

Genügender und effizienter Straßenunterhalt! Wie kann man es wissen?

Craig RICHMOND, Clemens KIELHAUSER, Bryan T. ADEY

Konferenz „Verkehrsökonomik und -politik“; Berlin, 26. und 27. Juni 2014

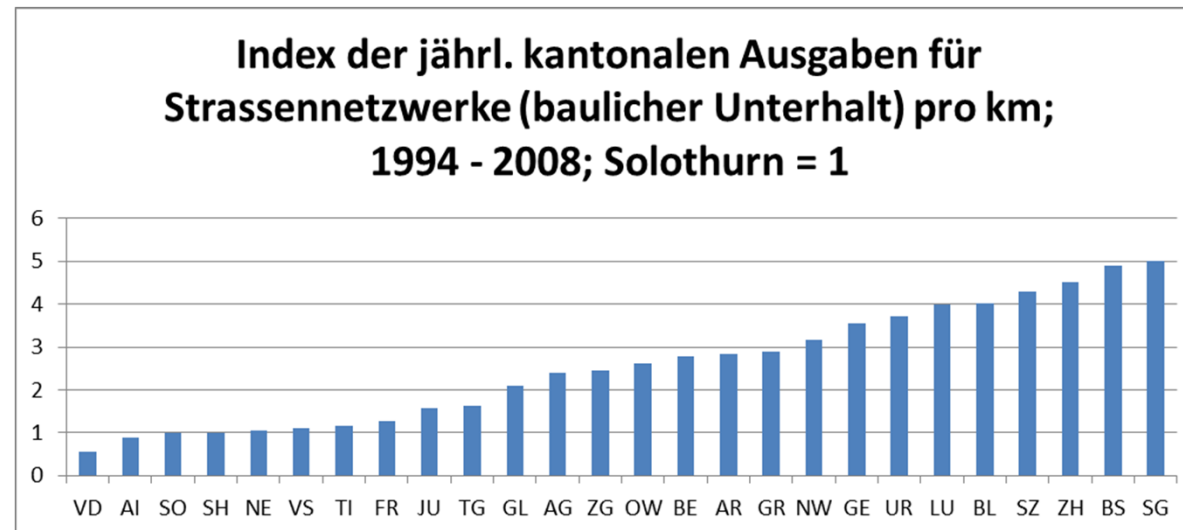


Infrastrukturmanagementgruppe (Prof. Bryan Adey) am Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement

- **Auftrag:** Infrastrukturmanagement zu verbessern durch Führen und Lenken innovativer Forschung, die in der Bereitstellung von Rahmenwerken, Methodiken, Modellen und Hilfsmitteln mündet.
- Unsere gesamte Forschung spiegelt die Sichtweise des Infrastrukturmanagers wider und ist in drei Zweige unterteilt:
 - Voraussage – Einschätzung der künftigen Entwicklung
 - Entscheidungsfindung – Ermittlung optimaler Strategien und Projekte
 - **Implementierung** – Inkraftsetzung optimaler Strategien
- Implementierung über **Performanceindikatoren**

Einführung – Problemstellung

- Der Straßenunterhalt kostet viel, ist auch viel wert
- Falsch wäre
 - Zu wenig >> Verlottern
 - Zu viel >> Verschleudern
- Lässt sich ein vergleichbarer Benchmark berechnen?
- Der von den Straßenverwaltern akzeptiert wird?



Projekt: Key Performance Indicators für die kantonale Straßenverwaltung

- Ziel war nur die Analyse des Potentials für Benchmarks
 - Daten
 - Messmöglichkeiten
- Wir profitierten durch die Unterstützung durch den Fachverband Infra

- Fünf Kantone beteiligten sich tatkräftig

Es gibt eine Vielzahl möglicher akademischer Ansätze für Benchmarking, wir übernehmen Elemente aus vier davon

1. Business Science

- Gibt den Gesamtrahmen
- Kaplan und Norton (1992)
- Ähnlich Balanced Scorecard
- Vielzahl an Masszahlen

2. Pavement-Engineering Produktionsfunktion

- Belagsverhaltensfunktion
- Sathaye & Madanat (2012), Santos & Ferreira (2013)
- Keine 'flexiblen Funktionsformen'

