



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

Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen

**Procédure de détermination du besoin d'entretien dans les
réseaux routiers communaux**

**Procedure for determining the maintenance requirements of
municipal road networks**

Ernst Basler + Partner AG
Patrik Hitz
Frank Stenger
Daniel Imhof

**Forschungsauftrag VSS2004/701 auf Antrag des
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

Mai 2010

1245

Zusammenfassung

Die nachhaltige Erhaltung der Infrastrukturanlagen ist eine Kernaufgabe des Eigentümers. Die Mittel, welche für die Werterhaltung der Infrastruktur eingesetzt werden können, stehen in einem Verteilungskampf mit einer Vielzahl von Ansprüchen, dies bei nach wie vor wachsenden Infrastrukturnetzen mit entsprechendem Erhaltungsbedarf. In dieser Situation ist es wichtig, dass die zuständigen Stellen den Mittelbedarf für die Erhaltung der Infrastrukturnetze ermitteln und auf transparente und nachvollziehbare Weise gegenüber den politischen Entscheidungsträgern darstellen bzw. die Konsequenzen bei fehlenden Mitteln aufzeigen können. Bisher fehlte ein einheitlicher Ansatz zur Beantwortung dieser Frage.

Der Geschäftsbereich Werterhaltung des Tiefbauamtes der Stadt Zürich hat einen betriebswirtschaftlichen Ansatz zur Wahrnehmung dieser zentralen Führungsaufgabe im Werterhaltungsbereich in den Grundzügen konzipiert. Dieses „Grundmodell Werterhaltung“ stellt den Wertverlust eines Strassennetzes den Aufwendungen für Werterhaltungsmassnahmen gegenüber. Das Verfahren schafft die Voraussetzung für die Anwendung von einheitlichen Indikatoren für die Messung von Kosten, Leistung und Wirkung im Bereich der Strassenerhaltung.

Das Grundmodell Werterhaltung besteht aus den 3 Elementen Objektsicht, Netzsicht und Wirkungsmessung. Aus der Objektsicht (Bottom up-Sicht) werden die Zustandsbeurteilung und die Massnahmenplanung pro Objekt (= Strassenabschnitt) durchgeführt. Letztere liefert einen Input für die Koordination mit den Planungen anderer Bedürfnisträger. Im Rahmen der Koordination werden die zu realisierenden Massnahmen festgelegt. Zentrales Ergebnis der Objektsicht sind die Kosten, die jährlich für Erhaltungsmassnahmen aufgewendet werden. Aus der Netzsicht (Top down-Sicht) kann für das Inventar des Strassennetzes der mittlere Wertverzehr aus der Alterung bzw. der jährliche Mittelbedarf abgeschätzt werden. Entspricht dieser den getätigten Ausgaben (realisierte Massnahmen), so bleibt der durchschnittliche Zustand des Strassennetzes konstant. In diesem Fall kann man von einer nachhaltigen Erhaltungsstrategie ausgehen. Als Bindeglied zwischen der Objekt- und der Netzsicht wird die Entwicklung des mittleren Zustands als Indikator für die Wirkungsmessung der realisierten Massnahmen verwendet.

In Anlehnung an das Grundmodell Werterhaltung formuliert die vorliegende Forschungsarbeit die Voraussetzungen des Verfahrens zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs und zeigt dessen Aussagekraft auf.

Dazu wird das Verfahren an drei Fallbeispielen angewandt. Die Fallbeispiele Zürich, Luzern und Sion illustrieren die Vorgehensweise und zeigen die Eigenheiten von Gemeinden verschiedener Grösse auf. Die Eckdaten der drei Gemeinden sind in Tabelle 01 zusammengefasst.

	Zürich	Luzern	Sion
Einwohner	345'000	58'000	28'000
Fahrbahnfläche [x10 ³ m ²]	5'750	1'158 ¹	572

Tabelle 01: Eckdaten

Der Vergleich der Ergebnisse der Objekt- und Netzsicht zeigt, dass in den drei Gemeinden der finanzielle Umfang realisierter Erhaltungsmassnahmen in den letzten Jahren geringer war als der jährliche Wertverlust. Während in Zürich der Wertverlust zu rund 60% kompensiert wurde, beträgt die Kompensation in Luzern fast 75% und in Sion fast 90%. Die Erhaltungsmassnahmen können den Wertverlust nicht kompensieren, so dass sich der Zustand gemäss Grundmodell Werterhaltung verschlechtern müsste. Die Entwicklung des Strassennetzes der Stadt Zürich hat sich von 1993 bis 2006 deutlich verschlechtert: Der Zustand des Strassennetzes Luzern hat sich von 1999 - 2006 nur geringfügig verändert. Die Stadt Sion hat bisher erst zwei Zustandsaufnahmen vorgenommen. Der Zustand ist über den Zeitraum 1999 – 2006 in etwa gleich geblieben.

Der zu geringe Mitteleinsatz für die Substanzerhaltung schlägt sich somit in erwarteter Weise in der Zustandsentwicklung nieder, auch wenn anhand des Vergleichs der realisierten Massnahmen mit dem Wertverlust für das Strassennetz Luzern mit einer ausgeprägteren Zustandsverschlechterung zu rechnen wäre. Tabelle 02 fasst die Resultate der Fallbeispiele in einem Überblick zusammen.

	Analysierte Periode (Massnahmen)	Zustandsentwicklung (mittlerer Zustandsindex)	Realisierte Massnahmen/Wertverlust
Zürich	1993 – 2006	1.1 → 2.0	59%
Luzern	1999 – 2006	1.3 → 1.5	73%
Sion	1999 - 2006	2.0 → 1.9	89%

Tabelle 02: Zusammenfassung der Ergebnisse

¹ inklusive Rad- und Fusswege

Aus der Analyse von Anwendungen des Grundmodells Werterhaltung wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Die visuelle Zustandsbeurteilung liefert für Innerortsstrassen plausible Ergebnisse und ist ausreichend. Der Aufwand für die visuelle Zustandserfassung hält sich in vertretbarem Rahmen. Der Aufnahmehythmus von 3 Jahren hat sich in der Stadt Zürich bewährt.
- Das Konzept der Massnahmenvorschläge mit Art, Umfang, Zeitpunkt und Kostenschätzung mittels Richtwerten als Grundlage für die mittel- und längerfristige Massnahmenkoordination und Finanzplanung hat sich in Zürich bewährt. Der Detaillierungsgrad (vier unterschiedlich tiefgreifende Massnahmen) ist ausreichend.
- Die im Grundmodell vorgesehene frühzeitige und längerfristige Massnahmenkoordination steigert den Nutzen der einzelnen Beteiligten sowie der Allgemeinheit.
- Die Kosten für die Erhaltung der Strassen müssen klar von den Ausgaben zur Wertvermehrung und den Erhaltungskosten weiterer Anlagen im Strassenraum abgegrenzt werden. In diesem Bereich besteht grosser Handlungsbedarf.
- Das berücksichtigte Inventar, für welches die realisierten Massnahmen und der Wertverlust über eine längere Zeitperiode miteinander verglichen werden sollen, ist eindeutig zu definieren. Zur Berechnung des Wertverlusts sollte die Norm SN 640 986 angewendet werden.
- Realisierte Massnahmen, Wertverlust und Zustandsentwicklung sind wichtige Kennzahlen zur Erfüllung des Erhaltungsauftrags für ein Strassennetz. Die Etablierung der Prozesse, welche diese Informationen liefern, wird den Verantwortlichen empfohlen.

Forschungsbedarf wird primär in folgenden Bereichen gesehen:

- Vorgaben zur konsistenten Erfassung realisierter Massnahmen
- Abgrenzung von Reparaturmassnahmen gegenüber Erhaltungsmassnahmen und Aufzeigen von Kosten und Nutzen
- Erarbeitung optimierter Erhaltungsstrategien unter Berücksichtigung der Bedürfnisse weiterer Beteiligten
- Vergleiche mit anderen Methoden zur Zustandserfassung

Résumé

L'entretien durable des infrastructures constitue l'une des tâches primordiales de leur propriétaire. Or, les moyens financiers pouvant être consacrés à ce maintien de la valeur sont sollicités de diverses parts, cette concurrence étant d'autant plus grande que les réseaux d'infrastructures ne cessent de croître et avec eux les besoins d'entretien. Dans ce contexte, il est essentiel que les services responsables déterminent les besoins financiers requis pour entretenir les réseaux et les présentent de façon transparente et intelligible aux décideurs politiques ou leurs exposent les conséquences en cas d'absence de fonds. Jusqu'ici, il manquait une base unifiée pour répondre à ces questions.

La division Maintien de la valeur de l'Office des ponts et chaussées de la Ville de Zurich a conçu dans les grandes lignes une méthode, reposant sur les principes de la gestion d'entreprise, pour accomplir cette tâche de direction capitale. Ce « Modèle de base du maintien de la valeur » oppose la dépréciation d'un réseau routier aux dépenses consacrées aux mesures de maintien de la valeur. Cette démarche permet d'appliquer des indicateurs unifiés pour mesurer les coûts, les prestations et l'effet dans le domaine de l'entretien des routes.

Le modèle de base comprend 3 éléments : l'approche ascendante, l'approche descendante et la mesure de l'effet. Dans l'approche ascendante (de bas en haut), l'évaluation de l'état et la planification des mesures se font par objet (= tronçon routier). Les résultats de la planification des mesures sont utiles pour la coordination avec les autres réseaux, dans le cadre de laquelle les travaux à effectuer sont fixés. Le résultat principal de l'approche ascendante réside dans les coûts annuels des mesures d'entretien. L'approche descendante (de haut en bas) quant à elle permet d'estimer, pour l'inventaire du réseau routier, la valeur de dépréciation moyenne résultant du vieillissement, et donc les besoins financiers requis en moyenne par année. Si ces derniers correspondent aux dépenses (mesures réalisées), l'état moyen des routes reste constant. Il est permis alors de parler d'une stratégie d'entretien durable. Le trait d'union entre les deux approches est l'évolution de l'état moyen, qui constitue un indicateur de l'effet des mesures mises en œuvre.

