwege – Alleen – Über- bzw. Unterführungen – Verkehrsinseln
Abschlag	<ul style="list-style-type: none"> – Offene Strecke durch ländliches Gebiet – Keine aufwendige Infrastrukturen 		<ul style="list-style-type: none"> – Kaum Infrastruktur – Entwässerung über Schulter 	<ul style="list-style-type: none"> – Praktisch keine Werkleitungen – Entwässerung über Schulter

6.2.2 Ausrüstungslevel und Tunneleigenschaften

Anders sieht es bei Tunnels und Galerien aus. Hier sind Betrieb und Unterhalt stark durch die Ausrüstung des Bauwerks beschrieben. Diese wiederum hängt v.a. mit der Beleuchtung und Belüftung des Tunnels zusammen. Diese sicherheitsrelevanten Infrastrukturelemente lassen sich in nahezu jedem Tunnel finden. Generell wird der Sicherheitsgedanke in der Schweiz gross geschrieben, womit zu erwarten ist, dass die Kostenunterschiede nicht allzu sehr variieren.

Bei näherer Betrachtung unterscheiden sich die Tunnel in der Schweiz allerdings deutlich voneinander. Eine erste Charakterisierung lässt sich durch die Anzahl Röhren vornehmen. Hier wird zwischen einröhrigen und zwei-und-mehr-röhrigen Tunnel unterschieden. Ein Tunnel gilt als mehrröhrig, wenn die Tunnelröhren parallel verlaufen und betrieblich zusammenhängen. Unterschiedliche Objektbezeichnungen, betriebliche Abgrenzungen oder unterschiedliche Strassenniveaus zweier Tunnelröhren sind Anzeichen dafür, dass die Tunnelröhren einzeln betrachtet werden müssen.

Das Alter der Anlagen und die in den letzten Jahren verschärften Sicherheitsanforderungen sollen in Betracht gezogen werden. Lange zweiröhrige Tunnel wiederum lassen aufgrund dieser Restriktionen nur wenig Spielraum bei der Wahl der Infrastrukturausstattung. Dies erklärt die differenzierten Zu- und Abschläge bei den Tunneln. Für den Einfluss von Ausrüstungslevel, weiterer Tunnelröhre und kurzer Tunnelabschnitt von kürzer als 600 Meter konnten folgende Zu- und Abschläge eruiert werden (siehe *Abb. 17*):



Abb. 17 Zu- und Abschläge für Infrastruktur in Tunnel

Übersteigt der Ausrüstungsgrad die Standard-Anforderungen in Bezug auf Tunnellüftung, Lüftungskavernen, Sicherheitsanforderungen, bzw. ist ein Standstreifen vorhanden, so kann ein Zuschlag bzgl. des Ausrüstungslevels geltend gemacht werden. Eine weitere Tunnelröhre verursacht ca. 25 % Mehrkosten, während ein kurzer Tunnel oder eine Galerie auf Grund der geringeren Aufwendungen für die Tunnelsicherheit mit geringeren Kosten (Abschlag) zu versehen ist. Es gilt beispielsweise, dass Tunnelanalgen bis 600 Meter Länge keine umfangreichen Lüftungsanlagen benötigen, weshalb die Länge des Tunnels bei der BSA-Ausrüstung nicht unerheblich ist [53]. Zweiröhriige Tunnel werden dort gebaut, wo auch entsprechendes Verkehrsaufkommen zu verzeichnen ist, während einröhriige Tunnel (der Gotthardstrassentunnel ausgenommen) in der Tendenz eher kürzer sind. Eine weitere Erklärung ist, dass bei einröhriigen Tunnel mit zunehmender Länge die Sicherheitsanforderungen wachsen und daher mehr Einrichtungen zu unterhalten sind. Zweiröhriige Tunnel hingegen werden bereits bei der Erstellung so ausgelegt, dass sich die Anforderungen an kurze und lange Tunnel nicht zu sehr unterscheiden. Somit sind die Anforderungen bereits bei kurzen Tunnel so hoch, dass sich die Betriebskosten gegenüber längeren Tunnel nicht allzu sehr unterscheiden und somit die Kosten pro Laufmeter höher ausfallen (siehe dazu auch Kapitel 7.6). In Tab. 5 sind die Kriterien für die Zu- und Abschläge bei Tunnel nochmals zusammengefasst.

Tab. 5 Kriterien für weitere Zu- und Abschläge für Infrastruktur auf Tunnelstrecken

	Tunnel		
	Ausrüstungslevel	Weitere Tunnelröhre	Kurzer Tunnelabschnitt (< 600 m), Galerie
Zuschlag	<ul style="list-style-type: none"> - Tunnelabschnitt mit Sicherheitsanalgen wie Sicherheitsstollen etc. - Tunnel mit erheblicher BSA-Ausrüstung (inkl. Verkehrslenkung, umfassende Signalisationen etc.) - Standstreifen vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> - Zuschlag für 2. Tunnelröhre - sofern 3. Röhre vorhanden, so ist Zuschlag doppelt anzuwenden 	
Abschlag			- Abschlag, sofern Tunnel-länge kürzer als 600 m

Weitere Einflussfaktoren wurden ebenfalls untersucht, aber es wurden alle bis auf den Ausrüstungsgrad, die Länge des Tunnels und die oben erwähnte Unterscheidung der Anzahl Röhren aufgrund des zu geringen Einflusses und zugunsten einer besseren Anwendbarkeit verworfen.

7 Einflussfaktoren des betrieblichen Unterhalts

Unter Berücksichtigung des Basiskosten-Ansatzes, der Umgebungs- und Belastungsfaktoren sowie der nun folgenden Zu- und Abschläge der Produkte erhält man einen aussagekräftigen Kostenansatz, welcher den Aufwand für den betrieblichen Unterhalt abbildet. Die einzelnen Produkte des betrieblichen Unterhalts sind grösstenteils unabhängig voneinander. Dennoch sind die Kosten pro Produkt sehr unterschiedlich – nicht nur je Strassentyp. Mit einer Auswertung und der Bestimmung von Kostentreibern nach Produkten wird es vorab Praktikern ermöglicht, ihre Kosten besser einzuschätzen, und Anwendern von NISTRAS die Kosten besser an die Gegebenheiten anzupassen. Für jedes Produkt und jeden Strassentyp werden drei Service-Levels definiert, die jeweils «niedrigen», «mittleren» oder «hohen» Standards entsprechen. Diesen werden dann Ab- oder Zuschläge zu den Basiskosten zugeordnet. Es wird angenommen, dass die mittleren Basiskosten auch einem «mittleren» Standard entsprechen. Die Zu- und Abschläge auf den Produkten sind wiederum Zentralwerte, die einen «niedrigen» bzw. «hohen» Standard repräsentieren. Sie geben eine Grössenordnung für eine Bandbreite an. Die Bandbreiten wurden so gewählt, dass je ca. 15 % der untersuchten Kosten unter bzw. über der Kostenbandbreite liegen. In begründeten Fällen kann somit auch von diesen Zu- und Abschlägen abgewichen werden. In der Anwendung sollen die Bandbreiten wo sinnvoll auch ausgenutzt werden.

7.1 Zu-/Abschläge der Einflussfaktoren

Bund, Kanton und Gemeinden können unterschiedliche Anforderungen an den betrieblichen Unterhalt haben – in Abhängigkeit von der Lage der Strasse und vom Strassentyp. Es ist z.B. anzunehmen, dass auf den Hochleistungs-/Hauptverkehrsstrassen ein höherer Aufwand für den Winterdienst betrieben wird als auf einer schwach befahrenen Gemeindestrasse. Die erwünschte höhere Verfügbarkeit der Strasse geht somit einher mit höheren Winterdienst-Kosten. Mit Zu- und Abschlägen können nun unterschiedliche Anforderungen berücksichtigt werden. Für die fünf Einflussfaktoren «Winterdienst», «Unterhaltsstrategie», «Grünpflege», «Reinigung» und «Energieverbrauch/BSA» werden entsprechende Zu- und Abschläge erläutert. Für die vier Einflussfaktoren «Technischer Dienst», «Ausserordentlicher Dienst», «Signalisation» und «Gemeinkosten» konnten keine signifikanten Einflussfaktoren eruiert werden. Für die «Polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung» wird die Verkehrsleistung als Einflussfaktor direkt in die Modellberechnung aufgenommen.

Für eine konkrete Strassenanlage wird erhoben, ob sie jeweils «niedrigen», «mittleren» oder «hohen» Standards bezüglich jedes einzelnen der fünf Einflussfaktoren genügen muss. Auf die (bereits durch die Umgebungs-/Belastungsfaktoren aktualisierten) Basiskosten für den betrieblichen Unterhalt werden strassentyp- und produktspezifische Korrekturfaktoren angewendet. Die Basiskosten beruhen auf der Annahme «mittlerer» Service-Levels bei allen Einflussfaktoren. «Niedrige» oder «höhere» Service Levels führen daher zu Ab- bzw. Zuschlägen.

Die Abschläge bei «niedrigen» Standards werden ermittelt, indem für jeden Faktor die Mediane der kostengünstigsten 30 % des jeweiligen Strassentyps (15 %-Quantil) und der mittleren 40 % miteinander verglichen werden. Entsprechend ergeben sich die Zuschläge für «hohe» Standards aus der Differenz der mittleren 40 % und der höchsten 30 % des betrachteten Strassentyps (85 %-Quantil). Die Anwendung dieser einfachen statistischen Formel führt zu stabilen Schätzern bezüglich der Zu- und Abschläge. Aufwändigere Clusterverfahren führten zu ähnlichen Ergebnissen. Zwar wurden teilweise statistisch signifikantere Resultate erzielt, aber nicht einheitlich in allen Fällen.

Bei den Strassen inner- und ausserorts muss festgehalten werden, dass je nach Kanton Reinigung, Grünpflege, Winterdienst und der bauliche Unterhalt verschieden geregelt sind und die Zuständigkeiten je nach Produkt innerorts und ausserorts sowohl beim Kanton als auch bei der Gemeinde liegen können (siehe auch [14]). Zusätzlich können auch innerhalb der Strassenanlage die Zuständigkeiten unterschiedlich geregelt sein: Die Fahrbahn und

das Trottoir bzw. der Radweg können je nach Produkt (Winterdienst, Reinigung, baulicher Unterhalt) auch durch die Gemeinde oder den Kanton betrieben und unterhalten werden. In den folgenden Kostenzusammenstellungen und –angaben sind solche Begebenheiten nur teilweise berücksichtigt.

Bemerkung: Die Daten für die Strassen ausser- und innerorts wurden aus stark aggregierten Netzdaten gewonnen. Sie basieren nicht auf einzelnen Streckendaten wie diejenigen der Nationalstrassen und Tunnel. Somit sind in den Zu- und Abschlägen bereits durchschnittsbildende Elemente eingerechnet, und die Zu- und Abschläge können im Einzelfall durchaus weit höher sein.

7.2 Winterdienst

Detaillierte, streckenweise Grundlagedaten für die Winterdienstkosten liegen nur für die Nationalstrassenabschnitte vor. Hier beträgt der Anteil des Winterdienstes an den gesamten Unterhaltskosten 23 %. Die Spanne der beobachteten Winterdienstkosten im Nationalstrassennetz ist jedoch hoch: Im Cluster der «teuren» Strassen verdoppeln sich die Winterdienstkosten nahezu, während sie im Cluster der «günstigsten» Strassen etwa 2/3 ausmachen. Diese Spanne reflektiert die Heterogenität des Nationalstrassennetzes bezüglich Höhenlagen, klimatischer Einflüsse und Zugänglichkeit. Die folgenden Zu- und Abschläge wurden je Strassentyp ermittelt:

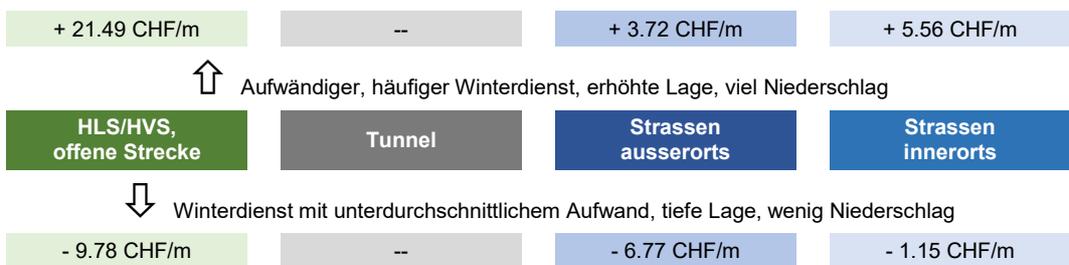


Abb. 18 Zu- und Abschläge für den Winterdienst

Auf Tunnelstrecken ist üblicherweise kein Winterdienst erforderlich. In begründeten Einzelfällen (z.B. Portalbereiche, Galerien...) können dennoch Winterdienstkosten anfallen. In diesen Fällen kann ein durchschnittlicher Zuschlag von ca. 3 Schweizer Franken pro Laufmeter und Spur verwendet werden.

Auffällig ist die nicht-zentrische Aufteilung der Zu- bzw. Abschläge. Bei den Nationalstrassen und Strassen innerorts zeigt dies, dass sehr viele Strassen ähnlich «günstig» sind und nicht zu hohe Kosten verursachen. Hingegen scheinen bei den Strassen ausserorts entweder die Standards generell eher hoch zu sein, oder aber die Strassen sind mehrheitlich «Einzelfälle», für die es keine Standardverfahren gibt.

Tab. 6 Kriterien für Zu- und Abschläge für Winterdienst

	HLS/HVS, offene Strecke	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
Zuschlag	<ul style="list-style-type: none"> - Viele Einsatztage für Schneeräumung - Hoher manueller Schneeräumungsaufwand - Viele zusätzliche Anlangen, welche schneefreien Zugang erfordern 	<ul style="list-style-type: none"> - Viele Einsatztage für Schneeräumung - Hoher manueller Schneeräumungsaufwand - Servicelevel: Anspruch an Schneeräumung (Anteil Strassen mit Schwarzräumung) 	<ul style="list-style-type: none"> - Viele Einsatztage für Schneeräumung - Hoher manueller Schneeräumungsaufwand - Servicelevel: Anspruch an Schneeräumung (Anteil Strassen mit Schwarzräumung)
Abschlag	<ul style="list-style-type: none"> - Geringer Winterdienstaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringer Winterdienstaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringer Winterdienstaufwand

7.3 Grünpflege

Vom Aufwand her ist die Grünpflege leicht geringer als der Winterdienst. Dies zieht sich ebenfalls durch alle Strassentypen hindurch – im Durchschnitt. Gerade bei touristischen Gemeinden, die einen höheren Anspruch haben und auf die Repräsentation des Ortes angewiesen sind, können je nach Ort der Winterdienst oder/und die Grünpflege erheblichen Aufwand erzeugen. Dies sind aber Einzelfälle, die hier nicht abgedeckt werden (können). Es lässt sich für die Strassen inner- und ausserorts festhalten, dass im Durchschnitt bereits ein hoher Standard implementiert wird, da die Zu- und Abschläge nicht zentrisch sind.