3. 'Duration' Ansatz

$$\frac{1}{T}$$

- Kosten aus Netzwerksicht
- Newbery (1986), Lindberg (2002)
- Schlüsselrolle der Zeit bis zur Erneuerung: T
- T von der Belagsverhaltensfunktion

4. Parametrisches Vorgehen

- Schätzung der fehlenden Kostenfaktoren für Erschwernisse
- Aber mit Industriespezifischen Funktionsformen
- Noch nicht verwirklicht

Grundform

Totale Kosten =

$$\frac{\text{Netzwerkfläche}}{T(\text{Dimensionierung, Benutzung, Erschwernis, Strategie})} \times \text{Einheitspreis}(\text{Dimensionierung, Erschwernis})$$

Konzeptionell in Symbolen

$$TC = \sum_i \frac{A_i}{T_i} p_i = \sum_i \tilde{A}_i p_i$$

Wieviel Quadratmeter pro Jahr, zu welchem Preis, je nach lokalen Umständen.

Wir wissen eigentlich sehr viel über Belagsverhalten. Nutzen wir es in der Spezifikation der Kostenfunktion!

- AASHTO Straßendimensionierungsgleichung (Santos 2013)

$$\begin{aligned}
 & \overset{\uparrow 1}{PSI_t} = PSI_0 - (4.2 - 1.5) \\
 & \times 10 \left[\underset{\uparrow 3}{(\log_{10}(W_{80_t}) - Z_R \times S_0 - 9.36 \times \log_{10}(\underset{\uparrow 2}{SN_t + 1}) + 0.2 - 2.32 \times \log_{10}(\underset{\uparrow 4}{M_R}) + 8.07)} \times \left(0.4 + \frac{1094}{(SN_t + 1)^{5.19}} \right) \right]
 \end{aligned}$$

- Enthält verschiedene Klassen von Variablen
 1. Die Veränderung des Straßenzustands ist eine Funktion von:
 2. Straßendimensionierung
 3. Sollbelastung
 4. Zerfallsbeeinflussende Erschwernisfaktoren
- Umkehren für die Sollbelastung >>>> $T(\Delta PSI, SN, W_{80}, M_R)$

Die gleichen Schritte wie in Intermediate Micro-Economics

- Beispiel für Cobb-Douglas aus Varian (1982)

Example 1.10 Cost Function of the Generalized Cobb-Douglas Technology

$$c(w, y) = \min_{x_1, x_2} w_1 x_1 + w_2 x_2$$

$$\text{s.t. } Ax_1^a x_2^b = y$$

This is equivalent to:

$$\min_{x_1} w_1 x_1 + w_2 A^{-\frac{1}{b}} y^{\frac{1}{b}} x_1^{-\frac{a}{b}}$$

The first-order condition is:

$$w_1 - \frac{a}{b} w_2 A^{-\frac{1}{b}} y^{\frac{1}{b}} x_1^{-\frac{a+b}{b}} = 0$$

which gives us the conditional demand function for factor 1:

$$x_1(w_1, w_2, y) = A^{-\frac{1}{a+b}} \left[\frac{aw_2}{bw_1} \right]^{\frac{b}{a+b}} y^{\frac{1}{a+b}}$$

The other conditional demand function is:

$$x_2(w_1, w_2, y) = A^{-\frac{1}{a+b}} \left[\frac{aw_2}{bw_1} \right]^{-\frac{a}{a+b}} y^{\frac{1}{a+b}}$$

The cost function is:

$$c(w_1, w_2, y) = w_1 x_1(w_1, w_2, y) + w_2 x_2(w_1, w_2, y) =$$

$$A^{-\frac{1}{a+b}} \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{\frac{b}{a+b}} + \left(\frac{a}{b} \right)^{-\frac{a}{a+b}} \right] w_1^{\frac{a}{a+b}} w_2^{\frac{b}{a+b}} y^{\frac{1}{a+b}}$$