En s'appuyant sur le modèle de base du maintien de la valeur, les auteurs du présent travail de recherche énoncent les prémisses de la procédure de détermination du besoin d'entretien et soulignent sa pertinence.

Pour ce faire, la procédure a été appliquée à trois cas concrets : Zurich, Lucerne et Sion, qui illustrent la démarche et montrent les spécificités de communes de tailles différentes. Les données-clés de ces trois municipalités sont résumées dans le tableau 01.

	Zurich	Lucerne	Sion
Habitants	345 000	58 000	28 000
Surface de chaussées [x10 ³ m ²]	5750	1158 ²	572

Tableau 01 : Données-clés

La comparaison des résultats obtenus avec les approches ascendante et descendante montre que les dépenses consenties ces dernières années dans les trois communes pour les mesures d'entretien étaient inférieures à la valeur de dépréciation. À Zurich, la dépréciation a été compensée à 60% environ, Lucerne atteint presque 75% et Sion quelque 90%. Les mesures de maintien de la valeur ne contrebalancent donc pas la perte de valeur, de manière que l'état des routes selon le modèle de base a dû se dégrader. Le réseau routier de la ville de Zurich s'est nettement détérioré entre 1993 et 2006. À Lucerne, l'état des routes n'a que peu changé entre 1999 et 2006. La Ville de Sion n'a procédé qu'à deux relevés d'état jusqu'ici. L'état des chaussées est resté plus ou moins égale entre 1999 et 2006.

L'engagement de moyens insuffisants pour maintenir la substance se traduit, logiquement, par une évolution négative de l'état des routes. Il faut toutefois admettre, qu'au vu de la comparaison entre les mesures réalisées et la dépréciation, l'on aurait escompté une détérioration de l'état plus importante pour le réseau routier lucernois. Le tableau 02 résume les résultats des exemples étudiés :

	Période considérée (mesures)	Évolution de l'état (indice d'état moyen)	Mesures réalisées/dépréciation
Zurich	1993 – 2006	1,1 → 2,0	59%
Lucerne	1999 – 2006	1,3 → 1,5	73%
Sion	1999 - 2006	2,0 → 1,9	89%

Tableau 02 : Résumé des résultats

² Surfaces des pistes cyclables et des chemins pédestres comprises.

L'analyse de l'application du modèle de base du maintien de la valeur a débouché sur les constats suivants :

- L'analyse visuelle de l'état des routes fournit des résultats plausibles pour l'intérieur des localités. Elle est suffisante et les charges qu'entraîne le relevé d'état sont raisonnables. L'intervalle de 3 ans pour les relevés s'est révélé judicieux pour la Ville de Zurich.
- La méthode des propositions de mesures – avec précision du type, de l'envergure, de la période prévue, et estimation des coûts en s'aidant de valeurs indicatives – a fait ses preuves à Zurich. Ces propositions servent de base à la coordination des mesures et à la planification financière à moyen et long termes. Le degré de détail (quatre catégories de mesures plus ou moins profondes) est suffisant.
- Une coordination des mesures précoce et à long terme, telle qu'elle est prévue dans le modèle de base, augmente l'utilité pour les intéressés et pour la communauté.
- Les dépenses au titre du maintien de l'état des routes doivent être clairement séparées de celles qui augmentent la valeur du réseau et de celles qu'engendre l'entretien d'autres infrastructures aménagées dans l'espace routier. Des efforts considérables sont encore nécessaires dans ce domaine.
- L'inventaire à prendre en considération pour comparer à long terme les mesures réalisées et la dépréciation doit être clairement défini. Il faut appliquer la norme SN 640 986 pour calculer la valeur de dépréciation.
- Les mesures réalisées, la valeur de dépréciation et l'évolution de l'état sont des indicateurs essentiels pour remplir le mandat de maintien de la valeur du réseau routier. Il est conseillé aux responsables de mettre en place des processus fournissant ces informations-clés.

Des besoins en matière de recherche ont été révélés surtout pour :

- Instructions pour la saisie systématique des mesures réalisées
- Distinction entre mesures de réparation et mesures d'entretien ; mise en évidence des coûts et de l'utilité
- Élaboration de stratégies d'entretien optimisées, en tenant compte des besoins d'autres intéressés
- Comparaisons avec d'autres méthodes pour les relevés d'état

Summary

The long-term maintenance of infrastructure is a core task of the owner. The funds available for maintaining infrastructure are in fierce competition with a large number of claims. This comes in the context of continuously expanding infrastructure networks with accordingly high maintenance requirements. In this situation, it is important that the responsible authorities determine the funds needed for maintaining the infrastructure networks and demonstrate it to the political decision-makers in a transparent and comprehensible manner. They also need to be able to point out the consequences of a lack of funds. Hitherto, there was no uniform approach to addressing this issue.

The Maintenance Division of the Civil Engineering Office of the city of Zurich have developed a basic business approach to performing this key managerial task in the field of maintenance. This Basic Model for Maintenance compares the loss in value of a road network to the costs of maintenance measures. The procedure creates the prerequisite for the use of uniform indicators for measuring costs, performance and effectiveness in the area of road maintenance.

The Basic Model for Maintenance is made up of the 3 elements object view, network view and measurement of effectiveness. From the object view (bottom-up view), the condition assessment and action planning are performed for each object (= section of road). The latter provides input for coordinating with the plans of other parties involved. The measures to be taken are established during the coordination process. The main result of the object view is the annual maintenance costs. From the network view (top-down view), the average age-related loss in value and the annual funds needed can be estimated for the inventory of the road network. If this corresponds to the outgoing expenses (measures taken), the average condition of the road network will remain constant. In this case, it can be assumed that the maintenance strategy is sustainable. As a link between the object view and the network view, the change in the average condition is used as an indicator for measuring the effectiveness of the measures taken.

Based on the Basic Model for Maintenance, this research paper formulates the prerequisites for the procedure for determining the maintenance requirements and points out its significance.

To that end, the procedure is applied to three practical examples. The practical examples Zurich, Lucerne and Sion illustrate the approach and point out the unique requirements of different sized municipalities. The key data on the three municipalities is summarised in Table 01.

	Zurich	Lucerne	Sion
Population	345,000	58,000	28,000
Carriageway Area x10 ³ m ²]	5,750	1,158 ³	572

Table 01: Key Data

A comparison of the results of the object view and the network view shows that the financial scope of maintenance measures taken in the three communities was lower in the last few years than the annual loss in value. Whereas the loss in value in Zurich was compensated at about 60%, the compensation in Lucerne is almost 75% and in Sion it amounts to almost 90%. The maintenance measures cannot compensate for the loss in value, meaning that the condition would have to worsen according to the Basic Model for Maintenance. The development of the road network in the city of Zurich worsened significantly between 1993 and 2006: the condition of Lucerne's road network only changed slightly between 1999 and 2006. The city of Sion has only conducted two condition surveys to date. The condition remained about the same during the period from 1999 to 2006.

The allocation of insufficient funds to the maintenance of assets is thus reflected in the change in the condition as expected, even if a more extensive deterioration of the condition would be expected based on the comparison of the measures taken with the loss in value of Lucerne's road network. Table 02 presents an overview of the results of the practical examples.

	Analysed Period (Measures)	Change in Condition (Average Condition Index)	Measures Taken/Loss in value
Zurich	1993 – 2006	1.1 → 2.0	59%
Lucerne	1999 – 2006	1.3 → 1.5	73%
Sion	1999 - 2006	2.0 → 1.9	89%

Table 02: Summary of Results

³ including cycleways and footpaths

The following findings were derived from the analysis of applications of the Basic Model for Maintenance:

- The visual condition assessment provides plausible results for inner city streets and is sufficient. The time and money spent on recording the visual condition is within a justifiable scope. The 3-year assessment cycle has proven itself in the city of Zurich.
- The concept of the suggested measures including the type, scope, date and cost estimate by means of reference values as a basis for the medium and long-term coordination of measures and financial planning has proven itself in Zurich. The level of detail (four measures of varying degrees of profoundness) is sufficient.
- The early and long-term coordination of measures envisaged in the basic model increases the benefits to both the parties involved and the general public.
- The costs involved in road maintenance must be clearly distinguished from the value-added expenses and the cost of maintaining other road systems. There is urgent need for action in this area.
- The inventory taken into account, for which the measures taken and the loss in value should be compared over a long period, must be clearly defined. The standard SN 640 986 should be used to calculate the loss in value.
- Measures taken, loss in value and changes in condition are important key data for performing the maintenance contract for a road network. The responsible parties would do well to determine the processes which provide this information.

The need for research is primarily evident in the following areas:

- Guidelines on the consistent recording of measures taken
- Distinction between repair measures and maintenance measures and conduction of cost-benefit analyses
- Development of optimised maintenance strategies taking into consideration the requirements of other parties involved
- Comparisons with other methods for measuring the condition

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs.....	3
2.1	Notwendigkeit und Zweck	3
2.2	Grundidee	3
2.3	Objektsicht	6
2.4	Netzsicht	8
2.5	Wirkungsmessung	9
3	Fallbeispiele	11
3.1	Eckdaten	11
3.2	Objektsicht	12
3.3	Aktuelle Zustandsverteilung	14
3.3.1	Massnahmenplanung	16
3.3.2	Summe der realisierten Massnahmen	17
3.4	Netzsicht	19
3.4.1	Inventar	20
3.4.2	Jährlicher Wertverlust	21
3.5	Gleichgewichtsbetrachtung und Wirkungsmessung	22
3.6	Vertiefung Zürich	25
3.6.1	Zustandsentwicklung auf Ebene Quartier	25
3.6.2	Ausführungszeitpunkt der Massnahmen	26
3.6.3	Wirkung der Massnahmen.....	27
4	Erkenntnisse	29
4.1	Forschungsfragen	29
4.2	Erkenntnisse zu den Forschungsfragen	29
4.2.1	Zustandsbeurteilung.....	29
4.2.2	Massnahmenplanung	30
4.2.3	Koordination.....	31
4.2.4	Realisierte Massnahmen	32
4.2.5	Inventar Strassennetz	32
4.2.6	Wiederbeschaffungswert, Alterungsbeiwert, Wertverlust.....	33
4.2.7	Zustandsentwicklung und Periodizität der Aufnahmen	34
4.2.8	Gegenüberstellung von Objekt- und Netzsicht.....	34
5	Forschungsbedarf	37

Anhang

A1 Weitergehende Literatur

1 Einführung

Das öffentliche Strassennetz der Schweiz weist eine Länge von über 70'000 Kilometer auf, das sich wie folgt gliedert (Zahlen gerundet)⁴⁾:

- Nationalstrassen: km 1'800
- Kantonsstrassen: km 18'200
- Gemeindestrassen km 51'400

Dieses Strassennetz stellt einen immensen volkswirtschaftlichen Wert dar. Gemäss groben Hochrechnungen liegt der Wiederbeschaffungswert des gesamten Strassennetzes in der Grössenordnung von 250 Mia. Franken, wobei rund die Hälfte auf das Gemeindestrassennetz entfällt.

