

Bewertung des Nutzens von Erhaltungsmaßnahmen

Das Projekt «Gesamtnutzen – Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmaßnahmen» liefert die Grundlagen zur Beurteilung des wirtschaftlichen Nutzens typischer Unterhaltungsmaßnahmen im Strassennetz und leitet Aussagen über das Nutzen-Kosten-Verhältnis ab.

Von **Thomas Herrmann, Bryan Adey, Nadine Schindele, Jost Lüking und Rade Hajdin** *

In Zukunft ist davon auszugehen, dass Unterhaltungsmaßnahmen an der Strasseninfrastruktur häufiger und mit höherem Aufwand durchgeführt werden müssen – nicht zuletzt auf Grund des stetig dichter werdenden Strassennetzes und des weiter wachsenden Verkehrsaufkommens. Die Strassenbetreiber müssen dabei stets die Verkehrssicherheit auf ihren Strassenanlagen gewährleisten können und den Verkehrsteilnehmern ein adäquates Leistungsniveau zusichern. Bei der Planung und Durchführung von Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten stellen sich deshalb zwei zentrale Fragen: Wer zieht welchen Nutzen aus Erhaltungsmaßnahmen? Wie hoch wird der Nutzen eingeschätzt?

Die Strassenbetreiber sind bestrebt, eine optimale Erhaltungsstrategie umzusetzen. Auf eine Erhaltungsmaßnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt zu verzichten, kann bedeuten, dass später umfangreichere und teurere Massnahmen nötig werden, um den angestrebten Strassenzustand wiederherzustellen. Der Hauptnutzen einer rechtzeitig ausgeführten Erhaltungsmaßnahme besteht folglich in der Vermeidung von zusätzlichen und kostenintensiveren Massnahmen in der Zukunft und somit in der Vermeidung unnötiger Kosten bzw. Nutzungseinbussen. Insgesamt können Nutzen und Kosten drei verschiedenen Kostenträgern (Nutzergruppen) zugeteilt werden. Die erste Gruppe bilden die «Strassenbetreiber» bzw. «Strasseneigentümer». Die zweite Gruppe umfasst die «Verkehrsteilnehmer», während die «Gesellschaft» eine dritte Gruppe von Nutznießern darstellt. Innerhalb dieser drei Gruppen lassen sich die Nutzen und Kosten weiter unterscheiden (siehe Abb. 1).

Kostenträger	Nutzen	Verringerung von
Betreiber	Geringere Unterhalts- und Erhaltungskosten	Kosten des betrieblichen Unterhalts/ Erhaltungsmassnahmen: Personal- und Materialkosten (Rohstoffe, Baustoffe)
Verkehrsteilnehmer	Verminderte Reisezeitkosten	Unproduktive Zeit (Steigerung effektiver Arbeits- und Freizeit)
	Geringere Fahrzeugbetriebskosten (FBK)	Kosten des Fahrzeugunterhalts: Personal- und Materialkosten (Reifen, Bremsen, Treibstoff, usw.)
	Besserer Fahrkomfort	Körperliche und mentale Beschwerden
Gesellschaft	Weniger Unfallkosten	Sachschäden, Personenschäden und Todesfälle durch Reduzierung von Unfallhäufigkeiten bzw. Verminderung der Konsequenzen im Schadenfall
		Lärm
	Geringere Umweltkosten	Luftverschmutzung Klima (CO ₂ -Emissionen)

1: Übersicht über die Nutznießer und Nutzen von Fahrbahnerhaltungsmaßnahmen.

1: Vue d'ensemble des bénéficiaires et des avantages des mesures d'entretien des chaussées.

* **Thomas Herrmann, Dr. sc. ETH, R+R Burger und Partner AG, Baden**

* **Bryan Adey, Dr. sc. tech. EPFL, IMC GmbH, Zürich**

* **Nadine Schindele, dipl. Ing. Raum- und Umweltplanung, R+R Burger und Partner AG, Baden**

* **Jost Lüking, Dr. rer. pol., R+R Burger und Partner AG, Baden**

* **Rade Hajdin, Dr. sc. techn. ETH., IMC GmbH, Zürich**

Evaluation des avantages des mesures d'entretien

Le projet «avantage global – coûts/avantages des mesures d'entretien standardisées» livre les données de base pour l'appréciation du bénéfice économique des mesures d'entretien typiques du réseau routier et fait part des constatations sur le rapport des coûts-avantages qui en découlent.