Das Konzept des Vorgehens (ohne Details) ist

- Aus
$$\underset{x}{\text{Min}} TC = \tilde{A}(\hat{S}, \mathbf{u}, \mathbf{x}, \mathbf{z}, T) \sum_l p_l x_l \quad \text{bei gegebenem } \mathbf{p}, \mathbf{u}, \mathbf{z}$$

$$\text{s.t. } \hat{S}(\mathbf{u}, \mathbf{x}, \mathbf{z}, T) \geq \hat{S}^*$$

- Ergibt sich

$$\left(\frac{TC}{A}\right)^2 = \underbrace{\left(\frac{2\beta_0}{\hat{S}} \frac{p_2^2}{\phi_2(p_2\phi_1 - p_1\phi_2)}\right)}_{\text{Min. erlaubter Zustand}} \underbrace{\left(\beta_1 u_1^2 + \beta_2 u_2^2 + 2\beta_{12} u_1 u_2\right)}_{\text{Benutzung}} \underbrace{\left(p_0\phi_1 - p_1\delta_1 z_1^{-1} - p_1\delta_2 z_2^{-1}\right)}_{\text{Kosten der erschwerenden Umstände}}$$

Anmerkung: Ein Pfeil zeigt von dem Text "Kosten" auf die linke Klammer der Gleichung.

- Diese Funktion gilt es zu schätzen um an die Kostenimplikationen der Faktoren zu kommen

Herleitung Effizienzmaßzahl (1)

- Kein Steady-State in Wirklichkeit
 - Von Jahr zu Jahr unterschiedlich grosse Projekte
- Was können wir messen?
 - Durchschnittlicher Zerfall je nach äußeren Umständen, Benutzung
 - Der Netzzustand in Jahren wenn Inspektionen erfolgen
 - Ausgaben
 - Netzgröße
- Daraus lässt sich folgende Effizienzmaßzahl errechnen

Tatsächliche Ausgaben → $\frac{TC_{i,t}}{\Delta \hat{CS}_{i,t}}$

Bewirkte Verbesserung → $\Delta \hat{CS}_{i,t}$

'Notwendige' Ausgaben → $\frac{p \bar{z} \sum_h \lambda_h A_{i,h} + \sum_h \lambda_h A_{i,h} p' \Delta z_h}{d \sum_h \lambda_h A_{i,h}}$

'Notwendige' Verbesserung → $d \sum_h \lambda_h A_{i,h}$

Herleitung Effizienzmaßzahl (2)

- Bewirkte Verbesserung ist nicht direkt messbar, aber
$$\text{Zustand Vorher} - \text{Zustand Nachher} = \text{Bewirkte Verbesserung} - \text{Zerfall}$$
- Daher
$$\text{Bewirkte Verbesserung} = (\text{Zustand Vorher} - \text{Zustand Nachher} + \text{Zerfall})$$
- Funktioniert bei unterschiedliche Inspektionsintervallen
- Das Messkonzept benutzt eine Zerfallsfunktion in Abhängigkeit von äußeren Umständen

Zusammenfassung Effizienzmaßzahl

$$\frac{TC_{i,t}}{\Delta \hat{CS}_{i,t}} = \frac{\mathbf{p}' \bar{\mathbf{z}} \sum_h \lambda_h A_{i,h} + \sum_h \lambda_h A_{i,h} \mathbf{p}' \Delta \mathbf{z}_h}{\bar{d} \sum_h \lambda_h A_{i,h}}$$

- Leitet sich aus Engineering Produktionsfunktionen ab
- Kompensiert für die Kostenimplikationen der lokalen Erschwernisfaktoren
- Die zu verrechnenden Kosten pro Einheit Erschwernis müssen mit der beschriebenen Funktionsform geschätzt werden

‘Factsheet’ Format als Präsentation

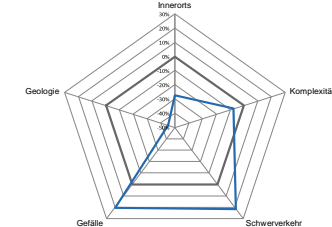
- Für jede DMU, ein ‘Factsheet’: übersichtlich, aussagekräftig.
- Eine Vielzahl von Benchmarks verhindert ein Fokus auf ein Ziel.
- Physische Maßzahlen beantworten die Frage nach genügendem Unterhalt mit hoher Präzision.
- Vier Beispiele von Typ-B Benchmarks

KANTON XY

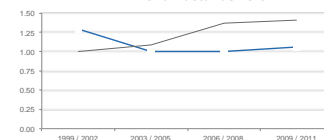
Gesamtbenchmark

Output	komp./unkomp.	Kant. Ø
CHF pro CS -	43.1 / 42.3	59.4 / 59.2
Verfügbarkeit	98.3 %	97.8 %
Gesamt	110 / 108	100 / 100