Die Mittel, welche für die Werterhaltung der Infrastruktur eingesetzt werden können, stehen in einem Verteilungskampf mit einer Vielzahl von Ansprüchen, dies bei nach wie vor wachsenden Infrastrukturnetzen mit entsprechendem Erhaltungsbedarf. In dieser Situation ist es wichtig, dass die zuständigen Stellen den Mittelbedarf für die Erhaltung der Infrastrukturnetze ermitteln und auf transparente und nachvollziehbare Weise gegenüber den politischen Entscheidungsträgern darstellen bzw. die Konsequenzen bei fehlenden Mitteln aufzeigen können. Denn es gilt, die für den Eigentümer eines Infrastrukturnetzes zentrale Frage der Werterhaltung zu beantworten: „Investiere ich genügend Geld für die langfristige, nachhaltige Erhaltung meines Netzes?“

Obwohl verschiedene Stellen (Forschung, Infrastruktureigentümer usw.) Anstrengungen in diese Richtung unternahmen, wie z.B. Erhebung von Inventaren, Ermittlung von Wiederbeschaffungswerten oder Erhebung vom Zustand, fehlte bisher ein einheitlicher Ansatz zur Beantwortung dieser Frage.

Der Geschäftsbereich Werterhaltung des Tiefbauamtes der Stadt Zürich hat einen betriebswirtschaftlichen Ansatz zur Wahrnehmung dieser zentralen Führungsaufgabe im Werterhaltungsbereich in den Grundzügen konzipiert. Dieses „Grundmodell Werterhaltung“ stellt den Wertverlust eines Strassennetzes den Aufwendungen für Werterhaltungsmassnahmen gegenüber. In Anlehnung an das Grundmodell Werterhaltung definiert und beschreibt Kapitel 2 die einzelnen Elemente des Verfahrens zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs.

Die vorliegende Forschungsarbeit formuliert die Voraussetzungen dieses Verfahrens und zeigt dessen Aussagekraft auf. Dazu wird in Kapitel 3 das Verfahren an drei Fallbeispielen angewandt.

4) Während die Daten bei den Nationalstrassen auf verlässlichen Grundlagen beruhen, sind es bei den Kantons- und Gemeindestrassen (teilweise veraltete) Schätzungen.

Die Fallbeispiele Zürich, Luzern und Sion illustrieren die Vorgehensweise und zeigen die Eigenheiten von Gemeinden verschiedener Grösse auf.

In Kapitel 4 werden Erkenntnisse aus den Fallbeispielen gewonnen und Grundlagen für eine Norm geschaffen.

In Kapitel 5 wird der Forschungsbedarf aufgezeigt.

2 Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs

2.1 Notwendigkeit und Zweck

Das Grundmodell Werterhaltung beschreibt ein betriebswirtschaftlich orientiertes Verfahren für die Wahrnehmung des Werterhaltungsauftrages, das folgende Anforderungen erfüllt:

- einfach und transparent in der Methodik und Anwendung
- auf Basis weniger Schlüsseldaten
- verständlich für Fachleute und Laien
- übertragbar auf andere Infrastrukturnetze

Das Verfahren schafft die Voraussetzung für die Anwendung von einheitlichen Indikatoren für die Messung von Kosten, Leistung und Wirkung im Bereich der Strassenerhaltung. Dieser Aspekt wird – weitgehend unabhängig von der Weiterverbreitung der wirkungsorientierten Verwaltungsführung – in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.

Die nachhaltige Erhaltung der Infrastrukturanlagen ist eine Kernaufgabe des Eigentümers. Das Grundmodell ist ein ideales Konzept, um dieser Aufgabe nachzukommen. Das Verfahren hilft aber auch, bei Mittelknappheit die Konsequenzen auf transparente Weise aufzuzeigen.

Das Verfahren liefert einen übergeordneten Rahmen, in den zahlreiche bestehende und geplante Elemente bzw. Normen eingeordnet werden können. Gleichzeitig lässt es Spielraum bezüglich der Verwendung von Umsetzungsinstrumenten offen, da bei einer kleinen Gemeinde nicht die gleichen Anforderungen bestehen wie bei einer grossen Stadt.

2.2 Grundidee

Das Grundmodell Werterhaltung (Abbildung 1) stellt die verschiedenen Facetten für die Steuerung der Erhaltung der kommunalen Strassennetze dar und postuliert, dass bei einer langfristigen Betrachtungsweise die jährlichen Kosten der ausgeführten Massnahmen dem jährlichen Wertverlust die Waage halten sollen. Das Modell wurde vom Tiefbauamt der Stadt Zürich in Zusammenarbeit mit der Ernst Basler + Partner AG entwickelt und wird für die Strassenerhaltung

in der Stadt Zürich seit mehreren Jahren erfolgreich umgesetzt. Weitere Städte und Gemeinden haben ebenfalls mit der Umsetzung begonnen.

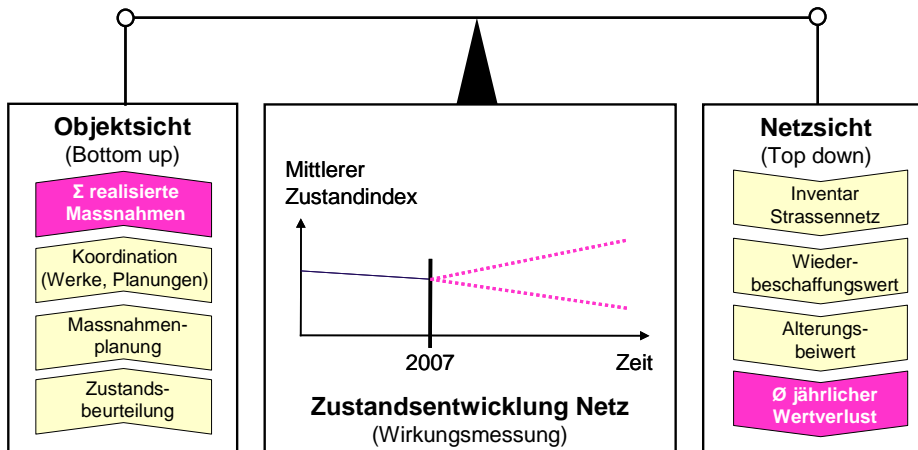


Abbildung 1: Grundmodell Werterhaltung

Das Grundmodell Werterhaltung besteht aus den 3 Elementen Objektsicht, Netzsicht und Wirkungsmessung, welche in den folgenden Unterkapiteln genauer beschrieben werden.

Aus der Objektsicht (Bottom up-Sicht) werden die Zustandsbeurteilung und die Massnahmenplanung pro Objekt (= Strassenabschnitt) durchgeführt. Letztere liefert einen Input für die Koordination mit den Planungen anderer Bedürfnisträger. Im Rahmen der Koordination werden die zu realisierenden Massnahmen festgelegt. Als zentrales Ergebnis der Objektsicht interessieren die Kosten, die jährlich für Erhaltungsmaßnahmen aufgewendet werden.

Aus der Netzsicht (Top down-Sicht) kann für das Inventar des Strassennetzes der mittlere Wertverzehr aus der Alterung bzw. der jährliche Mittelbedarf abgeschätzt werden. Entspricht dieser den getätigten Ausgaben (realisierte Massnahmen), so bleibt der durchschnittliche Zustand des Strassennetzes konstant. In diesem Fall kann man von einer nachhaltigen Erhaltungsstrategie ausgehen. Bei geringerem Mitteleinsatz wird sich der mittlere Zustand verschlechtern, bei grösserem Mitteleinsatz allmählich verbessern.

Als Bindeglied zwischen der Objekt- und der Netzsicht kann die Entwicklung des mittleren Zustands als Indikator für die Wirkungsmessung der realisierten Massnahmen verwendet werden.

Wie jedes Modell bildet auch das Grundmodell Werterhaltung die Realität nur in vereinfachter Form ab. Um der Realität möglichst nahe zu kommen, müssen die Voraussetzungen und die Regeln für die Anwendung bekannt sein.

Grundsätzlich gilt, dass das Grundmodell Werterhaltung von einer durchschnittlichen Gleichgewichtsbetrachtung ausgeht, d.h. für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Strassennetze müssen

die realisierten Massnahmen langfristig den jährlichen Wertverlust kompensieren. In einzelnen Jahren können die realisierten Massnahmen erheblich vom jährlichen Wertverlust abweichen.

Fragen, die sich bei der Anwendung des Grundmodells Werterhaltung stellen, sind in Abbildung 2 illustriert. In Kapitel 4 wird versucht, auf diese Forschungsfragen aufgrund der Erkenntnisse aus den Fallbeispielen Antworten zu geben.