Grünpflege und Winterdienst werden häufig von denselben Personen durchgeführt. Die Fixkosten bzgl. Personal bleiben also bestehen, nur die Verbuchung ist je nach «Härte» des Winters anders. Kosten können also kaum eingespart werden, zumal die Personalkosten bereits um die 50 % der gesamten Kosten ausmachen (siehe auch [17]). Generell sind die Zu- und Abschläge bei der Grünpflege wie beim Winterdienst deutlich grösser als z.B. beim projektfreien Unterhalt und der Unterhaltsstrategie (siehe Kapitel 7.5).

Auf der offenen Strecke der Hochleistungs-/Hauptverkehrsstrassen wird die Grünpflege durch die Strassenlänge bereits genügend gut berücksichtigt, d.h. das Ausmass an Grünflächen und die Art der Grünflächen ist nicht so unterschiedlich wie angenommen werden könnte. Einzig die Grünflächen in steilen Hanglagen bilden eine Ausnahme. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die Hanglage aber nicht als eigenständiger Faktor berücksichtigt. Grünpflege bei Tunnel kann z.B. bei Galerien vorkommen – in solchen Sonderfällen können durchaus 200 oder mehr Franken pro Laufmeter Tunnel anfallen. Auf einen Zuschlag wird hier aber verzichtet.

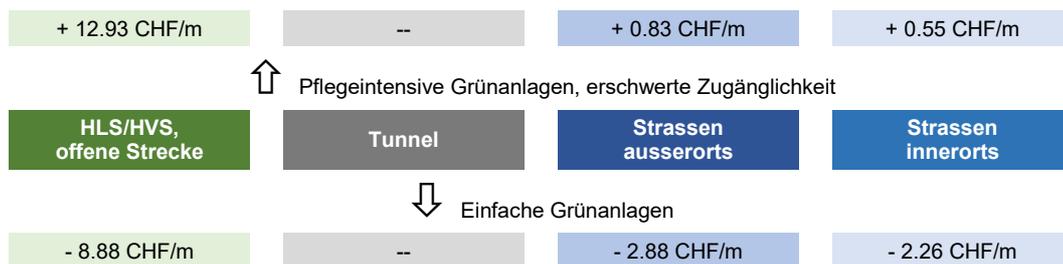


Abb. 19 Zu- und Abschläge für die Grünpflege

Tab. 7 Kriterien für Zu- und Abschläge für Grünpflege

	HLS/HVS, offene Strecke	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
Zuschlag	<ul style="list-style-type: none"> - Seitliche Grünstreifen > 5 m Breite - Hoher Anteil Fahrzeugrückhaltesystem und/oder Signaltafeln 	<ul style="list-style-type: none"> - Baumalleen - Fragmentierte Grünflächen - Viele Hindernisse auf Grünflächen 	<ul style="list-style-type: none"> - Baumalleen - Fragmentierte Grünflächen - Viele Hindernisse auf Grünflächen - Service Level: Gehobenes Ortsbild, aufwändigere Bepflanzungen, Häufigkeit der Grünpflege
Abschlag	<ul style="list-style-type: none"> - Geringer Grünflächenanteil, viele Abschnitte ohne Grünstreifen - Ausschliesslich Gras, kaum Gewächs - Keine speziellen Bepflanzungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringer Grünflächenanteil 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringer Grünflächenanteil

7.4 Reinigung

Die Reinigung ist wie die Grünpflege mit unterschiedlichen Arbeiten verbunden. Ein Hauptkostentreiber sind die Reinigungen der Entwässerungsanlagen und bei Tunnel zusätzlich jene der Verkleidungen, Fluchtwege und der Lüftungsanlagen.

Bei den Strassen innerorts sind bei der Reinigung die Flächen mit Langsamverkehr und öffentlichem Verkehr massgebend. Das Reinigen der Haltestellen für den öffentlichen Verkehr oder die meist breiteren Strassen bei Strassenanlagen mit Bus- und/oder Tramverkehr verteuern den Laufmeterpreis. Auf der anderen Seite sind diese Arbeiten gut standardisierbar, und es sind nur wenige «Einzelfälle» zu erwarten.

Folgende Zu- und Abschläge für die Reinigung wurden ermittelt (siehe *Abb. 20*):

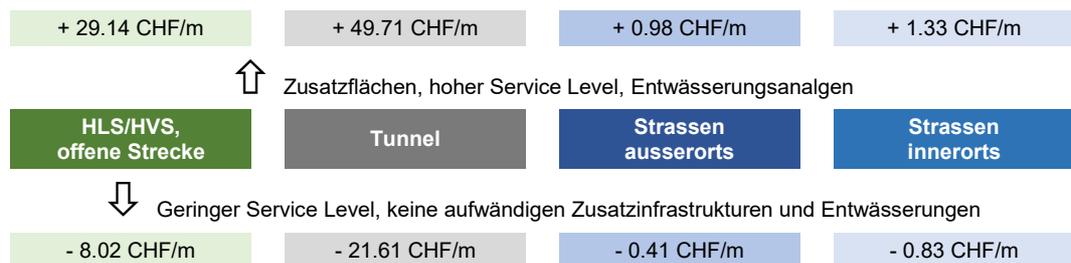


Abb. 20 Zu- und Abschläge für die Reinigung

Bei allen 4 Strassentypen können die Reinigungen bei hohem Service Level erheblich mehr kosten als wenn der Level geringer angesetzt wird. Einen Teil dieser Aufschläge lässt sich aber auch auf Strasseninfrastrukturanlagen zurückführen, welche durch ihre Ausstattung einen höheren Reinigungsaufwand verursachen. Während bei den Strassen inner- und ausserorts auf Grund der Daten nur Abweichungen um 5 % festgestellt werden konnten, sind die Ab- und v.a. die Zuschläge bei den offenen Strecken der Nationalstrasse und der Tunnel bis zu 25 %. Hier muss allerdings berücksichtigt werden, dass Rastplätze und die Ein- und Ausfahrten auch zu den Strecken gehören und diese natürlich einen erheblichen Zusatzaufwand für den entsprechenden Streckenabschnitt verursachen können. Sanitäre Anlagen haben einen eher kleinen Einfluss auf die Reinigungskosten bei den offenen Strecken der Nationalstrasse; bei den Daten aus den Gemeinden konnte kein ausreichender statistischer Zusammenhang zwischen den sanitären Anlagen und den Reinigungskosten festgestellt werden.

Ebenfalls unberücksichtigt blieben SABA (Strassenabwasserbehandlungsanlagen). Die Kosten und Datenverfügbarkeit speziell für SABA sind noch nicht genügend konsolidiert, so dass hier keine statistisch belastbaren Aussagen getroffen werden können. Sind im zu bewertenden Einzelfall SABA zu berücksichtigen, sind entsprechende Kosten einzurechnen, welche mit Hilfe von Fachspezialisten ermittelt werden können.

Tab. 8 Kriterien für Zu- und Abschläge für Reinigung

	HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
Zuschlag	<ul style="list-style-type: none"> - Erheblicher Anteil an Raststätten/ - plätzen oder Ein-/Ausfahrten - Entwässerungssystem mit je einer seitlichen Sammelleitung - Breite Strassenflächen (> 2 Spuren + PS pro Fahrbahn) - Äussere Faktoren wie Laubbefall, Aushubtransporte 	<ul style="list-style-type: none"> - Umfangreiche Bereiche mit Lärmschutz-Paneelen im Portalbereich - Umfassende Nebenanlagen (Kavernen / Lüftungsanlagen, Sicherheitsstollen) 	<ul style="list-style-type: none"> - Breite Alleen, Strassen mit Busspuren - Separate Rad-/Gehwege - ÖV-Haltestellen - Strassenbreite > 7 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Breite Alleen - Strassen mit Busspuren und/oder Tramverkehr - Separate Rad-/Gehwege - ÖV-Haltestellen - Strassenbreite > 6 m
Abschlag	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Anzahl an Einlaufschächten, minimale Entwässerungsleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Tunnelabschnitt ohne Nebenanlagen - Fahrbahn ohne Pannestreifen 	<ul style="list-style-type: none"> - Strassenbreite < 5 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Quartierstrasse, Strassenbreiten < 4 m

7.5 Projektfreier baulicher Unterhalt und Unterhaltsstrategie

Der Anteil der Kosten für den projektfreien baulichen Unterhalt ist auf der offenen Nationalstrasse in etwa gleich gross wie derjenige für den Winterdienst. Allerdings sind die Zu- und Abschläge deutlich geringer. Dadurch, dass Umfang und Art der Massnahmen innerhalb des projektfreien baulichen Unterhalts begrenzt sind, variieren die Kosten nicht so stark. Zudem sind je nach Organisation der Strassenbetreiber bzw. -eigentümer sowie der Einsatzplanung der personellen und materiellen Ressourcen dem Umfang projektfreier Unterhaltsarbeiten ebenfalls Grenzen gesetzt.

Folgende Zu- und Abschläge für die Unterhaltsstrategie wurden ermittelt:

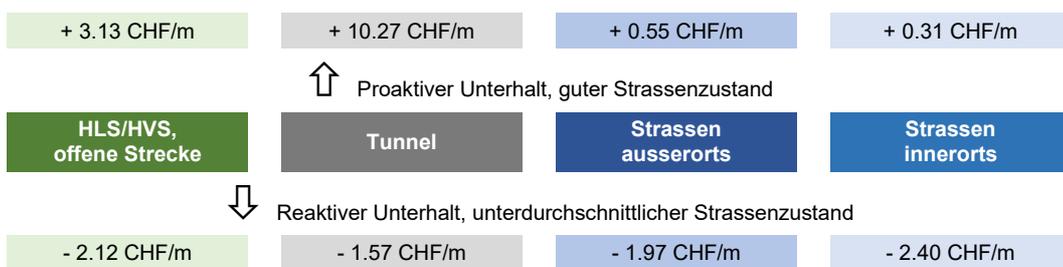


Abb. 21 Zu- und Abschläge für die Unterhaltsstrategie

Die Unterhaltsstrategie ist ein zentraler Bestandteil des Unterhalts. Sie wirkt sich aber nicht nur kurzfristig, sondern auch langfristig auf die Kosten aus – jedoch nicht auf die laufenden Kosten. Wird die Strasseninfrastruktur in Schuss gehalten, so können aufwändige Ersatzmassnahmen hinausgezögert werden. Sind nun also Strassen in gutem Zustand weniger aufwändig oder aufwändiger im Unterhalt? Die Analyse der Daten aus den Gemeinden zeigt, dass bei gutem Strassenzustand die Kosten höher sind; d.h. die Betreiber versuchen den Strassenzustand zu erhalten. Oder umgekehrt ausgedrückt: Mit einem hohen Aufwand für den projektfreien baulichen Unterhalt bleibt die Strasse länger in gutem Zustand. Der Zusammenhang müsste mit weiterführende Abklärungen erhärtet werden (siehe Kapitel 10.3).

Bei schlechterem Strassenzustand werden die Kosten gesenkt – wohl aus der Überlegung heraus, dass eine anstehende Ersatzmassnahme das verwendete Geld «vernichtet» und somit das Geld nicht effizient genutzt würde. Dabei wird davon ausgegangen, dass mit

projektfreiem baulichem Unterhalt der Strassenzustand nicht verbessert, sondern nur auf konstantem Niveau gehalten werden kann.

Somit wird folgende Hypothese aufgestellt: Bei proaktivem Unterhalt und dem Ziel eine Strassenanlage in überdurchschnittlichen Zustand zu erhalten, entstehen Mehrkosten für den betrieblichen Unterhalt. Wird die Strassenanlage in unterdurchschnittlichem Zustand bewirtschaftet, können die laufenden Kosten zwar kurzfristig gesenkt werden, hingegen werden die Investitionskosten früher anfallen oder höher ausfallen. Eine Sicht auf die gesamten Kosten, d.h. inklusive der Re-Investitionen, über eine lange Laufzeit könnte diese Hypothese untermauern oder aber widerlegen. Dies liegt aber ausserhalb dieser Betrachtung. Auf Grund der vorhandenen Datenlage konnte kein Widerspruch abgeleitet werden.

Die Auswertung zeigt weiter, dass – verglichen mit den Basiskosten – die Zu- und Abschläge wenige Prozente ausmachen. Bei allen Strassenkategorien werden die Basiskosten um maximal 5 % verändert. Auf Grund von fehlenden bzw. unvollständigen Daten konnten keine detaillierteren Auswertungen erfolgen, die z.B. Längen, Flächen oder die Anzahl Röhren des Tunnels berücksichtigt hätten.

Bei den Zu- und Abschläge für die Strassen inner- und ausserorts fällt auf, dass die Zuschläge für eine proaktive Unterhaltsstrategie geringer sind als die Abschläge. Dies lässt den Schluss zu, dass im Durchschnitt versucht wird, die Strassen in gutem Zustand zu halten und ein eher proaktiver Ansatz verfolgt wird.

Tab. 9 Kriterien für Zu- und Abschläge für die Unterhaltsstrategie

	HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
Zuschlag	– Grosser Bedarf für Massnahmen für projektfreier baulicher Unterhalt (z.B. Stabirisse, ungenügender Belagszustand etc.)	– Reparatur / Ersatz für BSA und/oder Lüftung – Sicherheitsrelevante Schäden am Bauwerk	– Aufwendigere Massnahmen	– Aufwendigere Massnahmen – Öffentlicher Verkehr – Lichtsignalanlagen und stehender Verkehr
Abschlag	– Abschnitt mit kaum baulichen Unterhaltsmassnahmen – Erhaltungsmassnahmen anstehend	– Guter Zustand von Lüftung und Beleuchtung – Kaum vorhandene Ausrüstung – Erhaltungsmassnahmen anstehend	– Geringer Massnahmenumfang – Erhaltungsmassnahmen anstehend	– Geringer Massnahmenumfang – Erhaltungsmassnahmen anstehend

Der projektfreie bauliche Unterhalt auf Strassen, die kaum Ausweichrouten besitzen, kann deutlich teurer werden, da der Aufwand für Verkehrsumstellungen beträchtlich werden kann. Dies ist im konkreten Einzelfall zu berücksichtigen.