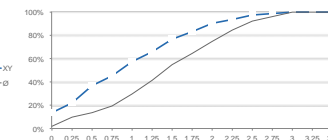
Erschwernisfaktoren



Trend Zustandwert



Summenkurve Netzwerkzustandwert



Teilbenchmarks Erneuerung

	Kant. Ø	
Verfügbarkeitsverlust ungew.	2.5	2.8
Verfügbarkeitsverlust gewichtet	2.8	3.1
CS vor Erneuerung Ø	1.42	1.48
CS vor Erneuerung σ	0.76	0.89
CS Variabilität σ	19.2 %	15.5 %

Netzwerkdaten

	km	km ²
Strassenlänge	521	3.8
Rad- & Gehwege	30	0.1

Teilbenchmarks Gesamtnetzwerk

	Ø	
Ø CS	1.06	1.17
Verbesserung CS gesamt	+0.3	+0.1
Konsistenz VLK	68 %	73 %
% Netzwerk erneuert - Deckschicht	7.03	3.62
% Netzwerk erneuert - Tragschicht	2.10	1.86
Netzwerkwachstum	0.4 %	0.2 %
Gewichteter Ø Nutzen (Schulnote)	5.30	4.76

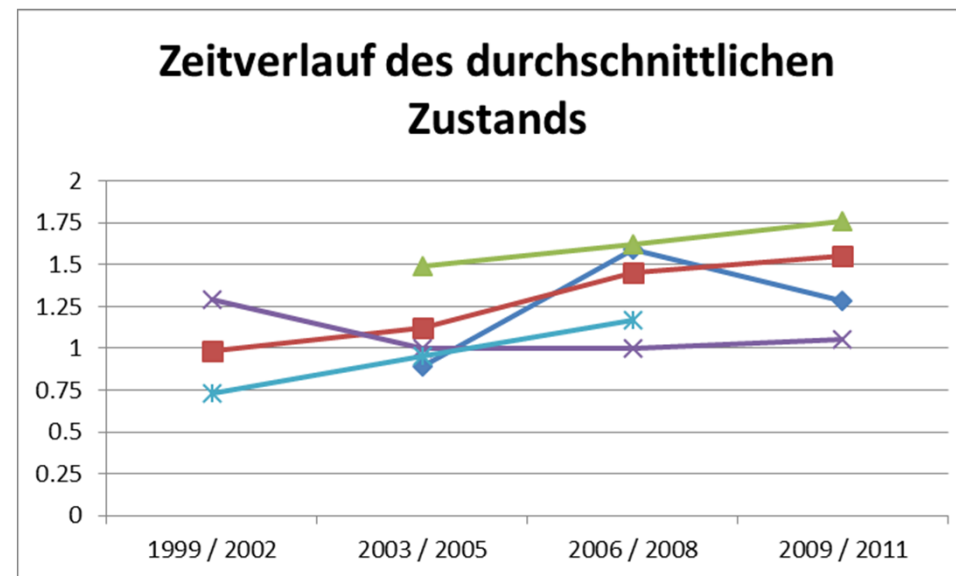
Finanzdaten baulicher Unterhalt: Ø seit 2001

	Kant. Ø	
Ausgaben gesamt	48.3 Mio	50.0 Mio
Ausgaben pro km	92'790	100'000
Ausgaben pro EW	128	130
VZE per km ²	2.38	2.4