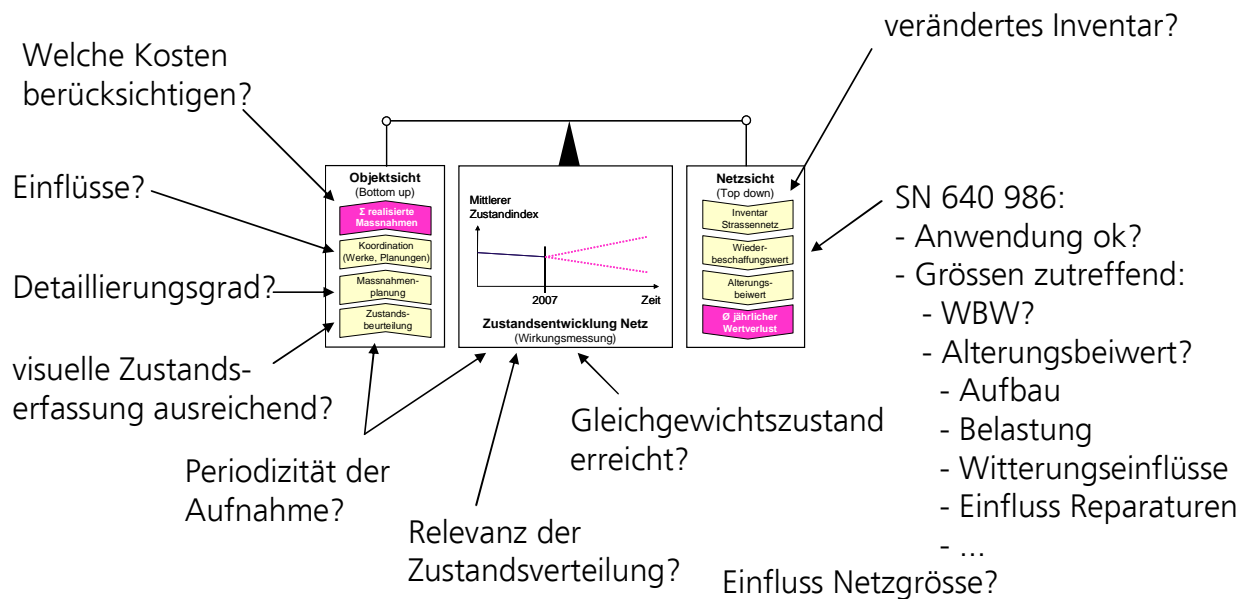
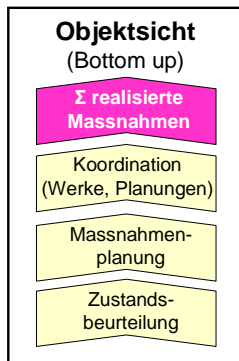


Abbildung 2: Weitere Fragen zur Anwendung des Grundmodells Werterhaltung

Im Folgenden wird das Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs formuliert⁵⁾ und aufgezeigt, wie die Elemente des Grundmodells zu bestehenden Prozessen (z.B. Budgetierung/Finanzplanung, Projektierung und Ausführung usw.) in Beziehung stehen. Besonderes Augenmerk wird auf das Zusammenwirken der einzelnen Elemente im Rahmen des Verfahrens gelegt. Sie werden soweit konkretisiert, dass sie von den Infrastruktureigentümern möglichst direkt umgesetzt werden können.

5) Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens findet sich in [3]

2.3 Objektsicht



Die Objektsicht beinhaltet die Schritte Zustandsbeurteilung, Massnahmenplanung, Koordination und Kosten der realisierten Massnahmen.

Zustandsbeurteilung

Die Objektsicht beginnt mit der netzweiten Aufnahme des Zustands. Die *Zustandsbeurteilung* liefert den Zustand pro Strassenabschnitt. Dazu werden die Bestimmungen der Norm SN 640 925b [1] befolgt. Diese Norm ist die Grundlage für eine einheitliche Erhebung und Bewertung des Zustands der Fahrbahnen. Sie legt die Kenngrößen und die Quantifizierung aller Eigenschaften für die Zustandserhebung fest. Zudem regelt sie die Umwandlung der erhobenen Größen in eine einheitliche, dimensionslose Bewertungsskala (Zustandsindex). Der Anhang dieser Norm enthält einen Schadenkatalog, welcher die Zuteilung zu einem Schweregrad anhand von Photos und einer verbalen Beschreibung erleichtern soll. Ebenfalls enthalten ist ein Aufnahmeformular, welches für die Datenaufnahme und die anschliessende Berechnung des Zustandsindex verwendet werden kann.

Durch Verwendung eines Zustandsindex, der für alle Abschnitte des kommunalen Strassennetzes in gleicher Weise ermittelt wird, kann der Zustand netzweit dargestellt und verglichen werden.

Voraussetzung für die Massnahmenplanung im Rahmen von Feldaufnahmen ist die Einteilung des Strassennetzes in Abschnitte mit ähnlichem Zustand. Die in der Netzsicht (siehe Kapitel 2.4) gebildeten Abschnitte (definiert durch Belastungskategorien) müssen weiter unterteilt werden, falls der Zustand innerhalb dieser Abschnitte variiert.

Massnahmenplanung

Basierend auf der Erhebung des Zustands werden für die einzelnen Strassenabschnitte Massnahmen vorgeschlagen. In der *Massnahmenplanung* wird der Bedarf aus Strassensicht abgeschätzt. Dieser zeichnet sich durch den Ort und Typ, den Umfang, den Ausführungszeitpunkt und eine grobe Kostenschätzung der Erhaltungsmassnahme aus.

Die möglichen Massnahmen reichen von einem Dünnschichtbelag bis hin zur Erneuerung des Oberbaus. Sie unterscheiden sich in den Kosten und der Massnahmenwirkung (Verbesserung des Zustands). Der Vorschlag des Massnahmentyps erfolgt in Abhängigkeit des Zustands.

Der Ausführungszeitpunkt hängt ebenfalls vom Zustand ab. Auf Abschnitten in sehr schlechtem Zustand muss rascher reagiert werden als auf Abschnitten in ausreichendem Zustand. Dabei ist auch die erwartete Zustandsverschlechterung der nächsten Jahre zu berücksichtigen.

Der Zeithorizont für Massnahmenvorschläge beträgt 3-6 Jahre. Somit steht ausreichend Zeit für die Koordination und die Projektierung von Massnahmen zur Verfügung.

Koordination

Die *Koordination* dient der Abstimmung des Erhaltungsbedarfs und der Erhaltungsmassnahmen mit den Vorhaben weiterer Bedürfnisträger (Werke, Verkehrsbetriebe usw.) sowie mit den vorhandenen finanziellen Mitteln.

Oftmals können die im zweiten Schritt vorgeschlagenen Massnahmen nicht zum vorgesehenen Zeitpunkt ausgeführt werden, da die Interessen weiterer Beteiligter auch beachtet werden müssen. Beispielsweise müssen die örtlichen Kanalisationen und Telekommunikationsleitungen auch erhalten werden. Deren optimale Erneuerungszeitpunkte decken sich in vielen Fällen nicht mit den Erhaltungsbedürfnissen aus Sicht Strasse.

Im dritten Schritt werden deshalb die Bau- und Instandsetzungsvorhaben aller Beteiligten diskutiert und aufeinander abgestimmt. So kann es vorkommen, dass ein Strassenabschnitt früher als notwendig erneuert wird, da die Kanalisationen bereits ersetzt werden müssen. Die Vor-/Rückverschiebung geplanter Massnahmen darf aber die eigenen finanziellen Möglichkeiten nicht übersteigen. Die Koordination bedarf deshalb einer sorgfältigen Abstimmung mit der Finanzplanung.

Durch diese Koordination können die Behinderungen für die Verkehrsteilnehmer und die Belästigung der Anwohner infolge Baustellenemissionen begrenzt werden, da aus der Abstimmung der Massnahmen weniger Baustellen eingerichtet werden müssen und insgesamt kürzere Bauzeiten resultieren.

Summe der realisierten Massnahmen

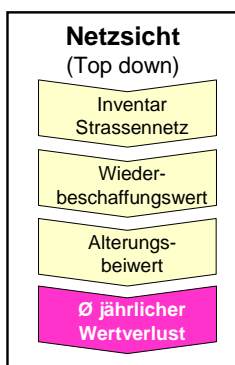
Das Ergebnis der Objektsicht bilden die realisierten Massnahmen mit einer Zustandsverbesserung und den damit verbundenen Kosten über das gesamte Netz.

Bei der Kostenermittlung ergeben sich verschiedene Abgrenzungsfragen. Es wird empfohlen, jeweils zum Jahresende die Kosten sämtlicher während des Jahres abgerechneten Massnahmen

aufzusummieren. Dabei werden die Massnahmen für die Strassenerhaltung aller Beteiligten mit einbezogen, d.h. Kostenbeteiligungen anderer Werke an der Strassenerhaltung werden auch berücksichtigt. Es wird auch empfohlen, neben den Kosten der Erneuerungs- und Instandsetzungsmassnahmen auch diejenigen der Reparaturen zu erfassen.

Diese Summe stellt die jährlichen Aufwendungen für die Erhaltung des gesamten kommunalen Strassennetzes dar. Für eine nachhaltige Erhaltung des Strassennetzes gemäss Grundmodell Werterhaltung sollten diese Aufwendungen langfristig im Gleichgewicht mit dem jährlichen Wertverlust stehen.

2.4 Netzsicht



Die Netzsicht beinhaltet die Schritte Inventar Strassennetz, Wiederbeschaffungswert, Alterungsbeiwert und durchschnittlicher jährlicher Wertverlust.

Die Norm SN 640 986 [2] stellt eine Anleitung zur Ermittlung des durchschnittlichen Wertverlusts des Strassenoberbaus in Strassen von Städten und Gemeinden dar. Auf eine detaillierte Darstellung dieser Norm wird hier verzichtet.

Inventar Strassennetz

Ausgangspunkt bei der *Netzsicht* ist das *Inventar* des vorhandenen Strassennetzes. Das Mengengerüst wird nach Belastungskategorie gegliedert. Die Zuteilung zu den Belastungskategorien kann anhand der Verkehrslastklasse oder des Strassentyps vorgenommen werden.

Wiederbeschaffungswert

Die geldmässige Bewertung des Inventars liefert den *Wiederbeschaffungswert*. Die Norm SN 640 986 enthält für jede Belastungskategorie einen charakteristischen Wiederbeschaffungswert pro Einheitsfläche.