7.6 Energieverbrauch und BSA

Die Kosten der Betriebs- und Sicherheitsanlagen hängen von verschiedenen Faktoren ab. Je nach Strassentyp können unterschiedliche Faktoren für die Zu- und Abschläge verantwortlich sein. Folgende Zu- und Abschläge konnten statistisch festgestellt werden:

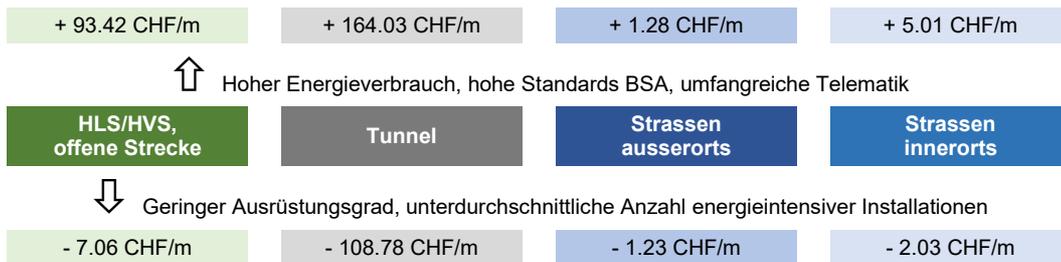


Abb. 22 Zu- und Abschläge für den Energieverbrauch und die BSA

Bei den offenen Strecken der Nationalstrasse ist der Ausrüstungsstandard massgeblich für die Kosten verantwortlich: Sind umfangreiche Anlagen zur Verkehrslenkung (z.B. dynamische Geschwindigkeitssignalisierung, Pannestreifenumnutzung), Beleuchtung, Pumpwerke oder Stromversorgung vorhanden, dann steigt der Energieverbrauch und damit auch die Kosten des Streckenabschnittes. Diese Zusatzkosten können durchaus bis 80 % der Basiskosten betragen. Im Mittel ist der Ausrüstungsstandard in der Schweiz allerdings noch nicht so hoch – es wird aber davon ausgegangen, dass er in den nächsten Jahren weiter zunehmen wird (siehe dazu auch Kapitel 8). Die Zu- und Abschläge bei den Strassen ausserorts spiegeln wider, dass die Basiskosten einen mittleren Ausrüstungsstandard repräsentieren. Die Zu- und Abschläge sind in etwa zentrisch und geringer als 10 %. Allerdings wird die technische Ausrüstung der Strassen ausserorts erst in den nächsten Jahren richtig einsetzen, so dass hier generell noch von einem bescheidenen Ausrüstungsstandard ausgegangen werden muss. Hingegen ist bei den Strassen innerorts der Zuschlag für einen höheren Energieverbrauch etwa 15 %.

Tab. 10 Kriterien für Zu- und Abschläge für den Energieverbrauch und die BSA

	HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
Zuschlag	<ul style="list-style-type: none"> - Abschnitt mit PUN, Verkehrslenkung, aufwendiger Signalisation - Installationen für dynamische Geschwindigkeitssignalisation - Verzweigungs- und Anschlussbereiche mit Beleuchtung - BSA-Ausrüstungsgrad «hoch» - Energieineffiziente Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Ausrüstungsgrad kombiniert mit ineffizienten Systemen: Lüftung, Beleuchtung - Adaption von alten System auf neue - Aufwendige Sicherheitsinstallationen (Brandschutzotore, permanente Stromverbraucher) 	<ul style="list-style-type: none"> - Beleuchtung entlang Strasse - Knoten mit LSA - Beleuchtete Mittelinseln, Signalisationen 	<ul style="list-style-type: none"> - Beleuchtete Mittelinseln, Signalisationen, Parkleitsystem - Beleuchtete Kreisel oder Haltestellenbereiche - Knoten mit LSA - Bereiche mit Langsamverkehr
Abschlag	<ul style="list-style-type: none"> - Abschnitt mit kaum BSA-Einrichtungen - BSA-Ausrüstungsgrad «niedrig» 	<ul style="list-style-type: none"> - Tunnel mit einfacher BSA-Infrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine BSA-Infrastruktur oder Energieverbraucher 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine BSA-Infrastruktur oder Energieverbraucher

7.7 Ausserordentlicher Dienst

Der ausserordentliche Dienst wird nur bei einmaligen unvorhersehbaren Ereignissen benötigt. Darunter fallen z.B. Naturgewalten wie Steinschläge oder Erdbeben. Diese Kosten zu budgetieren ist dementsprechend schwierig, sind sie doch auf unbeeinflussbare äussere Faktoren zurückzuführen. In den Basiskosten ist bereits ein Anteil an Kosten des ausserordentlichen Dienstes eingerechnet. Auf einen Risikozuschlag für Naturgefahren wird aber verzichtet. Dennoch kann es im zu bewertenden Einzelfall sinnvoll sein, wenn Risikozuschläge berücksichtigt werden, v.a. wenn die Kosten für Betrieb und Unterhalt über einen längeren Zeitraum betrachtet werden. Einen Risikozuschlag für Naturgewalten

ist zwingend notwendig, wenn Projektvarianten miteinander verglichen werden sollen, deren Risiko sich deutlich voneinander unterscheidet.

7.8 Gemeinkosten

Ein grosser Teil der Gemeinkosten entfällt auf die Verwaltung. Auf Grund der verschiedenen Organisationsformen für Betrieb und Unterhalt ist es nur schwer möglich Zu- und Abschläge für effiziente bzw. ineffiziente Verwaltungsformen anzugeben. Dies würde bedeuten, auch die genauen gesetzlichen Aufträge zu berücksichtigen. Die Anteile der Gemeinkosten an den Basiskosten sind:

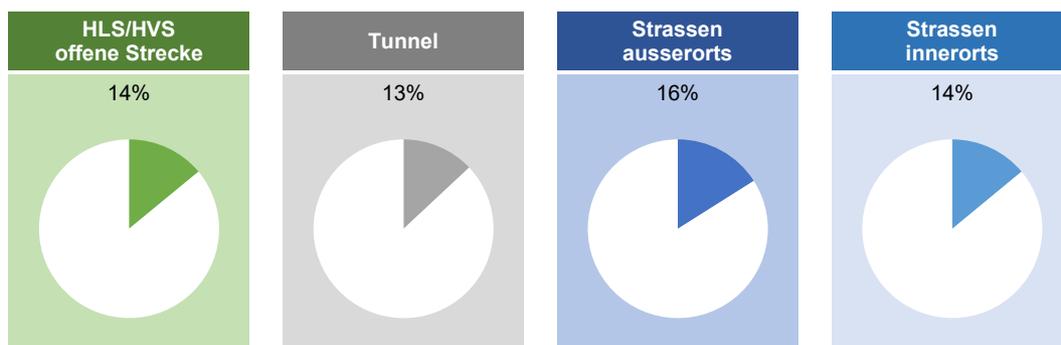


Abb. 23 Anteil der Gemeinkosten an den Gesamtkosten des betrieblichen Unterhalts ohne polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung

Allerdings konnte ein geringfügiger Trend hin zu höheren Anteilen an Gemeinkosten festgestellt werden. Die Effizienzgewinne in der Automatisierung und Digitalisierung scheinen die immer grösseren administrativen Aufwendungen nicht zu kompensieren; die immer höheren bzw. umfangreicheren Anforderungen an Datengewinnung und -verarbeitung vernichtet die Effizienzgewinne.

Welche zusätzlichen Aufwendungen auf die Verwaltungsorganisationen zukommen werden, ist äusserst schwierig vorherzusagen, weshalb auf organisationsbedingte Zu- oder Abschläge verzichtet wird.

Gemeinkosten müssen dann berücksichtigt werden, wenn durch ein Projekt die Gemeinkosten massgeblich ändern. Dies könnte beispielsweise der Fall sein, wenn durch Installation neuer Telematikeinrichtungen neue Strukturen und Prozesse etabliert, Hard- und Software beschafft, oder neue Mitarbeiter eingestellt werden müssen.

7.9 Polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung

Bei der polizeilichen Verkehrsregelung und Überwachung wurde festgestellt, dass die Kosten seit der letzten Kostenüberprüfung massiv zurückgegangen sind. In der Norm SN 641 826 wurden die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung noch mit 40.00 CHF/1'000 Fzkm (Preisbasis 2004) angegeben. Umgerechnet auf die Preisbasis 2017 mit dem Konsumentenpreisindex⁽⁸⁾ ergeben sich vergleichbare Kosten von 41.59 CHF/1'000 Fzkm für alle Strassentypen.

Die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung standen ebenfalls nur auf einem aggregierten Niveau zur Verfügung (siehe [12]). Somit ist es nicht möglich, die Kostendaten in einen Zusammenhang mit streckenweisen Aufwendungen, Mengen-, Verkehrs-, Distanz- oder Leistungsangaben in Zusammenhang zu bringen. Nur in einzelnen

⁽⁸⁾ Hier wurde der Landesindex der Konsumentenpreise verwendet, da davon ausgegangen wird, dass die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung v.a. von den Lohnkosten abhängig ist.

Fällen für Strassen des untergeordneten Netzes standen geringfügig detailliertere Zahlen und Aussagen zur Verfügung (siehe [17]). Auf Angaben zu möglichen Zu- und Abschlägen wird deshalb verzichtet.

Die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung werden in Abhängigkeit der Verkehrsleistung angegeben, also pro Fahrzeugkilometer. Um die Fahrleistungen des motorisierten Verkehrs innerorts, ausserorts und auf den Autobahnen (siehe [48]) mit den Ausgaben bei Bund Kantonen und Gemeinden (siehe [12]) in einen Zusammenhang zu bringen, wurde die Anzahl Unfälle berücksichtigt. Die Anzahl Unfälle pro Fahrzeugkilometer, insbesondere diejenigen mit schweren Unfällen und Personenschäden werden als ausschlaggebend für die Kosten der polizeilichen Verkehrsregelung und Überwachung angenommen (siehe dazu auch Kapitel 3.7). Die Unfallraten sind inner- und ausserorts und auf der Autobahn deutlich verschieden, siehe [54]. Mit Hilfe von [45], [48] und [54] wurde folgende Umrechnungsfaktoren der Kosten ermittelt (siehe *Tab. 11*):

Tab. 11 Kostenanteile der National-, Kantons- und Gemeindestrassen an den Strassen innerorts, ausserorts und an den Autobahnen (inkl. Tunnel)

	HLS/HVS (offene Strecke und Tunnel)	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
Nationalstrassen	80.7 %	19.3 %	0 %
Kantons- und Gemeindestrassen	0 %	23.7 %	76.3 %

Damit konnten folgende Kostenkennwerte ermittelt werden (siehe *Abb. 24*), wobei Tunnel nicht separat betrachtet wurden, sondern in die HLS / HVS integriert wurden (damit die Fahrzeugkilometer nicht nach Tunnel und offenen Strecken differenziert werden müssen). Bei den Kostendaten aus [12] wurde die Mehrwertsteuer herausgerechnet und es wurden nur die Jahre seit dem NFA berücksichtigt, d.h. seit 2008.

HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
8.61 CHF pro 1'000 Fzkm	--	10.41 CHF pro 1'000 Fzkm	28.73 CHF pro 1'000 Fzkm

Abb. 24 Kosten der polizeilichen Verkehrsregelung und Überwachung, Preisbasis 2017

Ein alternativer Ansatz zur Berücksichtigung der Kosten der polizeilichen Verkehrsregelung und Überwachung ist die Verwendung von Grenzkosten anstelle der Durchschnittskosten. Bei diesem Ansatz wird bestimmt, in welchem Masse sich die Polizeikosten im Laufe der letzten Jahre parallel zur Erhöhung des Gesamtverkehrsaufkommens verändert haben. Dahinter steht die Annahme, dass die Polizeikosten sich aus einem unveränderlichen Fixkostenblock zuzüglich einer vom Verkehrsaufkommen abhängigen variablen Grösse zusammensetzen. Das Resultat dieser Untersuchung ist in *Abb. 25* dargestellt:

HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
13.34 CHF pro 1'000 Fzkm und Jahr	--	9.89 CHF pro 1'000 Fzkm und Jahr	22.55 CHF pro 1'000 Fzkm und Jahr

Abb. 25 Grenzkosten der polizeilichen Verkehrsregelung und Überwachung, Preisbasis 2017

Die Betrachtung der Grenzkosten führt zu dem überraschenden Ergebnis, dass der erwartete Fixkostenblock kaum oder gar nicht nachweisbar ist.

Im Bereich HVS/HLS sind die Grenzkosten sogar höher als die Durchschnittskosten – die Polizeikosten pro Fahrzeugkilometer haben hier in den letzten Jahren sogar etwas zugenommen. Bei den übrigen Strassen ausser- wie innerorts liegen die Grenzkosten unter den Durchschnittskosten, allerdings nur in einer Grössenordnung, die das

Gesamtresultat kaum beeinflusst. Daher wird empfohlen, die Kosten der polizeilichen Verkehrsregelung und Überwachung aufgrund der Durchschnittskostenbetrachtung zugrunde zu legen, siehe dazu auch *Kapitel 8.2*.

8 Kostentrends von Betrieb und Unterhalt

Im Erhaltungsmanagement von Ingenieurbauwerken herrscht in Europa immer noch eine «präventive» Sicht der Erhaltung vor, bei der ein Aufwand von ca. 1 bis 2 % des Wiederbeschaffungswerts pro Jahr in den Unterhalt investiert werden muss, um das Leistungs- und Sicherheitsniveau halten zu können (siehe dazu beispielsweise [55], [56], [6]). Es kommen aber nach und nach Zweifel auf, ob dies auch in Zukunft genügt. Bereits heute werden die Kosten höher eingeschätzt, und mit zunehmendem Alter der Bauwerke werden sich Kostentrends weiter akzentuieren und Erhaltungsmanagementprogramme ändern. Kostentrends – nicht nur beim baulichen bzw. kleinen baulichen Unterhalt sondern generell bei allen Teilprodukten des Betriebs und Unterhalts lassen sich allerdings nur schwer vorhersagen.