KPI - Benchmark des kantonalen baulichen Strassenunterhalts

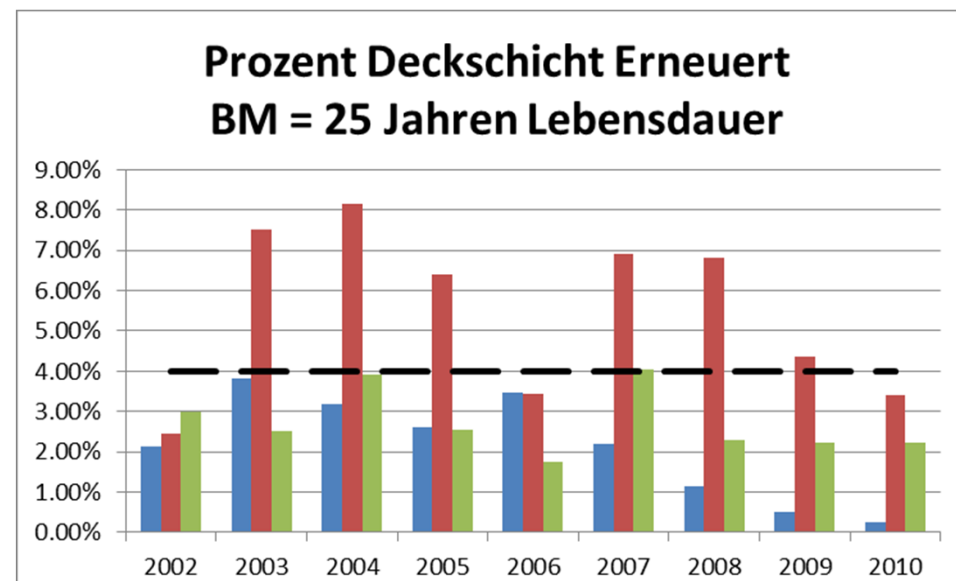
1. Zeitverlauf des durchschnittlichen Zustands

- Eine simple physische Maßzahl mit grosser Aussagekraft
- Durschnitte können trotzdem unerwünschte Verteilungen verstecken
- Lässt sich mit unterschiedlichen Gewichtungen berechnen
 - Nach Verkehr
 - Nach Zustand