Alterungsbeiwert

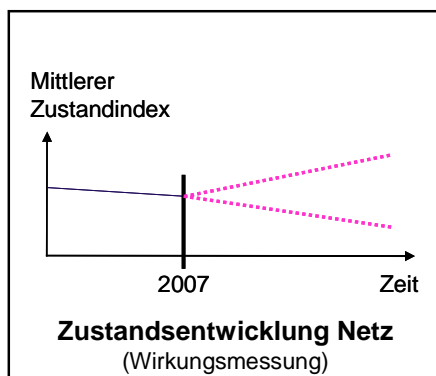
Durch verschiedene Einflüsse (Verkehr, Witterung, usw.) sind die Strassen einem Verschleissprozess unterworfen. Mit dem *Alterungsbeiwert* werden die durchschnittliche Alterung und damit der entsprechende Erneuerungszyklus von Strassen abgeschätzt. Wie für den Wiederbeschaf-

fungswert enthält die Norm SN 640 986 auch für die Belastungskategorien jeweils einen charakteristischen Alterungsbeiwert.

Durchschnittlicher jährlicher Wertverlust

Der *durchschnittliche jährliche Wertverlust* ergibt sich aus dem Wiederbeschaffungswert des gesamten Netzes multipliziert mit dem Alterungsbeiwert.

2.5 Wirkungsmessung



Als Indikator der Wirkung der ausgeführten Massnahmen wird der zeitliche Verlauf des mittleren Strassenzustands verwendet. Der mittlere Zustand berechnet sich jährlich als der mit den Flächen gewichtete Mittelwert der Zustandsindizes der einzelnen Strassenabschnitte.

Durch die Darstellung der zeitlichen Entwicklung des mittleren Zustands können Zustandsänderungen einfach erkannt und Tendenzen abgeleitet werden.

Im Gleichgewichtszustand, d.h. wenn die jährlichen Massnahmenausgaben mit dem jährlichen Wertverlust übereinstimmen, sollte der mittlere Zustand langfristig auf konstantem Niveau bleiben. Wenn die jährlichen Massnahmenausgaben den Wertverlust übersteigen, verbessert sich der mittlere Zustand dementsprechend.

Die Wirkungsmessung kann neben der Gleichgewichtsbetrachtung von Objekt- und Netzsicht zusätzlich zur Überprüfung der Effektivität der ausgeführten Massnahmen verwendet werden. Sie zeigt auf, ob mit den investierten Mitteln die erhoffte Wirkung in Form einer Zustandsverbesserung der betroffenen Abschnitte erreicht wurde.

3 Fallbeispiele

In diesem Kapitel wird das oben vorgestellte Verfahren anhand von drei Fallbeispielen mit konkreten Angaben und Zahlen illustriert. Die Fallbeispiele tragen erheblich zum Verständnis des Sachverhalts bei und erleichtern die Übertragung auf die Situation und Bedürfnisse anderer Gemeinden.

Die drei Gemeinden Zürich, Luzern und Sion wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten gewählt: Interesse an der Thematik, ausreichende Datenlage, unterschiedliche Netzgrösse, deutsche und französische Schweiz. Die Wissenslage und verfügbaren Daten sind für die drei Gemeinden unterschiedlich. Das Tiefbauamt der Stadt Zürich hat in den letzten Jahren in enger Zusammenarbeit mit der Ernst Basler + Partner AG im Bereich der Erhaltungsplanung zahlreiche Arbeiten durchgeführt, so dass der Wissensstand hoch ist. Das Wissen bezüglich Erhaltung der Strassen Luzerns beschränkt sich auf die publizierten Jahresberichte und ein Interview mit dem Strasseninspektor. Mit dem Stadttingenieur von Sion fanden 3 Besprechungen und ein reger Austausch statt.

3.1 Eckdaten

Tabelle 1 fasst die Eckdaten der drei Gemeinden zusammen. Die Strassenfläche von Luzern ist doppelt so gross wie diejenige von Sion, während Zürich eine um den Faktor 10 grössere Strassenfläche als Sion hat. Auffallend ist, dass alle drei Gemeinden eine ähnliche Strassendichte aufweisen.

	Zürich	Luzern	Sion
Einwohner	345'000	58'000	28'000
Fläche [km ²]	92	24	26
Fahrbahnfläche [x10 ³ m ²]	5'750	1'158 ⁶	572
Einwohnerdichte [Einwohner/ km²]	3'750	2'420	1'080
Strassendichte [m² Fahrbahn/ Einwohner]	17	20	20

Tabelle 1: Eckdaten

3.2 Objektsicht

Tabelle 2 fasst die aktuelle Praxis betreffend Objektsicht zusammen. Für das Fallbeispiel Luzern liegen keine präzisen Angaben betreffend Objektsicht-Praxis vor.

⁶ inklusive Rad- und Fusswege

	Zürich	Sion
Zustandsbeurteilung	<ul style="list-style-type: none"> • Zustandsaufnahmen seit 1993 • Seit 2003 wird jährlich der Zustand in einem Drittel des Strassennetzes mit der gleichen Methodik visuell aufgenommen • Die Zustandserfassung erfolgt mittels Tablet PC nach den Bestimmungen der Norm SN 640 925 • Das Aufnahmeteam blieb in den letzten Jahren praktisch unverändert 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme des Gesamtnetzes in den Jahren 1999 und 2006 • Visuelle Zustandserfassung • 1999: Formular gemäss Norm SN 940 925 nachträglich ausgefüllt (basierend auf verbalen Schadenbeschreibungen aus dem Jahr 1999) • 2006: Zustand auf Formular gemäss Norm SN 640 925 vor Ort erfasst • Aufnahmeteam identisch für beide Zustandsaufnahmen
Massnahmenplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Massnahmenvorschläge werden zusammen mit der Zustandserfassung vor Ort vorgenommen und auf dem Tablet PC erfasst • 4 Typen von Massnahmen (Oberflächenbehandlung, Neuer Deckbelag, Belagserneuerung mit teilweiser Verstärkung, Oberbauerneuerung) • Zeithorizont der vorgeschlagenen Massnahmen: 6 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> • Massnahmenvorschläge werden nachträglich ermittelt • Massnahmenplanung losgelöst von der Zustandsbeurteilung • Massnahmen werden nur für kritische Strassenabschnitte vorgeschlagen
Koordination	<ul style="list-style-type: none"> • Baukoordination: Abstimmung mit andern Stellen / Werken • Prozesse sind definiert und IT-Instrumente stehen zur Verfügung 	<ul style="list-style-type: none"> • Gleiche Dienststelle auch verantwortlich für Kanalisationen • Absprache mit andern Werken: alle 2 Wochen und einmal jährlich für Planung • Planungshorizont: Monate bis 1 Jahr
Realisierte Massnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtkosten sowohl mit als auch ohne bauliche Reparaturen ermittelt • Massnahmen (mit Aufwand) für jeden Abschnitt ermittelbar • Lokalisierung der Massnahmen z.T. unklar • Kostenteiler bei gemeinsamen Projekten z.T. unklar 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtkosten ohne bauliche Reparaturen • Jährliche Gesamtausgaben aufgeteilt nach Strassen und Kanalisationen • Art, Ort und Umfang der Massnahmen unbekannt (wäre nur mit erheblichem Aufwand ermittelbar) • Kostenteiler bei gemeinsamen Projekten: 50% Strasse / 50% Kanalisation

Tabelle 2: Praxis Objektsicht

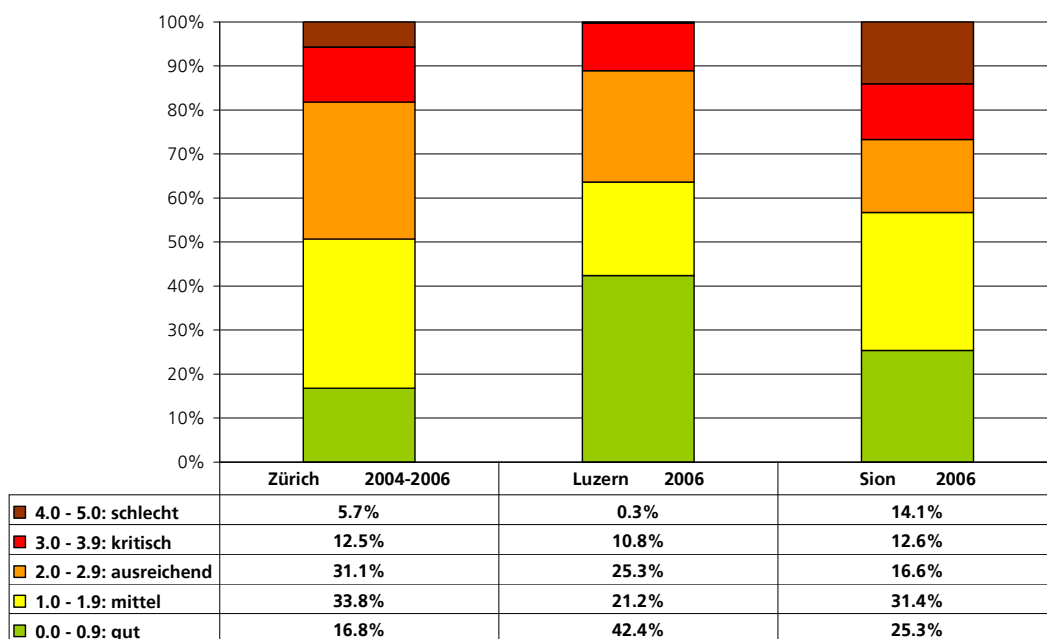
Beide Gemeinden haben eine fortschrittliche Erhaltungsplanung und kennen alle vier Schritte der Objektsicht. Dies ist bei weitem nicht in jeder Schweizer Gemeinde der Fall.

Die Tabelle zeigt jedoch deutlich die Unterschiede zwischen einer grossen und einer kleineren Gemeinde. Während die grosse Gemeinde die Erhaltungsplanung aufgrund der zahlreichen und komplexen Anforderungen detailliert vornimmt, beschränkt sich die kleinere Gemeinde bisher

auf wenige Aspekte (weniger häufige Aufnahmen, grobe Dokumentation, geringerer Fokus auf langfristiger Planung).