8.1 Kostentrends für den betrieblichen Unterhalt

Bei einer Kostenprognose müssen die Daten auf eine einheitliche Preisbasis umgerechnet werden. Die in diesem Forschungsbericht verwendete Preisbasis ist 2017; wird eine andere verwendet, müssen die Kosten mit Hilfe von geeigneten Indizes angepasst werden. Ein guter Index ist dabei der «Baupreisindex Neubau Strasse», welcher durch das Bundesamt für Statistik nachgeführt wird. Ausser diesem Baupreisindex wurden in dieser Forschungsarbeit noch weitere Indizes des Bundesamts für Statistik (BfS) verwendet (siehe auch [42] und *Abb. 26*):

- Globaler Index Landesindex der Konsumentenpreise (Totalpreisindex) (LIK, Totalindex auf allen Indexbasen)
- Baupreisindex Tiefbau (Register «Neubau Strasse»)
- Angepasster Baupreisindex Tiefbau pro Tätigkeit (Schweizerischer Baupreisindex - Entwicklung der Baupreise: Detaillierte Ergebnisse)

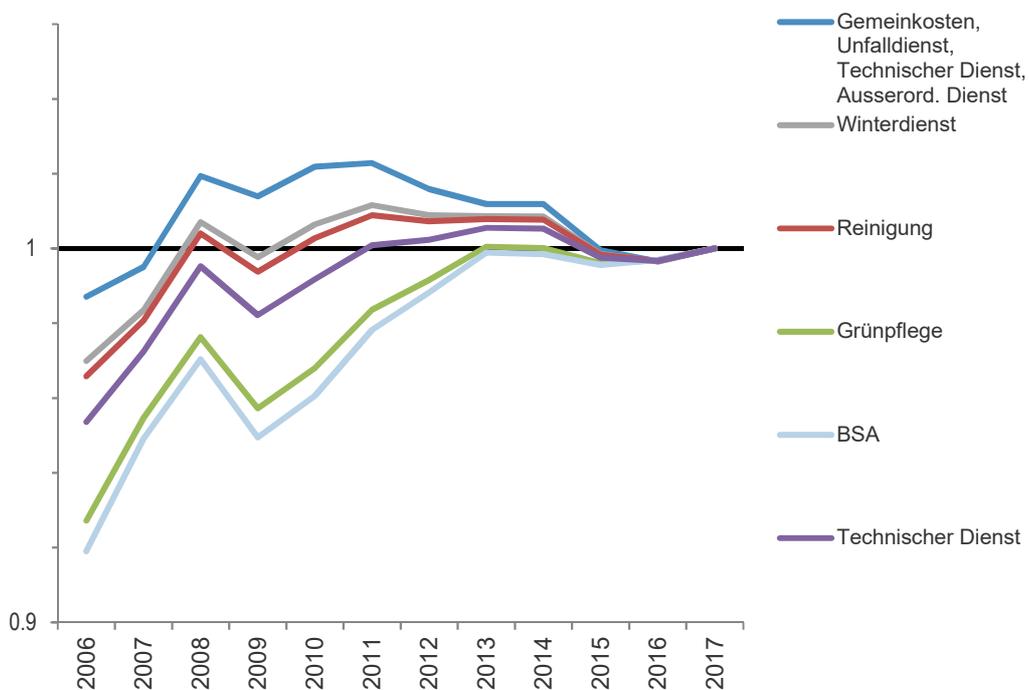


Abb. 26 Preisindex, Basis 100 % im Jahr 2017

Es zeigt sich bei allen Produkten eine nominelle Kostensteigerung zwischen 2006 und 2017. Die allgemeinen Kosten wie z.B. Gemeinkosten sind über den betrachteten Zeitpunkt nur wenig gestiegen – der Index war zwischenzeitlich sogar höher als im Jahr 2017. Wie sich der Trend fortsetzt hängt nicht zuletzt vom wirtschaftlichen Umfeld in der Schweiz und in Europa ab. Ob und in welchem Ausmass die festgestellten Trends in der Vergangenheit auch für die Zukunft gelten, ist daher schwer vorherzusagen.

Es lassen sich generell zwei Trends für die Kosten des betrieblichen Unterhalts festhalten:

- Die mittleren Kosten sind in den Jahren 2006 bis 2017 real gestiegen – insbesondere auch in den Jahren seit dem NFA 2008.
- Die grossen Kostenausreisser nach oben haben im Lauf der Zeit abgenommen – speziell seit 2013.

Ähnlich wie die offenen Strecken der Nationalstrasse konnten auch Tunnels analysiert werden. Hingegen konnten auf Grund der Datenlage keine langen Zeitreihenanalysen bei den Daten aus den Gemeinden vorgenommen werden. Allerdings haben zusammen mit den Daten aus den Kantonen auch Trends für die Strassen ausser- und innerorts abgeleitet werden können. Die Trends für die 4 Strassentypen offene Strecke Hochleistungs- bzw. Hauptverkehrsstrassen, Strasse ausserorts, Strasse innerorts und Tunnel sind zusammenfassend in *Abb. 27* dargestellt.

HLS,HVS offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
+ 4.22 CHF pro Jahr	+ 4.61 CHF pro Jahr	+ 0.30 CHF pro Jahr	0.32 CHF pro Jahr
+ 3.3 % pro Jahr bezogen auf Basiskosten	+ 1.7 % pro Jahr bezogen auf Basiskosten	+ 1.4 % pro Jahr bezogen auf Basiskosten	+ 0.9 % pro Jahr bezogen auf Basiskosten

Abb. 27 Kostentrends real (Preisbasis 2017), rückblickend auf Zeitbereich seit der Einführung des NFA (2008 bis 2016)

Dass die Kostentrends für die Strassen inner- und ausserorts gegenüber den Hochleistungs-/Hauptverkehrsstrassen deutlich geringer sind (ca. 1 bis 1.5 % pro Jahr gegenüber mehr als 3 % auf offenen Strecken) lässt sich einerseits auf die unterschiedliche Datenlage zurückführen. Andererseits muss beachtet werden, dass auf dem HLS-/HVS-Netz ein Trend hin zu mehr Einrichtungen fürs Verkehrsmanagement zu verzeichnen ist und deshalb hier deutliche Kostensteigerungen zu beobachten sind und auch zukünftig anfallen werden. Dieser Trend dürfte auch die Strassen ausser- und innerorts erfassen – allerdings zeitverzögert erst in den nächsten Jahren. Es dürfte also eine zeitverzögerte Kostensteigerung vorliegen, die auf der Nationalstrasse bereits ersichtlich ist, bei den anderen Strassen erst teilweise.

Eine weitere, grosse Unbekannte für die Trendprognosen ist der technologische Fortschritt, welcher im Zuge der «Digitalisierung der Infrastruktur» zu Investitionen im Strasseninfrastrukturbereich führen wird. Die Kommunikation mit und zwischen einzelnen Fahrzeugen wird vermutlich dazu führen, dass die Infrastruktur weiter technologisch ausgebaut wird. Investitionen für den Betrieb autonom fahrender Fahrzeuge wird die Infrastruktur ebenfalls erfassen und zu weiteren Kosten in Betrieb und Unterhalt führen, sofern dies nicht auf privater Basis geschieht.

Beim Tunnel ist je nach Ausstattung in Einzelfällen sogar ein rückläufiger Trend in den Kosten für Betrieb und Unterhalt erkennbar. Im Grossen und Ganzen wurden geringere Kostensteigerungen als auf der offenen Strecke festgestellt. Da Betrieb und Unterhalt von Tunnel v.a. durch sicherheitsrelevante Ausrüstungen geprägt ist, könnten verschärfte Anforderungen an die Tunnelsicherheit in Zukunft zu weit höheren Kosten für den Betrieb führen.

Neue Normen und Anforderungen können zu höheren Kosten führen, wie dies am Beispiel der offenen Strecke gezeigt werden kann: Die verschärfte Sicherheitsvorschriften für die

Baustelleneinrichtungen durch die verbindliche Anwendung der Norm SN 640 885 (Ausgabe 2015) ab 2018 verursachen Kostensteigerungen um 2 Millionen Schweizer Franken; dies führt zu einer Anpassung der Basiskosten von mehr als 1 Schweizer Franken pro Laufmeter offene Strecke. Diese Kostensteigerung wurde in den Basiskosten bereits berücksichtigt.

Als zentraler Preistreiber konnte für alle Strassentypen der bauliche Unterhalt ermittelt werden. Der projektfreie bauliche Unterhalt ist auf den offenen Hochleistungs-/ Hauptverkehrsstrassen für fast 50 % der Kostensteigerungen verantwortlich. Beim Tunnel kommen als weitere Ursache für die Kostensteigerungen die Aufwendungen der Reinigung – bei Nationalstrassen zusätzlich die gestiegenen Sicherheitsanforderungen – hinzu. Nicht zu vernachlässigen sind die Kostensteigerungen in der Verwaltung, welche je nach Organisationsform auch die Überwachung (Inspektion) beinhaltet. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit zunehmenden Controlling-Tätigkeiten und Bestrebungen hin zu mehr Kostentransparenz die Kosten in der Verwaltung ebenfalls steigen werden.

All diese Trends sind zwar da, können aber nicht unbesehen für die Zukunft übernommen werden. Würde eine Kostensteigerung von 3.3 % pro Jahr beibehalten, so würden sich die Kosten innerhalb von ca. 20 Jahren verdoppeln. Dies wird als unrealistisch angesehen.

Eine konservative Schätzung, welche von den Autoren und der Expertenkommission als vertretbar angesehen wird, ist eine einheitliche, reale 1 %-Kostensteigerung pro Jahr für alle Strassentypen; spezielle Trends können im Einzelfall zusätzlich berücksichtigt werden.

8.2 Kostentrends für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung

Die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung haben sich, bezogen auf die jeweilige Verkehrsleistung, in den letzten Jahren real kaum verändert (siehe *Abb. 28*). Im betrachteten Zeitraum von 2008 bis 2014 hat die Gesamtverkehrsleistung auf dem Netz von ca. 57'000 Millionen Fahrzeugkilometern um etwa 10 % auf ca. 63'000 Millionen Fahrzeugkilometer zugenommen. Die Polizeikosten pro 1'000 Fahrzeugkilometer sind gesamthaft annähernd konstant geblieben, im Bereich der Autobahnen haben sie leicht zugenommen, während im übrigen Strassennetz eine geringfügige Abnahme zu verzeichnen ist. (siehe *Abb. 29*). Die Zunahme der Durchschnittskosten im Nationalstrassennetz könnte in Zusammenhang mit einer zunehmenden Kapazitätsauslastung und wachsender Verkehrsdichte stehen. Zudem wäre ein Einfluss einzelner grosser Unfallereignisse und eines zunehmenden Schwerverkehrs denkbar. Im übrigen Strassennetz korreliert der Rückgang der Polizeikosten mit einer sinkenden Unfallrate.

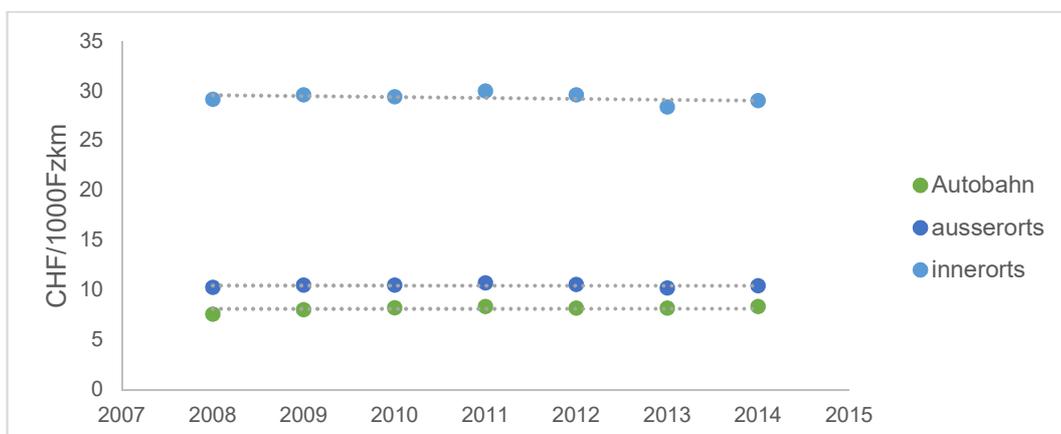


Abb. 28 Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung im Zeitverlauf

HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
+0.090 CHF pro 1'000 Fzkm und Jahr	--	-0.003 CHF pro 1'000 Fzkm und Jahr	-0.092 CHF pro 1'000 Fzkm und Jahr

Abb. 29 Kostentrends der polizeilichen Verkehrsregelung und Überwachung, Preisbasis 2017

Für eine Normierung wird empfohlen, bei den Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung auf Kostentrends zu verzichten oder sie mit den Veränderungen in den Unfallraten zu korrelieren.

9 Interpretation der Ergebnisse

9.1 Verlässlichkeit des Modells

Um die Güte des Modells zu verdeutlichen, sind die Abweichungen zwischen effektivem Wert und geschätztem Wert aus der Modellrechnung in *Abb. 30* für die offenen Strecken und die Tunnel dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass bis auf Ausreisser das neue Kostenmodell in der Lage ist, die gesamte Spannweite der Kosten abzudecken.