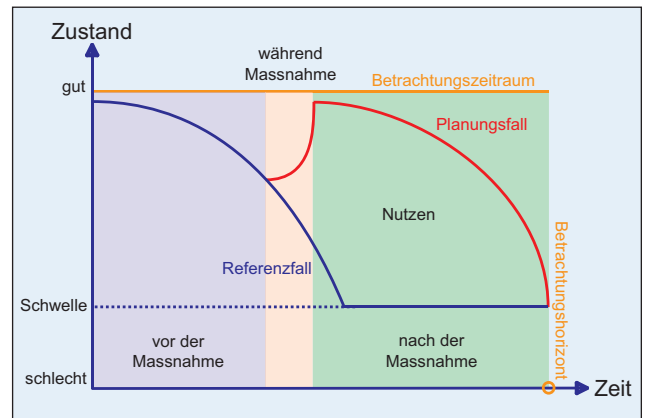
Ziele und Rahmenbedingungen

Das Ziel dieser Studie war, Grundlagen für die Bestimmung des monetären Gesamtnutzens von Erhaltungsmassnahmen zu erarbeiten. Damit wird das Fundament zur Bewertung von Erhaltungsstrategien gelegt. Eine etablierte Methode zur Bestimmung von Kosten und Nutzen ist die Kosten-Nutzen-Analyse [1]. Dabei beschreibt ein Mengengerüst die Veränderung einer physikalischen Einheit (z. B. «Benzinverbrauch: x Liter»), während das Wertgerüst die Kostensätze zur monetären Bewertung dieser physikalischen Grössen umfasst (z. B. «y Franken pro Liter Benzin»).

Für die Bewertung von Erhaltungsmassnahmen und -strategien werden funktionale Abhängigkeiten zwischen dem Fahrbahnzustand und dem Mengengerüst bestimmt – zum Beispiel welche Bedeutung eine Griffriktveränderung eines Fahrbahnbelags für die Unfallhäufigkeit hat. Dabei wird der Strassenzustand durch die Eigenschaften Oberflächenschäden (Zustandsindex I_0 bzw. I_1), Ebenheit in Längs- und Querrichtung (I_2 und I_3), Griffigkeit (I_4) und Tragfähigkeit (I_5) charakterisiert. Für die Quantifizierung der funktionalen Abhängigkeiten wurden Analysen und Resultate aus diversen internationalen Studienarbeiten verwertet und so «Best-Guess»-Modelle erarbeitet.

Planungs- und Referenzfall

Um die Wirkung und den Nutzen einer Erhaltungsmassnahme beurteilen zu können, müssen Planungs- und Referenzfall einander gegenübergestellt werden. Ein Referenzfall kann zum Beispiel eine Situation zeigen, in der die Strassenerhaltung auf diejenigen Massnahmen beschränkt wird, die für eine Nutzung unbedingt erforderlich



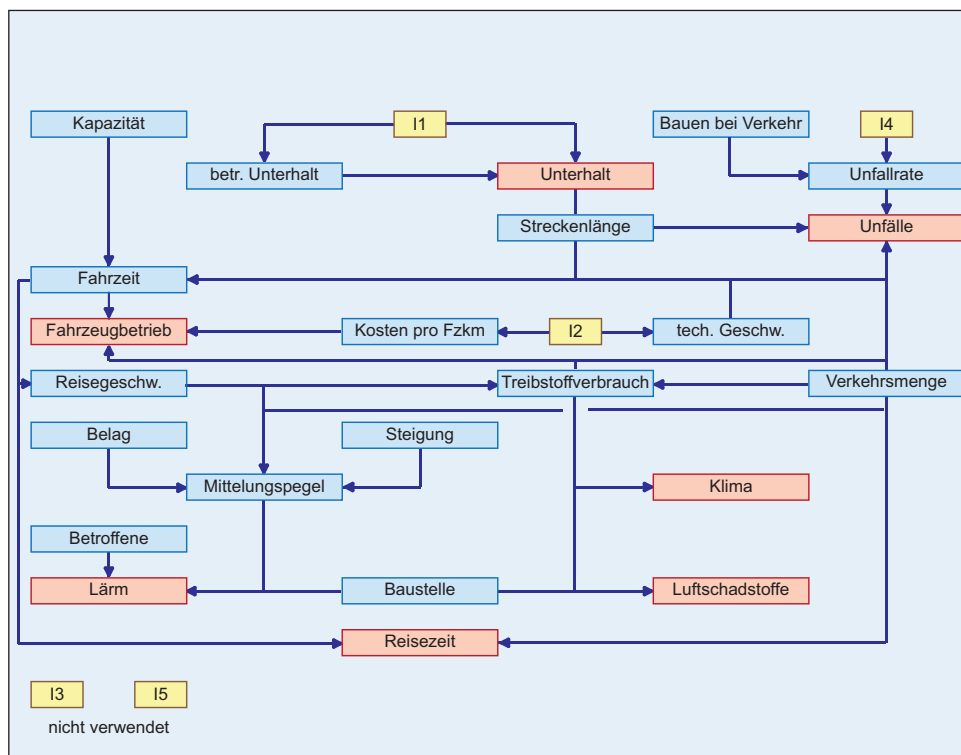
2: Schematische Darstellung des Unterschieds zwischen Planungs- und Referenzfall.