3.3 Aktuelle Zustandsverteilung

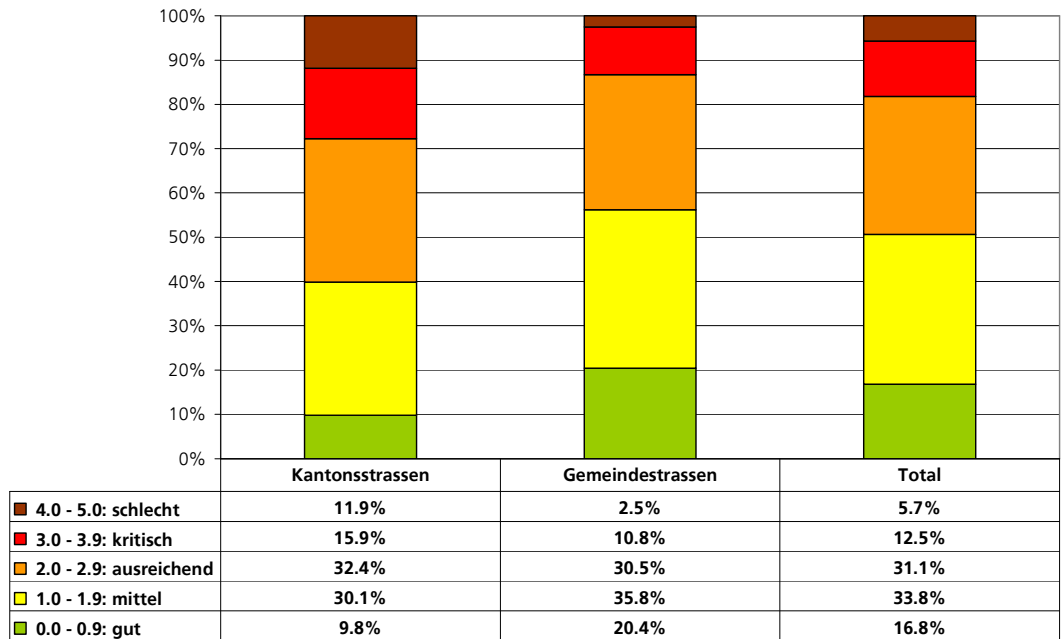
Abbildung 3 gibt die aktuelle Zustandsverteilung und den mittleren Zustandsindex der drei Fallbeispiele wieder. Luzern hat auffallend viele Strassenabschnitte in der besten Zustandskategorie (d.h. Zustandsnote zwischen 0 und 0.9). Zürich und Sion haben einen vergleichbaren mittleren Zustandsindex, Sion hat aber bedeutend mehr Abschnitte in der schlechtesten Zustandskategorie.



■ Mittlerer Zustandsindex I_1 : 2.0 1.5 1.9

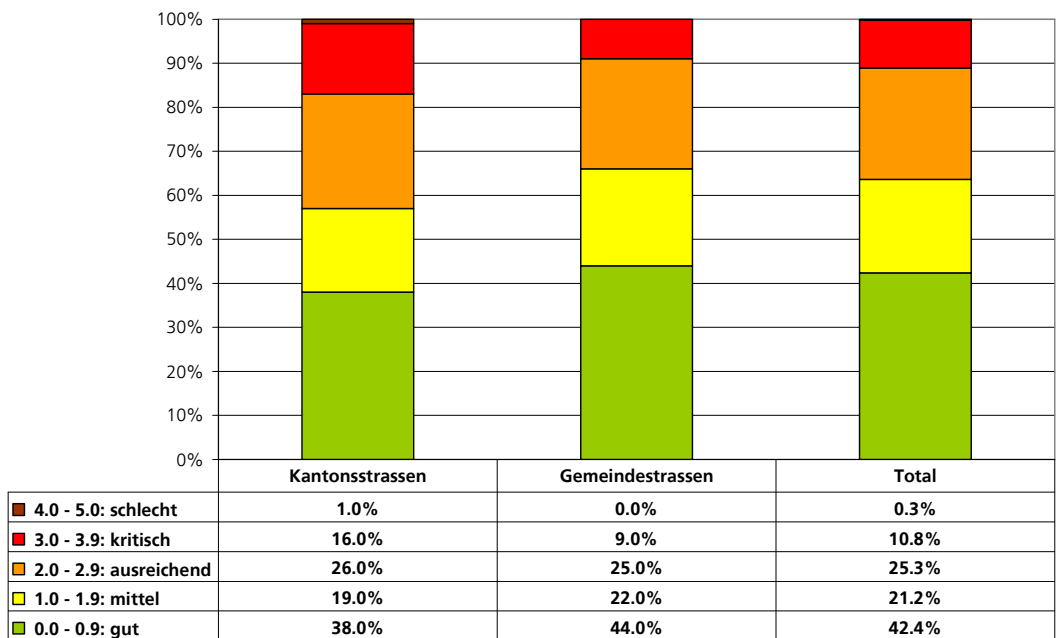
Abbildung 3: Aktuelle Zustandsverteilung

Für Zürich und Luzern wurden die Strassen weiter in Kantons- und Gemeindestrassen aufgeteilt (Abbildung 4 und Abbildung 5). Für beide Gemeinden weisen die Kantonsstrassen einen schlechteren Zustand auf als die Gemeindestrassen, was auf verschiedene Gründe zurückzuführen ist (höherer Verschleiss, Finanzmittel stehen nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung, starke Beeinträchtigung des Verkehrs infolge Baustellen usw.).



■ Mittlerer Zustandsindex I_1 : 2.4 1.8 2.0

Abbildung 4: Aktuelle Zustandsverteilung – Stadt Zürich



■ Mittlerer Zustandsindex I_1 : 1.7 1.4 1.5

Abbildung 5: Aktuelle Zustandsverteilung – Stadt Luzern

3.3.1 Massnahmenplanung

In der Stadt Zürich werden die Massnahmen während der Felddaten aufgenommen vorgeschlagen und auf einem Tablet PC eingegeben. Dabei werden Ort, Typ und Ausführungszeitpunkt der Massnahmen präzisiert. Mit dem elektronischen PMS (Pavement Management System) können anschliessend Karten generiert werden, die unter Angabe von Massnahmenart und vorgesehenem Ausführungsjahr die vorgeschlagenen Erhaltungsmassnahmen graphisch darstellen (Abbildung 6).

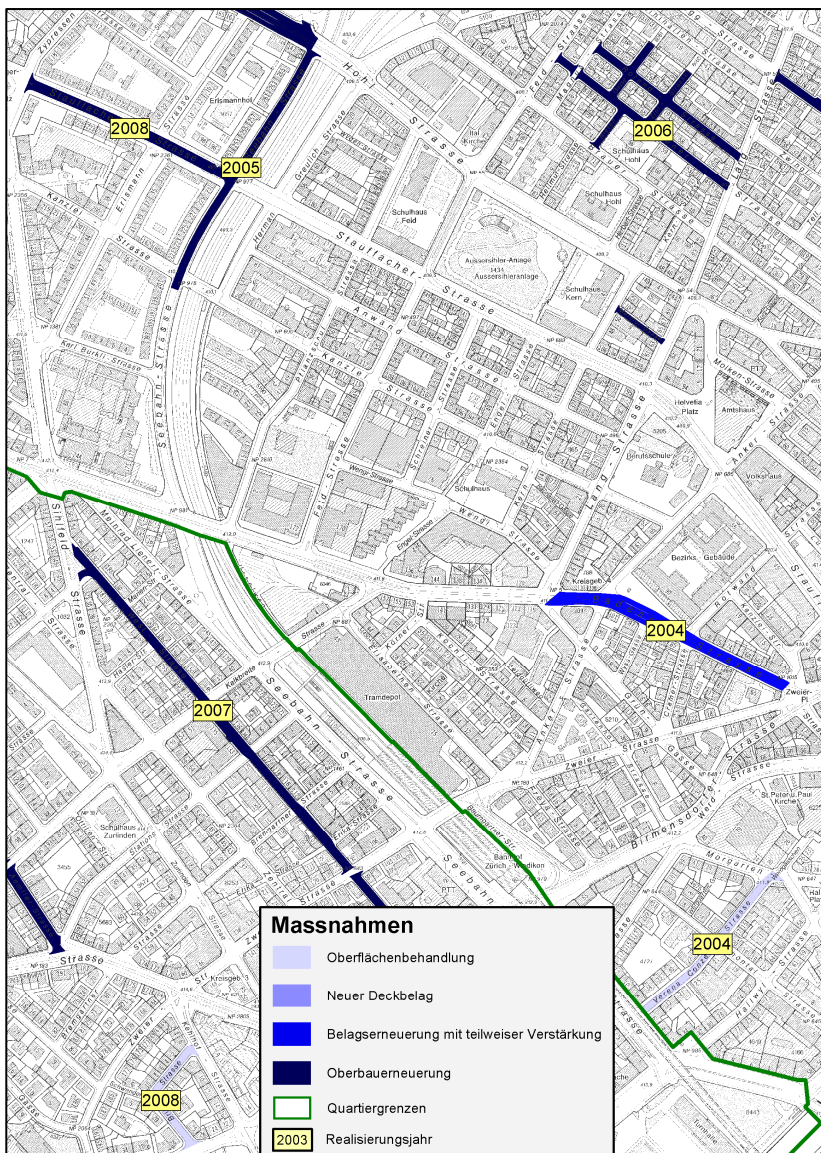


Abbildung 6: Massnahmenplanung – Stadt Zürich (Beispiel)

Anhand der räumlichen Ausdehnung der Massnahmen und des durchschnittlichen Einheitspreises pro Massnahmentyp werden im PMS die Kosten der Massnahmen veranschlagt. So können

die anfallenden Massnahmenkosten der kommenden Jahre abgeschätzt werden (Abbildung 7). Diese Werte können als Grundlage für die Finanzplanung verwendet werden.