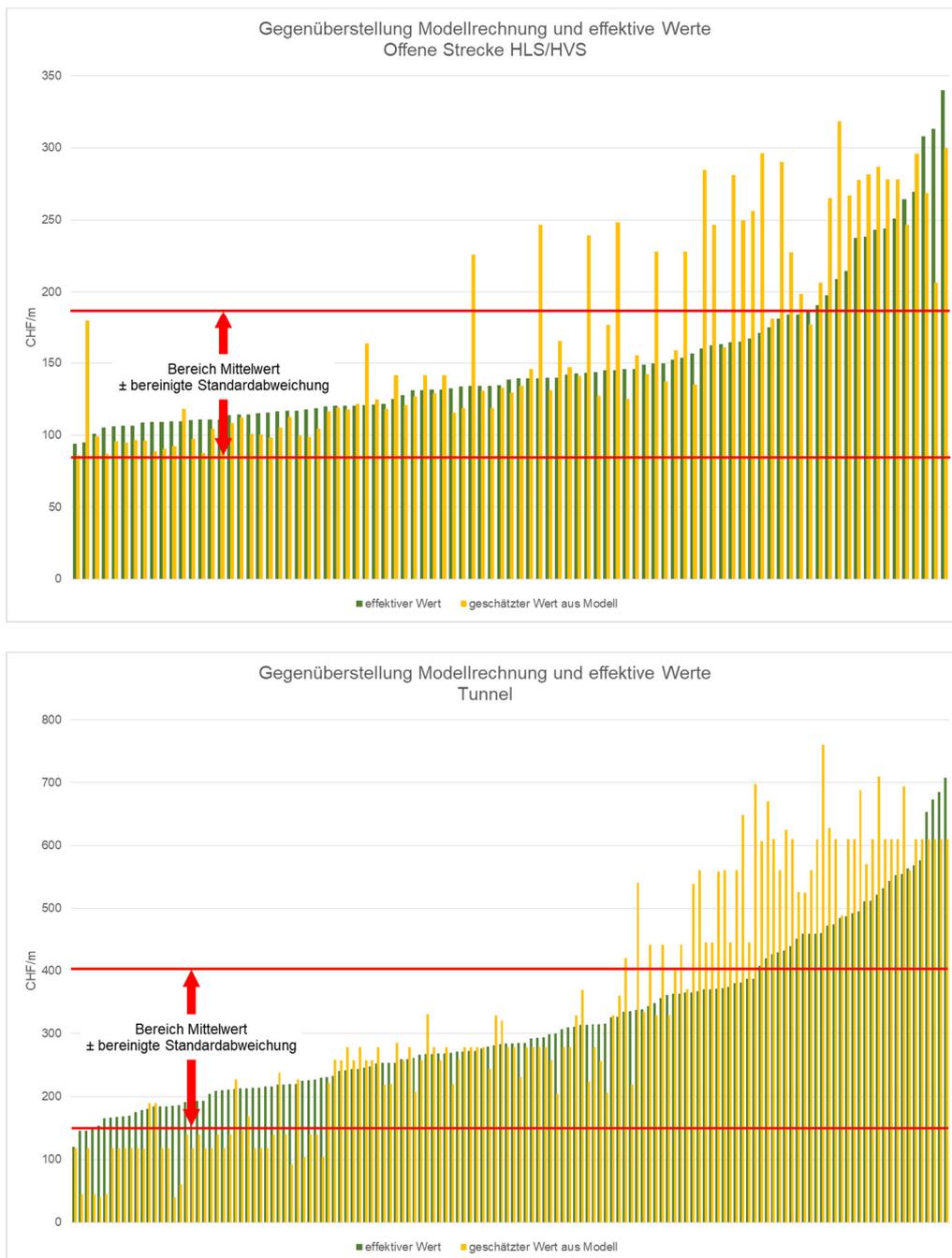


Abb. 30 Gegenüberstellung der geschätzten Werte aus der Modellrechnung und den effektiv gemessenen Werten für offene Strecken und Tunnelstrecken. Je 5 extreme Werte sind nicht dargestellt, die Werte repräsentieren das Jahr 2016.

Es gilt festzuhalten, dass – gemessen über alle Jahre und über alle vorhandenen Daten ohne Bereinigung der Ausreisser – bei den offenen Strecken über 60 % der geschätzten Werte sich innerhalb von 0.25 Standardabweichungen und etwa 85 % innerhalb von einer Standardabweichung um die effektiven Werte liegen. Bei den Tunnel liegen die Abweichungen bei etwa 30 % der Tunnelstrecken innerhalb 0.25 Standardabweichungen und ebenfalls ca. 85 % der Tunnelstrecken innerhalb einer Standardabweichung. Diese Güte wird als ausreichend angesehen und stellt eine deutliche Verbesserung gegenüber dem bisherigen Modell dar. Mit dem bisherigen Modell war ein maximaler Zuschlag in der Höhe von 15 % möglich, was in etwa nur 0.15 Standardabweichungen entspricht. Die Bandbreite des neuen Modells ist deutlich grösser, so dass auch deutlich mehr Situationen abgedeckt werden können.

Allerdings lässt sich in den Diagrammen in *Abb. 30* auch erkennen, dass das Kostenmodell die geringeren Werte tendenziell unterschätzt und die Kosten auf Abschnitten mit höheren Kosten pro Laufmeter tendenziell überschätzt. Der Grund ist in den meisten Fällen im BSA-Zuschlag zu suchen: Die absoluten Beträge der Zu- und Abschläge sind im Vergleich zu den Basiskosten sehr gross; der Zu- bzw. Abschlag aber ein 0-1-Kriterium: Entweder der Zuschlag erfolgt, oder eben nicht. In der Praxis kann ein Anwender durch Gewichtung der Zu- und Abschläge die Kosten differenzierter beeinflussen. Im *Kapitel 9.3* werden die beiden Kostenmodelle anhand fiktiver Beispiele einander gegenübergestellt und die Ergebnisse interpretiert.

9.2 Unterschiede in den Modellen

9.2.1 Basiskosten

Für eine direkte Gegenüberstellung wurden die Preise der aktuell gültigen Norm 2008 auf eine Preisbasis 2017 hochgerechnet, damit sich die Ergebnisse miteinander vergleichen lassen. Für die Hochrechnung wurden ebenfalls die Baupreisindizes verwendet [35].

SN 641 826 mit Preisbasis 2017	HLS, HVS	Tunnel ⁽⁹⁾	Übrige Strassen	
	97.67 CHF/m	299.52 CHF/m	45.95 CHF/m	
Aktualisierung 2017	HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
	129.52 CHF/m	278.50 CHF/m	20.99 CHF/m	35.95 CHF/m

Abb. 31 Basiskosten gemäss aktueller Norm SN 641 826 (2008) mit Preisbasis 2017 im Vergleich zu Basiskosten der «Aktualisierung 2017» mit Preisbasis 2017

Verglichen mit den neuen Kosten fällt auf, dass die Kosten der offenen Strecken der Nationalstrasse (gemäss *Abb. 31*) deutlich gestiegen sind, diejenigen der Tunnel hingegen geringfügig gesunken sind (ohne Berücksichtigung der Trendprognose von 2004; mit Berücksichtigung wäre der Wert 216.58 CHF/m). Die verfügbare Datenbasis ist nun deutlich besser bzw. für die Nationalstrassen vollständig. Dies war bei der alten Norm 2008 noch nicht der Fall. Die Erhöhung der Kosten für HLS/HVS kann mitunter auch auf den höheren Ausrüstungsstand und auf die höheren Service Levels zurückgeführt werden. Mit dem NFA sind die Kosten der Nationalstrasse nun direkt miteinander vergleichbar, während sich vor NFA-Zeiten die Standards von Kanton zu Kanton unterschieden haben.

Auf der anderen Seite sind die Kosten in der aktuellen Norm SN 641 826 (2008) für die Strassen ausserorts und innerorts (bzw. damals «Übrige Strassen») deutlich höher als sie

⁽⁹⁾ Falls die Trendprognose berücksichtigt würde, wären die Kosten 216.58 CHF/m für Tunnel

nun in diesem Bericht ausgewiesen werden. Hier ist sicherlich auch die Datenlage ausschlaggebend, die dank den Erhebungen bei 40 Gemeinden v.a. für die Strassen innerorts deutlich umfangreicher und differenzierter ausfiel.

9.2.2 Einflussfaktoren

Die Einflussfaktoren haben sich gegenüber der alten Norm verändert:

- Verkehr: Neu ist nicht nur der DTV ausschlaggebend, sondern auch der Schwerverkehrsanteil
- Siedlungsumgebung: An Stelle der Siedlungsumgebung tritt einerseits die Aufteilung in Strassen inner- und ausserorts und andererseits ist mit dem umfassenden Einflussfaktor «Infrastrukturdichte» ein Faktor geschaffen worden, in dem die Siedlungsdichte integriert ist
- Höhenlage: Die Höhenlage wird nicht mehr explizit berücksichtigt. In den Kosten für den Winterdienst sind Zu- bzw. Abschläge enthalten, die u.a. auf die Höhenlage zurückzuführen sind.
- Tunnellänge: Die detaillierte Unterscheidung nach verschiedenen Längen wurde aufgegeben. Neu ist ein Abschlag für kurze Tunnels zu berücksichtigen; weitere Kosten können über die Anforderungen an Betriebs- und Sicherheitsanlagen berücksichtigt werden.
- Anzahl Fahrstreifen: Die Anzahl der Fahrstreifen und somit die Breite der Strassenanlage wird nicht mehr explizit bewertet. Mittels des Einflussfaktors «Infrastrukturdichte» wird die Breite der Strasse indirekt berücksichtigt.
- Standstreifen im Tunnel: Die Standstreifen in Tunnels werden als Element der Sicherheit und damit der Ausrüstung angesehen. Sie sind somit im neuen Einflussfaktor «Ausrüstungslevel» für Tunnels enthalten.
- Alter: Einer der Kritikpunkte der bestehenden Norm ist die Berücksichtigung des Alters als Proxy für den Zustand. Das Alter wird nicht mehr berücksichtigt und der Zustand fliesst indirekt in den Einflussfaktor «Unterhaltsstrategie» ein.
- Grünanlagen (Breite): Die Breite der Grünanlagen wird nicht mehr berücksichtigt. Stattdessen wird ein «Service Level» für die Grünpflege eingeführt, der nun auch für die Strassen im untergeordneten Netz Gültigkeit hat. Ausgedehnte Grünanlagen sind in der Grünpflege zu berücksichtigen.
- Trottoir/Radweg: Trottoirs und Radwege gehören ebenso zur Infrastruktur, wie die Fahrbahn auch. Deshalb sind Trottoirs/Radwege implizit im Faktor «Infrastrukturdichte» enthalten.
- ÖV-Anlagen: Die zusätzliche durch den öffentlichen Verkehr bedingte Infrastruktur ist im Faktor «Infrastrukturdichte» enthalten. Falls durch die ÖV-Anlagen auch die Reinigung signifikant beeinflusst wird, ist dies unter dem Service Level der Reinigung zu berücksichtigen.
- Spezielle Einpassung ins Ortsbild: Dieser Faktor ist nicht mehr vorhanden, bzw. wird durch die Service Levels der Produkte Grünpflege, Winterdienst und allenfalls auch die «Unterhaltsstrategie» abgedeckt.

9.2.3 Polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung

Die Basiskosten beinhalten keine Aufwendungen für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung.

Diese Kosten können zwischen den beiden Modellen verglichen werden: Gemäss aktueller Norm betragen die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung 4 Rappen pro Fahrzeugkilometer mit Preisbasis 2004. Hochgerechnet auf die Preisbasis

2017 betragen diese Kosten rund 41.59 Schweizer Franken pro 1'000 Fahrzeugkilometer ⁽¹⁰⁾ (siehe *Kapitel 7.9*). Dies ist deutlich mehr als neu mit den aktualisierten Kennzahlen ausgewiesen wird. Neu werden zwischen 8 und knapp 30 Schweizer Franken pro 1'000 Fahrzeugkilometer veranschlagt. Als Grund für den Rückgang dieser Kosten wird vermutet, dass die Automatisierung bzw. Digitalisierung der Arbeiten und der Ausbau der verkehrstelematischen Ausrüstung vorab auf den Nationalstrassen zu diesem Rückgang geführt hat. Die Art der Datenerhebung spielt sicherlich auch eine Rolle, zumal seit der Einführung des NFA zumindest auf Ebene Bund die Daten einheitlich erfasst werden. Zudem ist seit 2004 ein stärkeres Verkehrswachstum, ein Rückgang der Verkehrsunfallraten und nur ein geringes Kostenwachstum zu verzeichnen (siehe dazu u.a. [48], [54], [36]). Dies dürfte ebenfalls zu einem Rückgang der Fahrleistungsbezogenen Kosten geführt haben.

9.3 Beispielrechnungen

Die folgenden Beispiele sind fiktive Beispiele und sollen die Handhabung der beiden Modelle und ihre Resultate illustrieren.

9.3.1 Beispiel 1: Nationalstrassenabschnitt

Ein Nationalstrassenabschnitt (4 Fahrstreifen) mit DTV 60'000 Fahrzeugen pro Tag und einem Schwerverkehrsanteil von 7 %, im Mittelland auf 425 m ü. M., 10 Jahre alt und noch in gutem Zustand, ausgedehnte Grünanlagen beidseits der Autobahn auf einem Lärmschutzdamm. Weitere unterhaltsintensive Infrastrukturelemente sind nicht vorhanden.

In *Tab. 12* sind die Kosten des betrieblichen Unterhalts exkl. den Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung für die beiden Modelle einander gegenübergestellt. Im Kostenmodell 2008 weicht der errechnete Kostenansatz weniger als 1 % von den Basiskosten ab, dies trotz einer Vielzahl von berücksichtigter Einflussfaktoren. Mit den neuen Kostengrundlagen ist die Kostenvariabilität grösser und erreicht im vorliegenden Fall ca. 10 % der Basiskosten. Im Quervergleich zeigt sich, dass neben dem höheren Basiskostenansatz ebenfalls die Zu- und Abschläge dazu beitragen, dass deutlich höhere Kosten für den entsprechenden Strassenabschnitt errechnet wurden. Die Kostensteigerung gegenüber 2008 betragen rund 40 %. Wesentlicher Anteil an den Gesamtkosten haben die Verkehrsbelastung und die Aufwendungen für die Grünpflege. Ein Abzug kann für den Unterhalt der Infrastruktur geltend gemacht werden, da davon ausgegangen wird, dass der vorliegende Strassenabschnitt gegenüber dem Mittelwert eine geringere Infrastrukturdichte aufweist.

Aus der *Tab. 12* geht hervor, dass mit dem neuen Kostenmodell deutlich weniger Faktoren bzw. Zu- und Abschläge erforderlich sind. Man konzentriert sich auf wenige wesentliche Korrekturfaktoren.

⁽¹⁰⁾ Die Fahrzeugkilometer beinhalten die Fahrtleistung des motorisierten Verkehrs: Personenwagen, Sachtransportfahrzeuge (Lieferwagen, Lastwagen, Sattelschlepper) sowie Motorräder.