2: Présentation schématique de la différence entre les cas de planification et de référence.

sind (z. B. Risse ausgiessen oder Flächen flicken). Diese Massnahmen gewährleisten nur die Mindesttauglichkeit der Strassenanlage (siehe Abb. 2). Der Planungsfall unterscheidet sich vom Referenzfall in der Hinsicht, dass eine aufwendigere und kurzfristig kostenintensivere Massnahme zeitlich deutlich vor dem Erreichen des Schwellenwerts der Mindesttauglichkeit stattfindet. Damit wird der verbesserte Zustand der Fahrbahn früher erreicht, und eine hohe Qualität der Fahrbahn kann länger aufrecht erhalten werden.

Berechnung des Gesamtnutzens von Fahrbahnerhaltungsmassnahmen

Die Zusammenhänge aller Bewertungstatbestände (ausser «Fahrkomfort») sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Beispielsweise hängen die Unfallkosten von



3: Übersicht über die Berechnung des Gesamtnutzens von Fahrbahnerhaltungsmassnahmen.

3: Vue d'ensemble du calcul de l'avantage global des mesures d'entretien des chaussées.

den Unfallraten und diese wiederum von der Griffigkeit (I_4) ab, womit ein funktionaler Zusammenhang zwischen Fahrbahnzustand und Unfallkosten besteht.

Nutzen für Strassenbetreiber

Damit der Strassenbetreiber die nach einer Unterhaltungs-massnahme möglichen Einsparungen abschätzen kann, sind die Zusammenhänge zwischen Fahrbahnzustand und den Ausgaben für Unterhaltungs-massnahmen zentral. Der Verschleiss der Fahrbahn hängt wesentlich vom Verkehrsaufkommen und der Belastung, insbesondere dem Schwerverkehrsanteil, ab. In der Schweiz fehlen heute verlässliche Daten, die den Unterhaltsaufwand in Zusammenhang mit der Strassenqualität stellen [2], weshalb ein vereinfachtes Modell entwickelt wurde.

Die Kosten K_u für die Unterhaltungs-massnahmen werden durch drei Kostenfaktoren bestimmt: (i) Normalisierte Kosten in Abhängigkeit des Oberflächenschadensindex I_1 , (ii) durchschnittliche Kosten \bar{K} (abhängig von Strassenlänge und Kategorie der Strassenanlage) und (iii) zusätzliche Kosten K_w bei sehr schlechtem Strassenzustand (I_1 über einem gewissen Schwellenwert).

Die Kosten der Unterhaltungs-massnahmen bei Strassen in sehr gutem Zustand ($0 \leq I_1 \leq 1$) sind konstant und auf tiefem Niveau, z. B. $\frac{1}{2}$ der durchschnittlichen Kosten \bar{K} , die je nach Strassenkategorie zwischen 3500 CHF/km und 5000 CHF/km liegen. Für Strassen in gutem und ausreichendem Zustand ($1 \leq I_1 \leq 3$) steigen die Kosten linear mit der Verschlechterung des Strassenzustands und erreichen bei $I_1 = 3$ \bar{K} . Für Strassen in äusserst schlechtem Strassenzustand ($I_1 = 5$) können die Kosten aus Erfahrung bis zu 10-mal höher ausfallen als für Strassen in ausreichendem Zustand ($I_1 = 3$) [2]. Dabei wird für $3 \leq I_1 \leq 5$ von einem quadratischen Zusammenhang zwischen Zustand und Kosten der Unterhaltungs-massnahmen ausgegangen. Dies berücksichtigt den Tatbestand, dass eine weitere Verschlechterung in diesem Bereich zu überproportionalen Kosten führt.