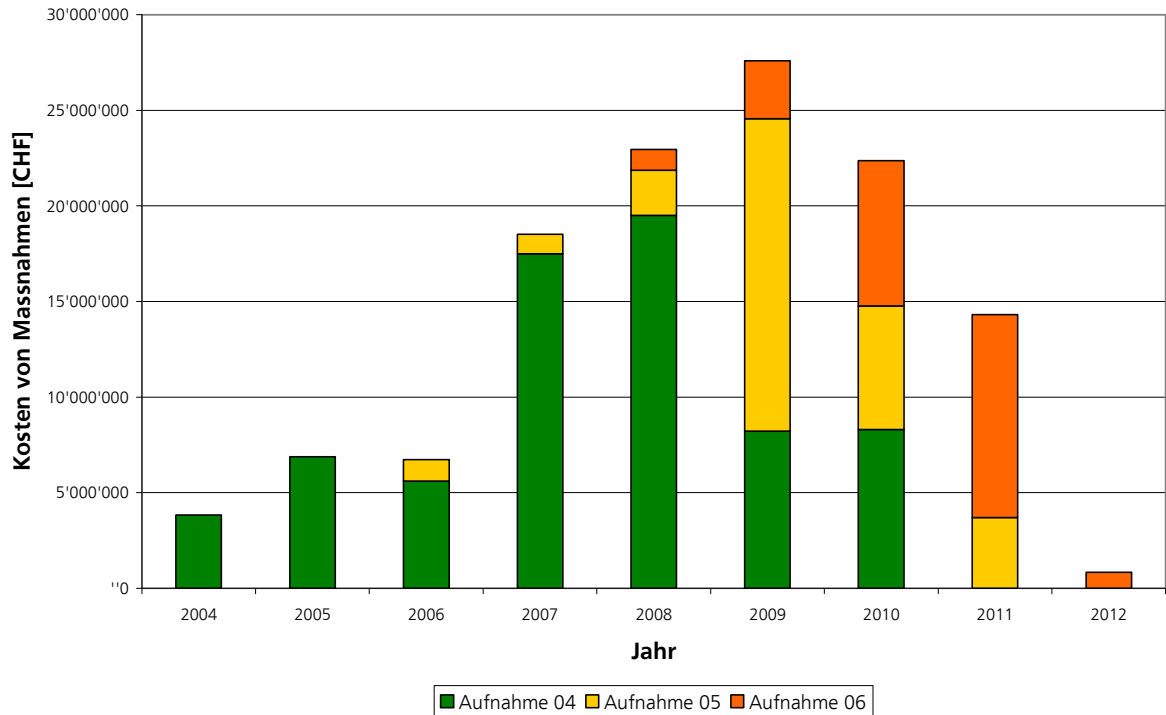


Abbildung 7: Prognose der Massnahmenkosten – Stadt Zürich (aufgrund der jährlichen Aufnahme eines Drittels des Netzes liegen netzweite Daten nur für die Jahre 2008-2010 vor)

In Sion werden die Massnahmen kurzfristig geplant, d.h. kritische Strassenabschnitte werden in der Regel im Folgejahr instandgesetzt. Eine längerfristige Massnahmenplanung ist noch nicht etabliert.

Zur Massnahmenplanung der Stadt Luzern konnten keine Detailangaben in Erfahrung gebracht werden.

3.3.2 Summe der realisierten Massnahmen

Abbildung 8 stellt die Jahreskosten der realisierten Massnahmen der drei untersuchten Gemeinden gegenüber. Der Vergleich der Jahreskosten von Zürich und Sion widerspiegelt recht genau die 10 Mal grössere Strassenfläche von Zürich gegenüber Sion.

Die Stadt Luzern berücksichtigt in ihren Jahreskosten die Rad- und Fusswege sowie die baulichen Reparaturen. Die Jahreskosten der realisierten Massnahmen können somit nicht 1:1 mit

den jährlichen Ausgaben von Zürich und Sion (Kosten jeweils ohne Rad- und Fusswege und ohne bauliche Reparaturen) verglichen werden.

Realisierte Massnahmen

[Mio. Fr./a]

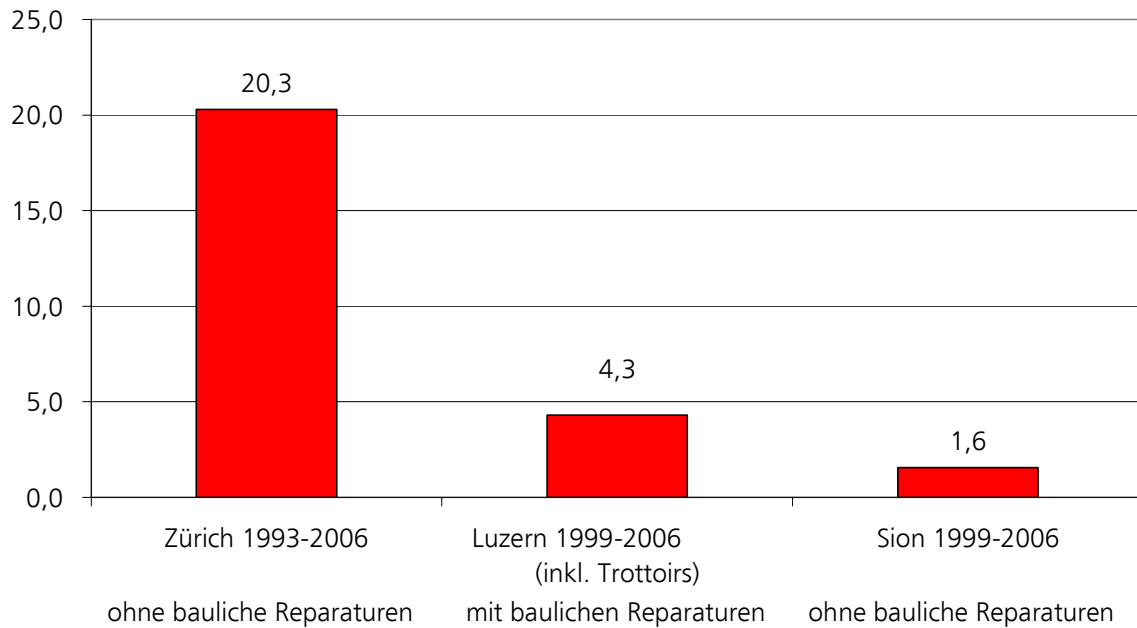


Abbildung 8: Realisierte Massnahmen

3.4 Netzsicht

Tabelle 3 fasst die aktuelle Praxis hinsichtlich der Netzsicht zusammen. In allen drei Gemeinden wurde der jährliche Wertverlust gemäss dem Vorgehen der Norm SN 640 986 bestimmt.

	Zürich	Luzern	Sion
Inventar	<ul style="list-style-type: none"> • Belastungskategorie nach Verkehrslastklasse zugeteilt • Kantonsstrassen werden von der Stadt Zürich erhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Belastungskategorie nach verkehrstechnischer Klassifikation zugeteilt • Kantonsstrassen werden von der Stadt Luzern erhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Belastungskategorie für die meisten Abschnitte anhand der Verkehrslastklasse zugeteilt • Wo die Verkehrslastklasse unklar ist, wurde die Belastungskategorie nach dem repräsentativen Querschnitt bestimmt • Kantonsstrassen nicht im Verantwortungsbereich der Stadt Sion
Wiederbeschaffungswert	<ul style="list-style-type: none"> • aus der Norm SN 640 986 • ohne Berücksichtigung der Rad- und Fusswege 	<ul style="list-style-type: none"> • aus der Norm SN 640 986 • mit Berücksichtigung der Rad- und Fusswege 	<ul style="list-style-type: none"> • aus der Norm SN 640 986 • ohne Berücksichtigung der Rad- und Fusswege
Alterungsbeiwert	<ul style="list-style-type: none"> • aus der Norm SN 640 986 • mit/ohne Berücksichtigung der baulichen Reparaturen 	<ul style="list-style-type: none"> • aus der Norm SN 640 986 • mit/ohne Berücksichtigung der baulichen Reparaturen 	<ul style="list-style-type: none"> • aus der Norm SN 640 986 • mit/ohne Berücksichtigung der baulichen Reparaturen
Jährlicher Wertverlust	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung gemäss Norm SN 640 986 	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung gemäss Norm SN 640 986 	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung gemäss Norm SN 640 986

Tabelle 3: Praxis Netzsicht

3.4.1 Inventar

Entsprechend den Bestimmungen der Norm SN 640 986 wurden die Strassenabschnitte der drei Gemeinden in die folgenden Belastungskategorien eingeteilt:

- IA/IB/IC: Verkehrslast sehr leicht bis leicht
- II: Verkehrslast mittel
- III: Verkehrslast schwer
- IV: Verkehrslast sehr schwer

Die Verteilung der Belastungskategorien der Strassenabschnitte der drei untersuchten Gemeinden ist in Abbildung 9 dargestellt.

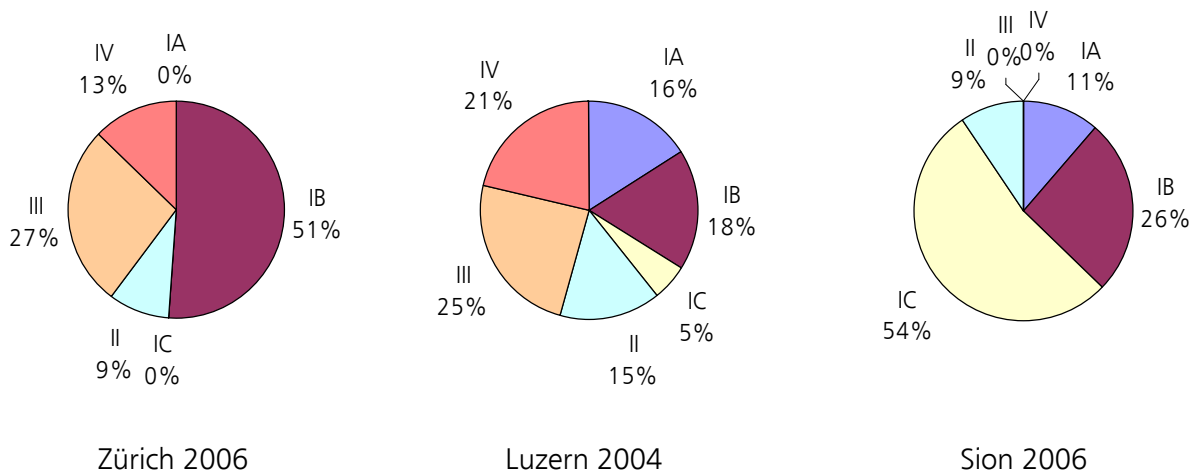


Abbildung 9: Verteilung der Belastungskategorien

Die Abbildung 9 zeigt, dass Zürich (40%) und Luzern (46%) einen hohen Anteil Strassenabschnitte mit schwerer bis sehr schwerer Verkehrslast (Belastungskategorien III und IV) haben. Sion hingegen hat keine Strassenabschnitte mit Schwerverkehr im Inventar, da die Kantonsstrassen nicht im Aufgabenbereich der Stadt liegen. In Sion ist der Anteil sehr leichter bis leichter Verkehrslast entsprechend hoch (91% in Belastungskategorie IA/IB/IC).