Tab. 12 Anwendung Kostenmodelle für Nationalstrasse (HLS/HVS)

97.67 Basiskosten Modell 2008		129.52 Basiskosten Modell 2018	
⊗ 1.03	Verkehr: DTV 50'000 bis 74'999	⊕ (20x 0.27)	5.40 Verkehrsbelastung: ± 0.27 CHF/m pro 1'000 Fz bei Abweichung des DTV von 40'000
		⊕ (1x 0.29)	0.29 Schwerverkehrsanteil: ± 0.29 CHF/m pro 1%-Punkt Änderung des Schwerverkehrsanteils von 6.0%
⊗ 0.99	Siedlungsumgebung: Ländliche Umgebung	⊖ 7.14	Infrastrukturdichte: Geringes Ausmass an Infrastruktur
⊗ 0.99	Höhenlage: 400 bis 449 m ü.M.		
⊗ 0.99	Anzahl Fahrstreifen: 2x2 Streifen		
⊗ 0.99	Alter der Anlage: 6 bis 10 Jahre		
⊗ 1.01	Grünanlagen: beidseits > 5 m	⊕ 12.93	Grünpflege: Ausgedehnte Grünanlagen mit guter Zugänglichkeit
⊖		⊖	
97.60	CHF/m (Preisbasis 2017)	141.00	CHF/m (Preisbasis 2017)

9.3.2 Beispiel 2: Tunnelabschnitt

Eine Tunnelstrecke mit 2 Röhren, einer Länge von 3'500 Metern, 30'000 Fahrzeugen pro Tag und 7 % Schwerverkehrsanteil. Ein Standstreifen im Tunnel ist vorhanden, der Tunnel wurde letztmals vor 10 Jahren instandgesetzt und entspricht nun normalen Sicherheitsanforderungen. Die Ausrüstung ist Standard. Die Ergebnisse der Gegenüberstellung sind in Tab. 13 ersichtlich.

Mit den aktualisierten Daten ergeben sich gegenüber 2008 deutlich verminderte Laufmeterkosten (vergleiche Tab. 13) für den betrieblichen Unterhalt im Tunnel. Die Reduktion beträgt etwas weniger als 20 %. Im Modell 2008 haben die Korrekturfaktoren die Basiskosten insbesondere aufgrund des Faktors Tunnellänge um knapp 50 % erhöht. Mit dem neuen Kostenmodell fällt die Erhöhung auf Grund der zweiten Tunnelröhre nicht mehr so stark ins Gewicht. Die neu analysierte Datengrundlage zeigt, dass die Tunnellänge keinen so signifikanten Einfluss auf die Kosten mehr hat, wohingegen diese im Modell 2008 der Hauptkostentreiber war.

Tab. 13 Anwendung Kostenmodelle für Tunnel

299.52 Basiskosten Modell 2008		278.50 Basiskosten Modell 2018	
⊗ 1.00	Verkehr: DTV 30'000 bis 49'999	⊖ (-10x 2.27)	22.70 Verkehrsbelastung: ± 2.27 CHF/m pro 1'000 Fz bei Abweichung des DTV von 40'000
		⊕ (1.0x 2.13)	2.13 Schwerverkehrsanteil: ± 2.13 CHF/m pro 1%-Punkt Änderung des Schwerverkehrsanteils von 6.0%
		⊕ 41.80	Zuschlag für Ausrüstungslevel / Sicherheitsanlagen (Standstreifen)
		⊕ 65.63	Zuschlag für 2. Tunnelröhre
⊗ 1.45	Tunnellänge: ≥ 2'000 m	-	Tunnellänge: ≥ 600 m, keine Korrektur
⊗ 1.01	Standstreifen im Tunnel: vorhanden		
⊗ 1.00	Alter der Anlage: 6 bis 10 Jahre		
⊖		⊖	
438.65	CHF/m (Preisbasis 2017)	365.36	CHF/m (Preisbasis 2017)

9.3.3 Beispiel 3: Strasse innerorts

Eine städtische Hauptstrasse mit 15'000 Fahrzeugen pro Tag und einer Buslinie, die ebenfalls auf der Strasse verkehrt. Es befinden sich ÖV-Haltestellen, ein Parkleitsystem

und Lichtsignalanlagen auf der Strecke. Der Gehsteig ist breit, beidseitig verfügbar und kann für Fussgänger und Radfahrer benützt werden. Zwischen Rad/Gehweg und der Fahrbahn für den motorisierten Verkehr befinden sich zahlreiche Bäume. Die Strasse ist 25 Jahre alt, führt über Bahngleise und hat teilweise eine separate Busspur. Insgesamt wird sie in gutem Zustand gehalten.

Tab. 14 Anwendung Kostenmodelle für Strassen innerorts

45.95	Basiskosten Modell 2008	35.95	Basiskosten Modell 2018
⊗ 1.02	Verkehr: DTV 10'000 bis 19'999	⊕ 1.35 (13.5x 0.10)	Verkehrsbelastung: ± 0.10 CHF/m pro 1'000 Fz bei Abweichung des DTV von 1'500
		⊕ 6.00	Schwerverkehrsanteil: + 6.00 CHF/m bei Strassen mit erhöhtem Schwerver- kehrsanteil auf Grund der Erschliessung
⊗ 1.09	Siedlungsumgebung: Dichte Bebauung	⊕ 2.16	Infrastrukturdichte: Hohe Anteile zusätzlicher Infrastruktur
-	Höhenlage: nicht relevant		
⊗ 0.96	Anzahl Fahrstreifen: 2x1 Streifen (0.94), teilweise 1+2 Streifen (1.00)		
⊗ 1.05	Alter der Anlage: ≥ 21 Jahre		
⊗ 1.05	Trottoir, Radweg: beidseitig		
⊗ 1.05	Einfache ÖV-Anlagen: vorhanden		
		⊕ 0.55	Grünpflege: Pflegeintensive Grünan- lagen, erschwerte Zugänglichkeit
		⊕ 1.33	Reinigung: Hoher Reinigungsaufwand aufgrund Service Level bzw. vielen Entwässerungsleitungen
		⊕ 5.01	Energieverbrauch und BSA: Hoher Energieverbrauch, hohe Standards BSA, umfangreiche Telematik
⊖		⊖	
56.77	CHF/m (Preisbasis 2017)	51.80	CHF/m (Preisbasis 2017)

Im vorliegenden Beispiel ist die Kostenkorrektur gegenüber den Basiskosten für das Modell 2017 deutlich höher, trotzdem wurden geringere Kosten ermittelt. Das neue Modell weicht gegenüber 2008 um 7 % ab.

9.4 Grenzen der Modellierung und Kostenprognose

Mit der neuen Kostenanalyse wurden viele infrastrukturbedingte Einflussfaktoren gegenüber der alten Norm zusammengefasst, dafür besteht die Möglichkeit, durch Anpassungen bei den 5 Produktgruppen Winterdienst, Reinigung, Unterhaltsstrategie, Grünpflege und Energiekosten/BSA die Basiskosten zu modifizieren. Trotzdem sind auch mit der neuen Kostenstruktur noch nicht alle Fälle abgedeckt. Spezialfälle sind zwar leichter zu erfassen, dennoch konnten einerseits auf Grund der Datenlage und andererseits auch aus Gründen der Einfachheit Faktoren wie Belagstyp, Zustand, Topographie oder Witterungseinflüsse nicht in die Modellierung aufgenommen werden.

Die Digitalisierung und Automatisierung von Kosten und Infrastrukturangaben ermöglichte es, umfangreiche Datengrundlagen zu sichten. Die Daten wurden bereinigt und harmonisiert, was dazu führt, dass die daraus gewonnenen Ergebnisse nicht mehr in jedem Fall direkt als Vergleich herangezogen werden können. Ein Benchmarking kann mit diesen Daten somit nicht direkt betrieben werden. Die Kosten zusammen mit ihren Zu- und Abschlägen zeigen Schätzungen und Grössenordnungen auf; sie sind nicht dazu gedacht, als Vergleichskosten für einzelne existierende Strassenabschnitte zu dienen.

Wetterextreme und -schwankungen sind ebenfalls nicht in den Kosten abbildbar. Durch die Möglichkeit, Zuschläge für Winterdienst und Reinigung zu erfassen, besteht aber die

Möglichkeit, diesen Begebenheiten zumindest teilweise gerecht zu werden. Gerade bei den Daten aus den Gemeinden sind die Kostenspannweiten sehr gross und Extreme (nach oben und unten) durchaus möglich und realistisch. Es ist sehr gut möglich, dass im Einzelfall Faktoren existieren, die in dieser Bewertung nicht erfasst wurden.

10 Weiterer Forschungsbedarf

10.1 Verkehrsflächen

Strassenbreite und –länge korrelieren stark über die gesamten Netze hinweg gesehen. Deshalb wird auf einen separaten Faktor Strassenbreite oder Verkehrsfläche verzichtet, um Doppelzählungen zu vermeiden. Breitere Strassen sind sehr häufig auch Ausdruck eines grösseren Verkehrsaufkommens. Implizit wird die Strassenbreite somit im Verkehrsaufkommen oder auch dem Faktor Infrastrukturdichte bereits abgebildet. Eine Verdoppelung der Verkehrsfläche geht nicht mit einer Verdoppelung der Kosten einher – die Kostensteigerung ist deutlich geringer. Allerdings sind Flächen ausserhalb der eigentlichen Fahrbahn oder gemischt-genutzte Flächen besser in die Kosten zu integrieren: Pannestreifen, Rad- und Gehwege, Trottoirs, ÖV-Haltstellen, Tramtrasse etc.

10.2 Alter der Anlage und Zustand der Strasse

Das Alter der Strassenanlagenteile ist per se nicht relevant für die Kosten von Betrieb und Unterhalt. Ausschlaggebend sind hier die einzelnen Zustände. Während bei der Fahrbahn ein Zustand gut und einfach ermittelt werden kann, ist dies für komplexere Anlagenteile wie z.B. Brücken nicht mehr ganz so evident. Aus den Gemeinden wurden ausreichend Daten zu den Strassenzuständen erfasst, während die Kosten der übrigen Datenlieferanten nicht mit einem Zustandsindex in Verbindung gebracht werden konnte.

Dementsprechend wurden die Kosten auch nicht mit Hilfe einer Verfallskurve über die Zeit abgebildet. Dies wäre ein weiteres, interessantes Forschungsthema, das v.a. bei den Kosten des projektfreien baulichen Unterhalts weitere Einblicke möglich machen würde. Falls dieses Thema aufgegriffen würde, scheint eine umfassendere Betrachtung angebracht, bei der auch Instandsetzungsarbeiten analysiert würden. Ein erster Schritt in diese Richtung wird derzeit mit der Forschungsarbeit BORMAC [40] erarbeitet.

10.3 Zusammenhang Investitionskosten und Kosten projektfreier baulicher Unterhalt

Die Auswertung der Daten hat gezeigt, dass im untergeordneten Netz bei gutem Strassenzustand die betrieblichen Kosten höher sind. Die Infrastrukturbetreiber versuchen dementsprechend Ihre Anlage auf einem guten Stand zu halten. Es können jedoch keine gesamtheitlichen Aussagen gemacht werden. Hierfür wären die projektgestützten Investitionskosten einzubeziehen.

10.4 Abhängigkeiten vom Belagstyp

Offenporige Beläge müssen häufiger gereinigt werden, damit sie ihre lärmabsorbierende Wirkung erhalten. Der Verschleiss offenporiger Beläge ist grösser und die Reparaturarbeiten aufwändiger. In dieser Forschungsarbeit konnten keine Zusammenhänge zwischen den Kosten von Betrieb und Unterhalt einerseits und dem Belagstyp andererseits festgestellt werden, da die Detaillierung der Daten zu gering war. Hier ist es notwendig, spezifische Abschnitte genauer zu untersuchen.

Allerdings gibt es Hinweise, dass lärmarme Beläge innerorts Mehrkosten von bis zu 20 % verursachen können (siehe [57]). Weniger offenporige, aber immer noch lärmindernde Belagstypen, welche z.B. innerorts verwendet werden könnten, verursachen hingegen nur Mehrkosten in der Grössenordnung von 3 %. Unterhaltsrelevant sind Reinigung, Winterdienst und der projektfreie bauliche Unterhalt.

10.5 Einführung der Belastung

Durch die Verkehrszunahme nehmen auch die gefahrenen Tonnenkilometer zu. Der Schwerverkehrsanteil bleibt in den letzten Jahren in etwa konstant, dennoch ist die Belastung gestiegen. Der Einfluss der Belastung und nicht nur des Schwerverkehrsanteils auf die Kosten von Betrieb und Unterhalt kann das Ziel weiterer Forschungsarbeiten sein.

10.6 Kunstbauten

Stützkonstruktionen wie beispielsweise Mauern haben natürlich einen Einfluss auf die Kosten des Betriebs und Unterhalts. Im Bereich der offenen Strecke der Nationalstrasse konnte ein Trendwert herauskristallisiert werden, der pro Laufmeter Stützkonstruktion etwa 3.00 Schweizer Franken beträgt. D.h. die Basiskosten könnten in begründeten Fällen um diesen Wert angepasst werden. Es muss aber auch festgehalten werden, dass in die Basiskosten bereits ein gewisser Anteil an Stützkonstruktionen eingeflossen ist. Ein vergleichbarer Wert für die Strassen innerorts und ausserorts konnte auf Grund der Datenlage nicht eruiert werden.

Es bleibt aber auch hier festzuhalten, dass weitere Forschungsarbeiten, die nur auf Kunstbauten und Kunstbautenteile in Zusammenhang mit den Kosten für den Betrieb und Unterhalt fokussieren, wesentliche Beiträge im Verständnis der Wechselwirkung zwischen Kosten und dem Aufwand für die Inspektionen, Überwachungen, sowie die Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten leisten würden.

10.7 Anzahl Einwohner, Siedlungsdichte, öffentlicher Verkehr und Flächen für den ruhenden Verkehr

Die einzelnen Faktoren Einwohner, Siedlungsdichte, öffentlicher Verkehr und Flächen für den ruhenden Verkehr haben zweifelsohne einen kleineren oder grösseren Einfluss auf die Gesamtkosten. Mit dem umfassenden Faktor Infrastrukturdichte wurde versucht, all diese Faktoren unter einen Hut zu bringen und keine Doppelzählungen bzw. Korrelationen zu schaffen. Gerade der Einfluss des öffentlichen Verkehrs auf die Kosten für den Betrieb und v.a. Unterhalt der Strassen ist nur geringfügig untersucht.

Bei den Flächen des ruhenden Verkehrs muss allerdings gesagt werden, dass der Betrieb dieser Areale meist kostendeckend geschieht, da nicht nur die öffentliche Hand sondern auch Private Angebote für den ruhenden Verkehr in Form von Parkplätzen, Parkhäusern oder Park+Ride-Anlagen anbieten.

Ausführliche statistische Analysen zu diesen vier Einflussgrössen können die Arbeit weiterer Forschungsarbeiten sein. Damit könnten die Strassen innerorts nochmals deutlich besser charakterisiert werden und im Fall des Faktors «öffentlicher Verkehr» auch Kosten für die Instandhaltung und Instandsetzung angegeben werden, die vermutlich deutlich kostenintensiver sind, als Strassenanlagen ohne öffentlichen Verkehr.