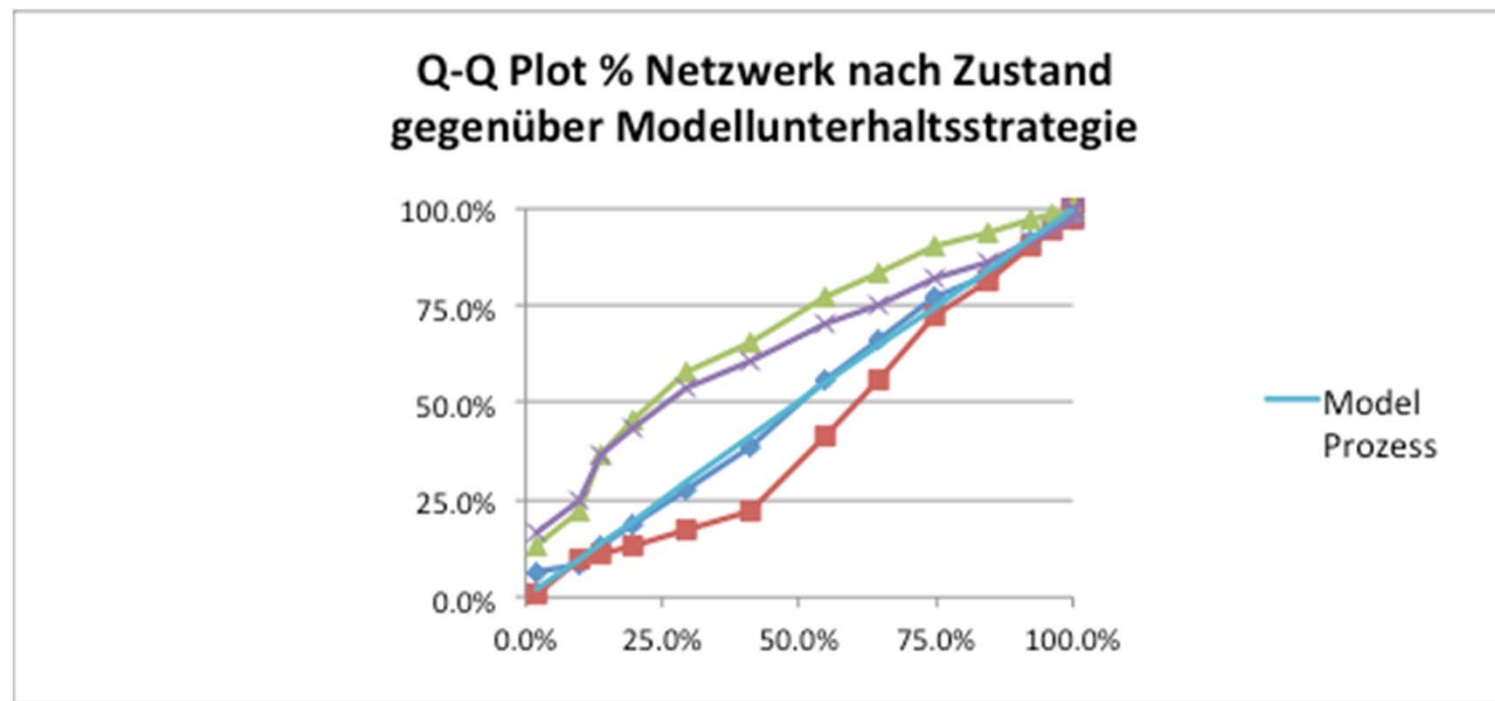
2. Prozent des Netzes erneuert

- Klare, physische Antwort auf die Frage: Wird genug unternommen?
- $1/T$
- Mögliche Lücke: Richtige Menge, falscher Ort
- Benutze in Kombination mit anderen Maßzahlen



3. Q-Q Plot der Kumulativverteilung der Zustände

- Gibt Auskunft über die strategiegemäße Verteilung der Massnahmen
- Zeigt zukünftige Investitionsengpässe



7. Spannend wäre auch....

- Jährlicher Durchschnittsverlust der Netzverfügbarkeit durch Erneuerungsmaßnahmen
- Veränderung der Grösse der Straßenfläche und/oder andere qualitätsbezogene Merkmale
- Oder...

Der Unterschied zur theoretischen Zustandsverteilung

Populatio n Survey 1	CS-Bucket	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
Pop Survey 2		11.4%	1.0%	10.5%	2.8%	2.5%	-3.8%	-2.3%	-3.6%	-2.8%	-6.4%	-4.3%	-2.5%	-2.4%
14.0%	0.00	10%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1.2%	0.25	1%	2%	4%	-5%	-1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10.0%	0.50	0%	1%	5%	3%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2.8%	0.75	0%	0%	1%	2%	1%	-3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3.3%	1.00	0%	0%	1%	1%	3%	2%	-7%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
-4.7%	1.25	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	-7%	-3%	0%	0%	0%	0%
-2.5%	1.50	1%	0%	0%	0%	-3%	1%	3%	2%	-2%	-5%	0%	0%	0%
-3.7%	1.75	0%	0%	0%	0%	0%	-4%	1%	1%	1%	-3%	-1%	0%	0%
-3.1%	2.00	0%	0%	0%	0%	0%	-2%	1%	1%	2%	1%	-5%	-2%	0%
-6.4%	2.25	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-4%	-2%	1%	0%	1%	-2%	-2%
-5.6%	2.50	-2%	-2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-2%	0%	1%	0%	-2%
-2.7%	2.75	0%	-4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-2.5%	3.00	0%	-2%	-2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%

Fazit: Straßenunterhalt: Ob Genügend können wir wissen! Die Effizienz aber nur ungenau.

- Es lässt einiges machen, mit relativ wenig Aufwand
- Die Qualität der Finanzdaten zur Erneuerung erscheint verbesserungsfähig zu sein, und wenn nicht, dann ist das noch schlechter.
- Die Modellierung der Kostenfunktion ist ein Schlüssel zu einem von den Beteiligten akzeptierbaren Typ-A Benchmark
- Aussagekräftige und qualitativ hochstehenden Typ-B Benchmarks lassen sich mit den heutigen Datenbeständen berechnen

VERTRAUEN IST GUT, KONTROLLE BESSER

Danke!

Craig Richmond

ETH Zürich, Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement (IBI)

Gebäude HIL, Raum F 24.2

Stefano-Franscini-Platz 5, CH-8093 Zürich

Tel. +41 79 458 4783

E-mail: richmond@ibi.baug.ethz.ch

DISKUSSIONSSTICHWÖRTE

Ausgaben / Km

Herleitung Kostenfunktion

$1/T$

AASHTO Dimensionierungsgleichung

Messung der bewirkten Zustandsverbesserung

Effizienzmaß

Balanced Scorecard für Kantone

Typ-B Maßzahlen

Zeitverlauf

Q-Q Plot

Prozent erneuert

Veränderungsmatrix