Das Unterlassen jeglicher Unterhalts- und Erhaltungs-massnahmen ist nicht tolerierbar, da der Strasseneigentümer für Sicherheit und Nutzbarkeit der Strasse verantwortlich ist. Ab einem gewissen Schwellenwert (kritischer Zustand) müssen Erhaltungs-massnahmen mit Unterhaltscharakter erfolgen, weshalb bei diesen Strassen ($I_1 \geq 4,5$) zusätzliche Kosten K_w anfallen. Diese Zusatzinvestitionen betragen je nach Strassentyp zwischen 30 000 CHF/km und 200 000 CHF/km und sollen eine weitere Verschlechterung des Strassenzustands verhindern und die Sicherheit gewährleisten [3].

Nutzen für die Verkehrsteilnehmer

Die Reisezeit hängt wesentlich von der gefahrenen Geschwindigkeit ab. Ein Fahrzeuglenker ist (meistens) mit der maximal erlaubten Geschwindigkeit unterwegs, es sei denn, die äusseren Umstände (Verkehrsaufkommen, Strassenzustand usw.) verlangen eine Anpassung der Geschwindigkeit. Eine Anpassung der Maximalgeschwindigkeit auf Grund des Strassenzustands erfolgt, sobald ein bestimmtes Zustandsniveau unterschritten wird, und ist umso grösser, je schlechter der Zustand der Strasse ist. Dabei werden in der Literatur die «Unebenheiten in Längsrichtung» (Zustandsindex I_2) als ausschlaggebender Faktor für die Anpassung der Geschwindigkeit an die Strassenverhältnisse beschrieben. Allerdings wird die Geschwindigkeit nicht nur vom Strassenzustand beein-



**Bevor Sie kalte
Füsse kriegen . . .**

flusst, sondern auch durch das Verkehrsaufkommen und die Kapazität der Strassenanlage [4, 5].

Die Ermittlung der Fahrzeugbetriebskosten setzt sich aus drei Teilen zusammen: (i) Treibstoffkosten (geschwindigkeits- und zustandsabhängig), (ii) Fixkosten (fahrzeitabhängig) und (iii) variable Fahrleistungskosten (kilometerabhängig). Die Fixkosten werden durch den Strassenzustand mittels der Fahrzeit, welche anhand der Geschwindigkeit berechnet wird und somit von I_2 abhängig ist, beeinflusst. Der Strassenzustand bewirkt direkt sowohl eine Anpassung der Fahrleistungskosten (Reifenverschleiss, Stossdämpfer, Schmiermittel usw.), als auch der Treibstoffkosten, welche zusätzlich durch die gefahrene Geschwindigkeit beeinflusst werden [6, 7, 8, 9].

Die Unfallraten und somit die Unfallkosten – getragen durch Verkehrsteilnehmer und die Gesellschaft – werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst, unter anderem von der Griffigkeit (I_4). Das Modell zur Berechnung der Anzahl Unfälle pro Kilometer und Tag – und damit der Sach- und Personenschäden – geht davon aus, dass Verkehrsaufkommen, Strassenkategorie, Griffigkeit und Baustellenorganisation (höhere Unfallraten bei «Bauen unter Verkehr») die Unfallraten beeinflussen [10]. Dabei werden die mittleren Raten (z. B. 0,16 verletzte Personen pro 1 Mio. Fahrzeugkilometer auf Autobahnen) durch einen von der Griffigkeit abhängenden Faktor nach unten bzw. oben korrigiert.

Nutzen der Gesellschaft

Die Gesellschaft trägt sowohl einen Teil der Unfallkosten als auch alle externen Kosten. Der Strassenverkehrslärm betrifft besonders Wohn- und Bürogebäude an Hauptverkehrsachsen, was zu Wertminderung von Gebäuden (Einbussen von Verkaufspreisen und Mieteinnahmen), Produktivitätseinbussen, verminderter Leistungsfähigkeit und gesundheitlichen Problemen bei den Betroffenen führt. Strassenverkehrslärm entsteht durch Motoren- und Rollgeräusche. Motorengeräusche (Antriebsgeräusche) hängen vom Fahrzeug (Motorisierung), der Geschwindigkeit und der Strassensteigung, Rollgeräusche wesentlich von der gefahrenen Geschwindigkeit und dem Strassenbelag ab. Durch die Abhängigkeit des Lärms von der Geschwindigkeit ist wiederum ein indirekter Zusammenhang zwischen Strassenzustand und Lärmemissionen gegeben [11].