10.8 Witterungseinflüsse und Naturgefahren

Naturgefahren im Allgemeinen – nicht nur Temperatur, Niederschläge und Wind, sondern z.B. auch Steinschlag, Lawinen und Erdbeben – haben Einfluss auf die Kosten von Betrieb und Unterhalt der Strasseninfrastruktur. Schützende Bauten müssen beispielsweise regelmässig überprüft und allenfalls nachgebessert werden. Diese Arbeiten sind meist aufwändig. Für die Kosten des Winterdienstes konnte für die Strassen inner- und ausserorts zwar ein gewisser Zusammenhang mit den Anzahl Schneefalltagen festgestellt werden. Allerdings war die Zeitreihe von zwei betrachteten Jahren zu kurz, um hier allgemeine Trends vorstellen zu können. Dennoch scheinen Schneefalltage und vom Besitzer oder Betreiber definierte Service Levels für den Winterdienst wesentliche Faktoren

für die Kosten zu sein. Allgemein können Erkenntnisse zu Service Levels und deren Festlegung weitere Einsichten in die Kosten des betrieblichen Unterhalts gewähren.

10.9 Digitalisierung der Strasse

Die Strasse wird zweifelsohne in den nächsten Jahren erheblichen Veränderungen unterworfen. Wohin die Reise allerdings geht, ist momentan noch nicht absehbar. Welche Infrastrukturanlagen werden in Zukunft für die immer mehr elektrifizierte Fahrzeugflotte benötigt? Werden hier die Besitzer und Betreiber von Strassenanlagen stärker eingebunden? Werden zusätzliche Infrastrukturausbauten notwendig werden, um direkt mit Fahrzeugen zu kommunizieren? Welche Auswirkungen haben autonom fahrende Fahrzeuge auf den Betrieb und Unterhalt von Strassen?

In diesen Bereichen werden wir in den nächsten Jahren Fortschritte sehen; aber die Politik und Gesellschaft werden definieren, welche neuen Aufgaben auf die Betreiber zukommen werden. Aus Sicht der Forschungsstelle wäre dies ebenfalls ein spannendes Thema für weitere Forschungsarbeiten.

10.10 Organisationsformen und Kostenstrukturen

Organisationsformen und Aufgabenbereiche der Infrastrukturbesitzer und -betreiber sind sehr vielfältig. Falls Besitzer und Betreiber nicht zur selben Organisation gehören, können Vorgaben der Besitzer an die Betreiber durchaus kostenrelevant sein. Nicht-durchlässige IT-Systeme führen dazu, dass Synergien nicht optimal genutzt werden können. Die Zuständigkeit und Durchführung der Überwachungsprogramme muss ebenfalls geregelt werden.

Gute bzw. effiziente Organisations- und Zusammenarbeitsformen sind schwierig zu messen und zu quantifizieren und wenn, dann nur über einen längeren Zeitraum. Diverse Organisationsformen sind unterschiedlichen Zwängen unterworfen. Um Einflussfaktoren für die Gemeinkosten abzuschätzen bleibt demnach nur, die Prozesse und Strukturen der Betreiber und Besitzer miteinander zu vergleichen und so effiziente Strukturen herauszuschälen. Allerdings hängen diese Prozesse stark von der zur Verfügung stehenden IT-Infrastruktur ab. Und nicht zuletzt sind Betrieb und Unterhalt auch eng mit der Erhaltungsplanung verknüpft. Eine Untersuchung dieser Strukturen sollte also das Blickfeld öffnen und die gesamte Erhaltungsplanung mitberücksichtigen und so wichtige Erkenntnisse für die Gemeinkosten des betrieblichen Unterhalts liefern.

11 Fazit

Die neuen Kostenmodelle haben nicht nur aktualisierte Kosten gegenüber der aktuell gültigen Norm 2008, sie wurden auch in der Struktur grundlegend überarbeitet. Zwar wurde die grundsätzliche Idee, Basiskosten mit möglichen Zu- und Abschlägen zu versehen, beibehalten, die Einflussfaktoren selbst aber komplett überarbeitet. Statt multiplikativen Einflussgrössen wurden additive Einflussgrössen berechnet. Die Umsetzung in NISTRA wird so ebenfalls problemlos möglich sein.

Die Treffsicherheit des neuen Modells ist deutlich grösser: Einerseits ist die Kostenschätzung dank besseren Datengrundlagen genauer geworden und andererseits ist das Modell nun in der Lage die gesamten in der Praxis auftretenden Kostenbandbreiten abzubilden. Die Abweichungen vom Mittelwert nach oben und unten sind transparent, nachvollziehbar und plausibel. Dies ist gegenüber dem Modell 2008 eine wesentliche Verbesserung.

Durch die Einführung von Strassen inner- und ausserorts wurde gerade für das untergeordnete Netz eine Verbesserung der Möglichkeit zur adäquaten Kostenberechnung erzielt. Durch die Vereinheitlichung der Einflussfaktoren können sowohl für unbeeinflussbare Umgebungsfaktoren wie auch für Produkte Kostenbandbreiten benutzt werden. Für Praktiker sind diese Kostenangaben zentrale Werte für «überdurchschnittliche» bzw. «unterdurchschnittliche» Aufwendungen. Bei Bedarf kann davon abgewichen werden. Diese Kostenbandbreiten stellen gerade für Praktiker eine wesentliche Verbesserung dar.

Der Faktor «Belagstyp» konnte nicht weiter untersucht werden, und auch bei den Kunstbauten sind vermutlich weitere Abhängigkeiten vorhanden, welche hier nicht analysiert werden konnten. Die Forschungsarbeit zeigt aber auch, dass in der Schweiz sehr unterschiedliche Organisationsformen existieren, welche die Kosten für Betrieb und Unterhalt bzw. dessen Erfassung wesentlich beeinflussen können. Diese äusseren, organisatorischen Einflüsse, wie auch die voranschreitende Technisierung und Digitalisierung der Strasseninfrastruktur bleiben die wesentlichen Unbekannten in der Kostenprognose für Betrieb und Unterhalt auf lange Sicht.

Anhänge

I	Kostenmodell.....	72
---	-------------------	----

I Kostenmodell

		HLS/HVS, offene Strecke	Tunnel (und Galerien)	Strassen ausserorts	Strassen innerorts
in CHF/m	Basiskosten	BASISKOSTEN für Strassentyp			
		129.52	278.50	20.99	35.95
Umgebungs- und Belastungsfaktoren in CHF/m	Verkehrsbelastung: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV)	Korrekturfaktor bei Abweichung des DTV von Referenzwert (in Abhängigkeit des Strassentyps)			
		Referenzwert 40'000 Fz/Tag ± 0.27	Referenzwert 40'000 Fz/Tag ± 2.27	Referenzwert 1'500 Fz/Tag ± 0.05	Referenzwert 1'500 Fz/Tag ± 0.10
	Verkehrsbelastung: Schwerverkehrsanteil	Korrekturfaktor bei Abweichung des Schwerverkehrsanteils von einem Referenzwert Referenzwert 6.0% ± 0.29		Zuschlag bei Strassen mit mehr als 100 schweren Fahrzeugen (LKW, Bus etc.) pro Tag Referenzwert 6.0% + 4.00	
	Infrastruktur: Infrastrukturdichte	+ 10.06	Zuschlag für hohe Anteile zusätzlicher Infrastruktur.		+ 23.69
		Abschlag für geringes Ausmass an Infrastruktur.			
		- 7.14			- 4.61
					- 22.58
Infrastruktur: Ausrüstung		+ 41.80 Zuschlag für hohes Ausrüstungslevel (z.B. Sicherheitsstollen).			
Infrastruktur: Tunnelröhren		+ 65.63 Zuschlag für zweite Tunnelröhre (für dritte Tunnelröhre 2x berücksichtigen).			
Infrastruktur: Tunnellänge		Abschlag für kurze Tunnels (< 600 m Länge). - 28.52			
Zu- und Abschläge auf Produkte in CHF/m	Winterdienst	+ 21.49		+ 3.72	+ 5.56
		Zuschlag für aufwändiger, häufiger Winterdienst, erhöhte Lage, viel Niederschlag.			
		Abschlag für Winterdienst mit unterdurchschnittlichem Aufwand, tiefe Lage, wenig Niederschlag.			
		- 9.78		- 6.77	- 1.15
	Grünpflege	+ 12.93		+ 0.83	+ 0.55
		Zuschlag für pflegeintensive Grünanlagen, erschwerte Zugänglichkeit.			
		Abschlag für einfache Grünanlagen.			
		- 8.88		- 2.88	- 2.26
	Reinigung	+ 29.14	+ 49.71	+ 0.98	+ 1.33
		Zuschlag für Zusatzflächen, hoher Service Level, Entwässerungsanlagen.			
	Abschlag für geringer Service Level, keine aufwändigen Zusatzinfrastrukturen und Entwässerungen.				
	- 8.02	- 21.61	- 0.41	- 0.83	
Unterhaltsstrategie	+ 3.13	+ 10.27	+ 0.55	+ 0.31	
	Zuschlag für proaktiver Unterhalt, guter Strassenzustand.				
	Abschlag für reaktiver Unterhalt, unterdurchschnittlicher Strassenzustand.				
	- 2.12	- 1.57	- 1.97	- 2.40	
Energieverbrauch und BSA	+ 93.42	+ 164.03	+ 1.28	+ 5.01	
	Zuschlag für hoher Energieverbrauch, hohe Standards BSA, umfangreiche Telematik.				
	Abschlag für geringen Ausrüstungsgrad, unterdurchschn. Anzahl energieintensiver Installationen.				
	- 7.06	- 108.78	- 1.23	- 2.03	
pro Fzkm und Jahr	Polizeiliche Verkehrsregelung und Überwachung	Anrechnung als Betrag pro 1'000 Fahrzeugkilometer und Jahr (Fzkm = Fahrtleistung motorisierter Verkehr)			
		+ 8.61	-	+ 10.41	+ 28.73

Abb. i Kostenmodell 2018; Mögliche Zu- und Abschläge mit Kostenansätzen

Glossar

Begriff	Bedeutung
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BfS	Bundesamt für Statistik
BSA EES	Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) équipements d'exploitation et de sécurité (EES)
BZ plan de feux	Betriebszustand (BZ) Bezeichnet den Signalisationszustand; beziehungsweise die Anzeigen auf mehreren zusammengehörenden Aktoren.
CEN	Europäisches Komitee für Normung (CEN)
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr in Fahrzeugen pro Tag
DWV	Durchschnittlicher Werktagsverkehr (Durchschnittlicher Verkehr aller Tage von Montag bis Freitag ohne allgemeine Feiertage)
HLS	Hochleistungsstrasse
HVS	Hauptverkehrsstrasse
KLZ	Kantonale Leitzentrale (KLZ) centrale cantonale de gestion du trafic (KLZ)
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
MWST	Mehrwertsteuer
NISTRA	Nachhaltigkeits-Indikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte
RLZ	Regionale Leitzentrale (RLZ) centrale régionale de gestion du trafic (RLZ)
SN	Schweizer Norm (SN)
SSV OSR	Signalisationsverordnung (SSV) Ordonnance sur la signalisation routière (OSR)
VM-CH	Verkehrsmanagement in der Schweiz (VM-CH) <i>gestion du trafic en Suisse (VM-CH)</i>
VMP	Verkehrsmanagementplan (VMP) plan de gestion de trafic (VMP)
VMZ-CH	Verkehrsmanagementzentrale Schweiz (VMZ-CH) centrale nationale suisse de gestion du trafic (VMZ-CH)
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
WTA PMV	Wechseltextanzeige (WTA) panneau à messages variables (PMV)
WWW	Wechselwegweisung (WWW) panneau de direction à indications variables (WWW)

Literaturverzeichnis

- [1] SN 641 820, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Grundnorm, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2006.
- [2] SN 641 820ff, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2004-2007.
- [3] SN 641826, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2008.
- [4] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Faktenblatt 4: Betrieblicher Unterhalt der Nationalstrassen, 2008.
- [5] SN 640 907a, Erhaltungsmanagement - Grundlagen zur Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement EM, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2013.
- [6] SN 640 986, Erhaltungsmanagement in Städten und Gemeinden – Durchschnittlicher jährlicher Mittelbedarf für die Erhaltung von Strassennetzen, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2006.
- [7] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Standardisierte Bewertungsmethode für die Beurteilung von Projekten bzw. Projektbestandteilen mit Hilfe der Kostenwirksamkeitsanalyse, 2000.
- [8] Schweizerischer Bundesrat, Verordnung über Anpassungen des Verordnungsrechts an die Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen, 2007.
- [9] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Strassen und Verkehr - Zahlen und Fakten, 2007.
- [10] R+R Burger und Partner AG, F. Preisig AG, «Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen,» 2008.
- [11] Bundesamt für Statistik (BfS), Längen der National-, Kantons- und Gemeindestrassen, 2017.
- [12] Bundesamt für Statistik, BfS, Strasseninfrastrukturrechnung der Schweiz 2014, Neuchâtel, 2017.
- [13] Müller Chur AG, «Schweizerische Mittelwerte 2003-2010 - Betrieblicher Unterhalt,» 2011.
- [14] Müller Chur AG, «Schweizerische Mittelwerte 2015 - Betrieblicher Unterhalt,» 2016.
- [15] J.-M. Stucki, «Betriebswirtschaftliche Führung der Gebietseinheiten - Benchmarking und Führungsmittel,» 2014.
- [16] Fachorganisation Kommunale Infrastruktur, «Kostenentwicklung 1994 bis 2016 im betrieblichen Strassenunterhalt in Städten,» 2017.