Luftschadstoffe (Feinstaubpartikel PM_{10}) und Treibhausgase (CO_2) entstehen bei der Verbrennung der Treibstoffe und durch Abrieb und Aufwirbelung (nur Feinstaub). Unter der Annahme, dass Abrieb und Aufwirbelung von Feinstaubpartikeln unabhängig vom Strassenzustand sind, lassen sich die Emissionen aus dem Treibstoffverbrauch ableiten, womit ein funktionaler Zusammenhang zwischen Strassenzustand, Luftschadstoffen und Treibhausgasen besteht. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass Luftschadstoffe und Treibhausgase nicht nur durch den Strassenverkehr, sondern während der Erhaltungsmassnahme auch durch die Baustelle verursacht werden [12].

Fazit

Die Forschungsarbeit ist die erste Untersuchung in der Schweiz, die den monetären Nutzen von Erhaltungsmassnahmen (teilweise auch Unterhaltungsmassnahmen) eingehend analysiert. Viele funktionale Zusammenhänge zwi-

schen Strassenzustand und Kosten bzw. Nutzen konnten aufgezeigt und auf schweizerische Verhältnisse übertragen werden. Allerdings besteht weiterer Quantifizierungsbedarf, da in der vorliegenden Arbeit die Lücken nur mit Hilfe ausländischer Studien und teilweise mit begründeten Annahmen geschlossen werden konnten. Umfassende Schweizer Studien bezüglich des Zusammenhangs zwischen Kosten, Nutzen und Strassenzustand würden die vorhandene Arbeit ergänzen.

Bei der Erstellung der Modelle wurde darauf geachtet, dass die funktionalen Zusammenhänge zwischen Strassenzustand und Kosten- bzw. Nutzenfaktor und das Wertgerüst getrennt sind. Somit ist in Zukunft gewährleistet, dass neue Erkenntnisse im Mengen- oder Wertgerüst einfach aufgenommen werden können, ohne dass die Methodik grundlegend angepasst werden muss. Die Modelle können auch ausserhalb einer Kosten-Nutzen-Analyse bzw. mit anderen Bewertungsansätzen verwendet werden. ■

Literaturverzeichnis

- [1] SN 641 820ff. Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, Fachkommission 2, Planung und Projektierung. 2004–2008.
- [2] Hufschmid, W. Zustand der Kantonsstrassen gibt zu Besorgnis Anlass. *Strasse und Verkehr*. Januar 2002.
- [3] Bürgi, M. Grundmodell Werterhaltung. *Strasse und Verkehr*. Oktober 2002.
- [4] Bennett, Ch. R. und Greenwood, I.D. Modelling Road User and Environmental Effects in HDM-4. *Highway Development & Management. The Highway Development and Management Series. Bd. 7. Birmingham, 2001.*
- [5] Lee, Ch. and Machemehl, R. Combined Traffic Signal Control and Traffic Assignment: Algorithms, Implementation and Numerical Results. Center for Transportation Research, University of Texas. 2005.
- [6] Pichler, W.: Entscheidungsmodell für die Wahl der Oberbaukonstruktion im Strassenbau. Dissertation an der TU Graz, 1981.
- [7] Pischner, T. Ansätze zur intermodalen Wirkungsanalyse und Bewertung auf Grundlage der Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen (EWS) und der Standardisierten Bewertung von Verkehrsweginvestitionen des öffentlichen Personalverkehrs. *Strassenverkehrstechnik*. 2000.
- [8] Land Transport New Zealand. *Economic Evaluation Manual, Bd. 1. 2006.*
- [9] Oefner, G. Handbuch für die wirtschaftliche Vergleichsrechnung im Management der Strassenerhaltung – Baulastträger und Nutzerkosten. *Informationen Verkehrsplanung und Strassenwesen. Bd. 27. Universität der Bundeswehr. München Neubiberg, 1988.*
- [10] Stütze, T. Volkswirtschaftlich gerechtfertigte Interventionswerte für die Erhaltung von Bundesautobahnen. Dissertation an der TU Berlin, 2004.
- [11] EMPA. Bericht zum F+E-Projekt «Neues EMPA-Modell für Strassenlärm». 1997.
- [12] Keller, M. und Zbinden, R. Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980–2030. *Schriftenreihe Umwelt. Nr. 355. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern, 2004.*