- [17] C. Senn, B. García de Soto, B. T. Adey, S. Caspar und R. Camenzind, «Effizienter Betrieb und Unterhalt der technischen Infrastruktur,» 2016.
- [18] J. Dreyer und A. Herlyn, «Einsparpotenziale im betrieblichen Strassenunterhalt,» Schweizer Gemeinde, 2013.
- [19] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Strassen, 1997.
- [20] G. Heimerl, Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs - Anleitung 1988, sowie Aktualisierung auf den Sach- und Preisstand 1993, München: Bundesminister für Verkehr, 1993.
- [21] Amt für Strassen und Verkehr ASV, Wirtschaftlichkeit bei der Planung von Strassenverkehrsanlagen, Bremen, 2013.
- [22] Statistisches Bundesamt (Destatis), Preisindizes für die Bauwirtschaft, 2017.
- [23] H. Link, «Ein Überblick zu methodischen Fragen der Wegekostenrechnung,» in Konferenz Verkehrsökonomik und -politik, Berlin, 2014.
- [24] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit), «Wegekosten - Externe Kosten,» 2011.
- [25] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit), «Verkehr in Zahlen,» 2011.
- [26] G. Girmscheid, L. Koller, H.-P. Lindenmann, F. Schiffmann, R. Staubli, J. Dreyer, A. Herlyn und L. Frey-Eigenmann, «Prozess- und wirkungsorientiertes Management im betrieblichen Strassenunterhalt,» 2014.
- [27] N. Schröter, «Der Lebenszyklusansatz im Bundesfernstrassenbau,» in Baumanagement und Bauökonomie, Teubner, 2007.
- [28] Ecoplan, «eNISTRA – ein Tool für zwei sich ergänzende Methoden zur Bewertung - Handbuch für die Version eNISTRA 2010.1,» 2010.
- [29] T. Mielecke, C.-A. Graubner und C. Roth, «Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Strasseninfrastruktur,» bast, 2016.
- [30] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Betrieb NS - Allgemein verbindliche Bestimmungen zu den Teilprodukten, 2015.
- [31] Bundesamt für Strassen, ASTRA, «Betrieb NS - Tätigkeitsverzeichnis (ASTRA 86063) v3.02,» 2011.
- [32] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Betrieb NS - Zuordnung von Tätigkeiten zu der Produktgruppe Strasseninfrastruktur, 2011.
- [33] Bundesamt für Strassen, ASTRA - Filiale Thun, Erfassungshandbuch DBU - Dokumentation betrieblicher Unterhalt, 2015.

- [34] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Betrieb NS - Teilprodukt Kleiner baulicher Unterhalt, 2015.
- [35] Bundesamt für Statistik (BfS), Schweizerischer Baupreisindex - Entwicklung der Baupreise, 2017.
- [36] Bundesamt für Statistik (BfS), «LIK, Totalindex auf allen Indexbasen,» 2017. [Online].
- [37] D. C. Montgomery, Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, 2001.
- [38] R. M. Heiberger und B. Holland, Statistical Analysis and Data Display, Springer, 2004.
- [39] W. N. Venables und B. D. Ripley, Modern Applied Statistics with S, Springer, 2002.
- [40] ETH Zürich, «Ermöglichung eines realistischen Benchmarkings des baulichen Unterhalts der Kantonsstrassen (BORMAC),» 2015 bis 2018. [Online]. Available: <http://www.im.ibi.ethz.ch/forschung/forschungsprojekte.html>.
- [41] Bundesamt für Statistik (BfS), «Schweizerischer Baupreisindex - Entwicklung der Baupreise,» 2017. [Online].
- [42] Bundesamt für Statistik (BfS), «Schweizerischer Baupreisindex - Entwicklung der Baupreise Detaillierte Ergebnisse,» 2017. [Online].
- [43] Bundesamt für Strassen, ASTRA, «Schweizerische automatische Verkehrszählung (SASVZ) - Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) 2015 und Verkehrsentwicklung der Motorfahrzeuge 2014/15,» 2017. [Online]. Available: https://www.astra.admin.ch/dam/astra/de/dokumente/abteilung_strassennetzeallgemein/belastungskarte-2015.pdf.download.pdf/Karte%20-%20Belastung%20der%20Nationalstrassen%202015.pdf.
- [44] Bundesamt für Strassen, ASTRA, «Schweizerische automatische Strassenverkehrszählung (SASVZ) 2013 - Durchschnittlicher Tagesverkehr (DTV) der Motorfahrzeuge 2013 mit Anteil der schweren Güterfahrzeuge,» 2017. [Online]. Available: <http://www.portal-stat.admin.ch/sasvz/docs/kx-b-11.03.01-AVZ-2013-01.pdf>. [Zugriff am 8 5 2017].
- [45] Bundesamt für Strassen, ASTRA, «Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen - Jahresbericht 2016,» 2017.
- [46] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Bericht Verkehrsfluss Nationalstrassen - Karte Belastung der Nationalstrasse 2015, 2017.
- [47] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen - Jahresbericht 2012, 2013.
- [48] bfU - Beratungsstelle für Unfallverhütung, SINUS-Report, Bern, 2017.
- [49] S. 741.21, Signalisationsverordnung SSV, 2017.
- [50] M. Einbock, «Die fahrleistungsabhängige LKW-Maut,» DUV, 2007.

- [51] M. Maibach, M. Buck und C. Lieb, «Aktualisierte Schätzung zum schwerverkehrsbedingten Anteil an den Strassenkosten,» Bundesamt für Statistik BfS und Bundesamt für Raumentwicklung ARE, 2013.
- [52] P. Giselbrecht, «Roadpricing in Österreich,» Diplomica Verlag, 2006.
- [53] Bundesamt für Strassen, ASTRA, «Lüftung der Strassentunnel – Systemwahl, Dimensionierung und Ausstattung,» 2008.
- [54] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Strassenverkehrsunfall-Statistik 2016, 2017.
- [55] A. Lingg, Finanzierung von Infrastrukturanlagen durch die öffentliche Hand, Bern, 2016.
- [56] Bundesamt für Umwelt BAFU, Wiederbeschaffungswert der Umweltinfrastruktur - Umfassender Überblick für die Schweiz, 2009.
- [57] J. Dreyer und R. Staubli, «Unterhalt und Betrieb von lärmarmen Belägen,» Strasse und Verkehr, Nr. 1-2, Januar-Februar 2013.
- [58] V. Gnehm, Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen, 2008.
- [59] Bundesamt für Strassen, ASTRA, NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte - Methodenbericht, 2003.
- [60] SN 641 821, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Diskontsatz, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2006.
- [61] SN 640 925b, Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF) - Zustandserhebung und Indexbewertung, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2003.
- [62] SN 640 904, Gesamtbewertung von Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen; Substanz und Gebrauchswerte, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2003.
- [63] A. Weninger-Vycudil, J. Litzka, R. Veit-Egerer, M. Buchta, P. Maurer und P. Furtner, Bauliche Erhaltung kommunaler Strassen, 2015.
- [64] oanda, Währungsrechner, 2017.
- [65] Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, Neuchâtel, 2017.

Projektabschluss

Formular 3 ARAMIS SBT:



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

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 12.03.2018 / 15.05.2018

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2015 / 112
 Projekttitel: Grundlagen zur Aktualisierung SN 641 826 – Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen
 Enddatum: 30.06.2018

Texte

Zusammenfassung der Projektresultate:

Die Normenreihe SN 641 820ff «Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr» zeigt auf, welche Kriterien bei der Analyse verschiedener Projekte oder Projektvarianten in einer Kosten-Nutzen-Analyse zu bewerten sind. Dazu gehören auch die Kosten für den Betrieb und Unterhalt der Infrastruktur. Diese wurden mit der Norm SN 641 826 «Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen» im Jahr 2008 veröffentlicht und reflektierten den damaligen Wissensstand. Die Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung (NFA) hat die Organisationsstrukturen bei Bund und Kanton grundlegend geändert. Anwendungserfahrungen und die Auswirkungen der NFA legen nun eine Überprüfung und Aktualisierung der Kosten von Betrieb und Unterhalt nahe. Das neue Kostenmodell gliedert sich in die Strassentypen «Hochleistungsstrassen», «Strassen ausserorts» und «Strassen innerorts» sowie «Tunnelstrecken». Jeder dieser Strassentypen hat seinen eigenen Basiskostenansatz. Mittels Umgebungs- und Belastungsfaktoren, sowie Zu- und Abschlägen auf einzelne Produkte auf Grund des vorhandenen bzw. geplanten Services, werden diese Basiskosten an den explizit zu bewertenden Strassenabschnitt angepasst. Das Wertgerüst zur Prognose der anfallenden Kosten des Betriebs und Unterhalts eignet sich zur Bewertung von Planungs- und Referenzfällen im Kontext des Infrastrukturmanagements. Durch die verbreitete Digitalisierung und den einfacheren Zugang zu Datengrundlagen wurden nicht nur die Kosten aktualisiert, sondern auch Anwendung und Treffsicherheit der Kostenschätzungen verbessert. Insbesondere im Bereich der Stadt- und Gemeindestrassennetze wurden dank detaillierten Datengrundlagen Verbesserungen gegenüber der bestehenden Norm erzielt. Seit der Veröffentlichung der Norm vor über 10 Jahren haben auch die Betriebs- und Sicherheitsanlagen (BSA) weiter an Bedeutung gewonnen und wurden bei der Aktualisierung der Kostensätze entsprechend berücksichtigt. Die neuen Kostenmodelle beinhalten nicht nur aktualisierte Kosten gegenüber der bisherigen Norm 2008, sie werden auch in der Struktur grundlegend überarbeitet. Die grundsätzliche Idee – nämlich die Verwendung von Basiskosten, die durch Zu- und Abschläge präzisiert werden – wird beibehalten. Die dazugehörigen Einflussfaktoren wurden tiefgreifend überarbeitet und fliessen neu als additive statt multiplikative Grössen ins Kostenberechnungsmodell ein. Die Vereinheitlichung der Einflussfaktoren verbessert die Übersicht, während die Zu- und Abschläge zu Kostenbandbreiten führen. Für die Praxis sind somit drei zentrale Werte für jeweils «durchschnittliche», «überdurchschnittliche» und «unterdurchschnittliche» Aufwendungen verfügbar. Bei Bedarf kann davon abgewichen werden, falls im konkreten Einzelfall Anlass zu einer Anpassung dieser Kosten besteht. Gegenüber der bisherigen Norm 2008 und ihren Kostensätzen werden die Kosten für die einzelnen Tätigkeitsbereiche transparenter. Zudem ist der neue Ansatz flexibler, denn er berücksichtigt, dass sich Einflussfaktoren sowie Umgebungs- und Betriebsbedingungen während des Betrachtungszeitraums verändern können – beispielsweise durch Verkehrszunahmen, Zustand der Infrastruktur oder weiteren Ausbauten der Infrastruktur und Kommunikation zwischen Betreibern und Nutzern.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die neuen Kostenmodelle können mit geringen Aufwand in die Nistra-Berechnungsmethodik integriert werden. Gegenüber der bestehenden Norm sind die Kostenmodelle vor allem auf Grund der Bandbreiten, die durch die Zu- und Abschläge entstehen, treffsicherer. Neu wird der Schwerverkehrsanteil und die umfangreicheren BSA-Anlagen (nicht nur in den Tunnels) als eigenständige Einflussfaktoren berücksichtigt. Ebenfalls neu wird im untergeordneten Strassennetz zwischen Strassen ausser- und innerorts unterschieden. Die Kosten für die polizeiliche Verkehrsregelung und -überwachung wurden ebenfalls überarbeitet. Trends und Kostenprognosen wurden ebenfalls angepasst. All dies wird die Qualität zukünftiger Analysen und die Anwendbarkeit für Praktiker erhöhen.

Von den untersuchten Einflussfaktoren wurden einige direkt als Kostentreiber identifiziert, andere als statistisch nicht belastbar wieder verworfen und dritte in aggregierten Faktoren zusammengefasst. Allerdings muss angefügt werden, dass Betrieb und Unterhalt bei umfangreichen Neubauvorhaben, wie sie mit Nistra bewertet werden, nur eine geringfügige Rolle spielen. Hingegen spielen die Kosten von Betrieb und Unterhalt bei ähnlichen Varianten oder Lebenszykluskostenbetrachtungen im Erhaltungsmanagement eine Rolle.

Folgerungen und Empfehlungen:

- Aspekte der umfassend digitalisierten Infrastruktur oder Konzepte wie «Smart Maintenance» sind weder in den Kosten noch den Prognosetrends des vorliegenden Forschungsberichts enthalten. Wie wird die zukünftige weitere Technologisierung der Infrastruktur und Mobilität die Kosten für Betrieb und Unterhalt beeinflussen?
- Belagstyp: Offenporige Beläge müssen häufiger gereinigt werden, damit sie ihre lärmabsorbierende Wirkung erhalten. Der Verschleiss offenporiger Beläge ist grösser und die Reparaturarbeiten aufwändiger. In zukünftigen Forschungsarbeiten sollen Zusammenhänge zwischen den Kosten von Betrieb und Unterhalt einerseits und dem Belagstyp andererseits untersucht werden - für alle Strassentypen.
- Zukünftiger Strassenbetrieb: Die individuelle Mobilität wird zweifelsohne in den nächsten Jahren erheblichen Veränderungen unterworfen. Welche Infrastrukturanlagen werden in Zukunft für die immer mehr elektrifizierte Fahrzeugflotte benötigt? Werden zusätzliche Infrastrukturausbauten notwendig werden, um direkt mit Fahrzeugen zu kommunizieren? Welche Auswirkungen haben autonom fahrende Fahrzeuge auf den Betrieb von Strassen?
- Die Forschungsarbeit hat nicht nur einen unmittelbaren Einfluss auf die Norm SN 641 826, sondern beinhaltet auch Grundlagen, die für Normaktualisierungen im Bereich des Erhaltungsmanagements nützlich sein können. Eine Aktualisierung der Forschungsergebnisse und der dazugehörigen Norm SN 641 826 scheint in 5-10 Jahren angebracht.

Publikationen:

VSS-Forschungsbericht
Norm SN 641 826, Aktualisierung folgt 2018
Anpassungen in NISTRA

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Herrmann

Vorname: Thomas

Amt, Firma, Institut: R+R Burger und Partner AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

T. Herrmann

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Der Bericht widerspiegelt die Notwendigkeit der Überarbeitung/Aktualisierung der best. Norm SN 641 826, dies als Folge der Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung (NFA), wo sich die Organisationsstrukturen bei Bund und Kanton grundlegend geändert haben.

Umsetzung:

Auswertung von neuen bzw. aktuellen Datengrundlagen unter Berücksichtigung der Inputs der Begleitkommission.

weitergehender Forschungsbedarf:

Gemäss Kapitel 10 des Berichtes

Einfluss auf Normenwerk:

Notwendige Aktualisierung der best. Norm

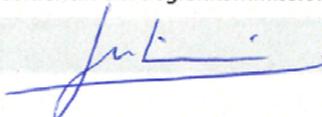
Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Julia

Vorname: Pablo

Amt, Firma, Institut: Bundesamt für Strassen ASTRA

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter www.astra.admin.ch (*Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.