3.4.2 Jährlicher Wertverlust

Mit bekanntem Inventar und unter Anwendung der Norm SN 640 986 wird der durchschnittliche jährliche Wertverlust bestimmt. Der Vergleich der drei Gemeinden (Abbildung 10) zeigt, dass die Gemeinden mit hoher Verkehrslast (Zürich und Luzern) einen wesentlich höheren Wertverlust zu verzeichnen haben. So hat Zürich einen 19 Mal grösseren Wertverlust als Sion, obwohl die Strassenfläche nur 10 Mal grösser ist.

Mio. Fr./a

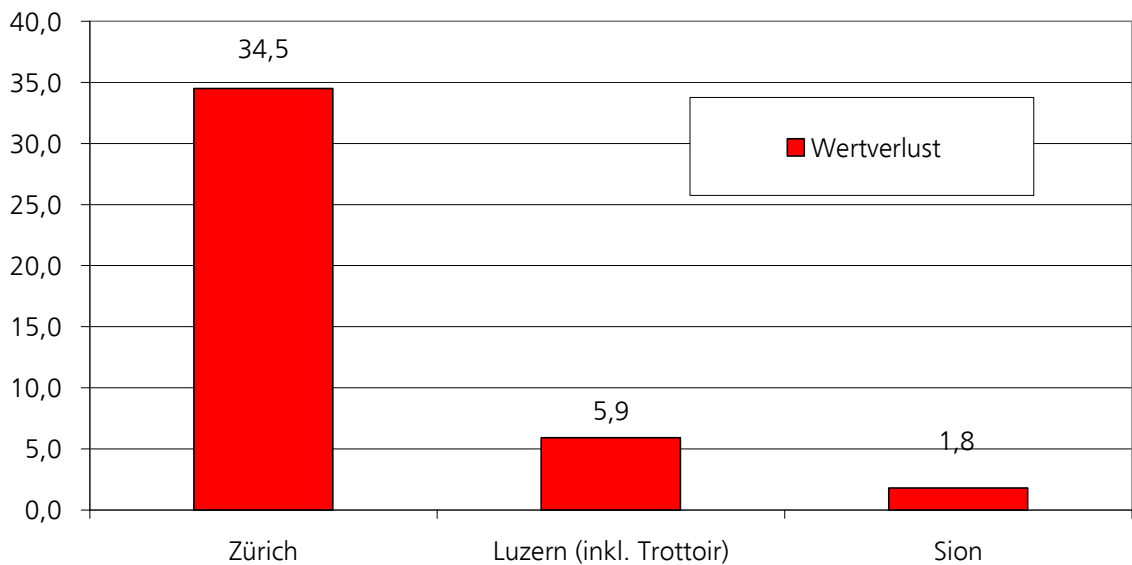


Abbildung 10: Jährlicher Wertverlust

3.5 Gleichgewichtsbetrachtung und Wirkungsmessung

Vergleicht man die Ergebnisse der Objekt- und Netzsicht, sieht man, dass in den drei Gemeinden der finanzielle Umfang realisierter Erhaltungsmaßnahmen in den letzten Jahren geringer war als der jährliche Wertverlust (Abbildung 11). Während in Zürich der Wertverlust zu rund 60% kompensiert wurde, beträgt die Kompensation in Luzern fast 75% und in Sion fast 90%. Die Erhaltungsmaßnahmen können den Wertverlust nicht kompensieren, so dass sich der Zustand gemäss Grundmodell Werterhaltung verschlechtern müsste.

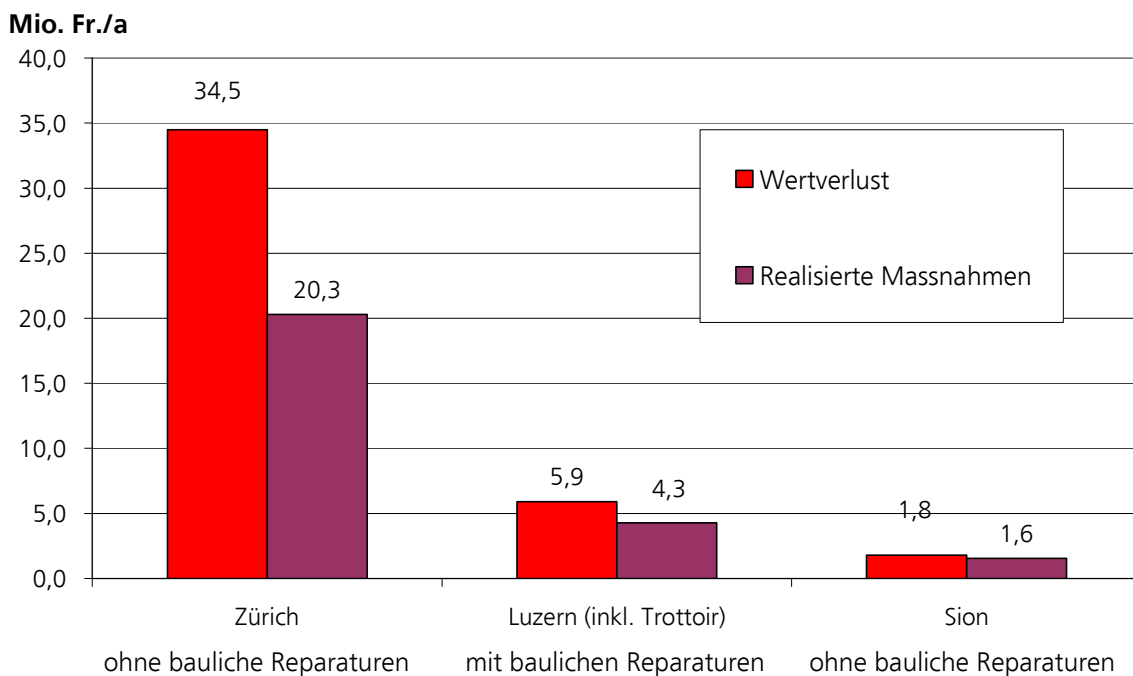


Abbildung 11: Vergleich der realisierten Massnahmen mit dem Wertverlust

Die Entwicklung des Strassennetzes der Stadt Zürich von 1993 bis 2006 ist in Abbildung 12 festgehalten. Der Zustand hat sich über diesen Zeitraum verschlechtert: Da sich der Anteil der Strassen in den schlechteren Zustandskategorien vergrösserte, hat sich der mittlere Zustandsindex in diesem Zeitraum erheblich verschlechtert. Der zu geringe Mitteleinsatz für die Substanzerhaltung schlägt sich somit in erwarteter Weise in der Zustandsentwicklung nieder.

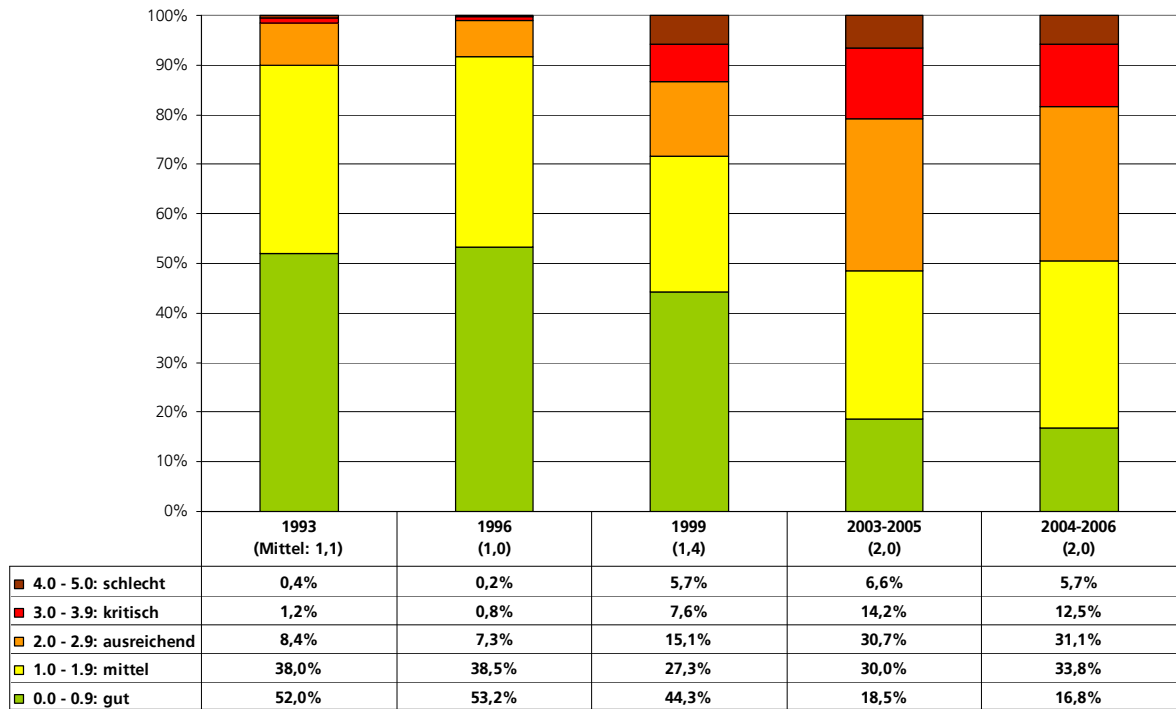
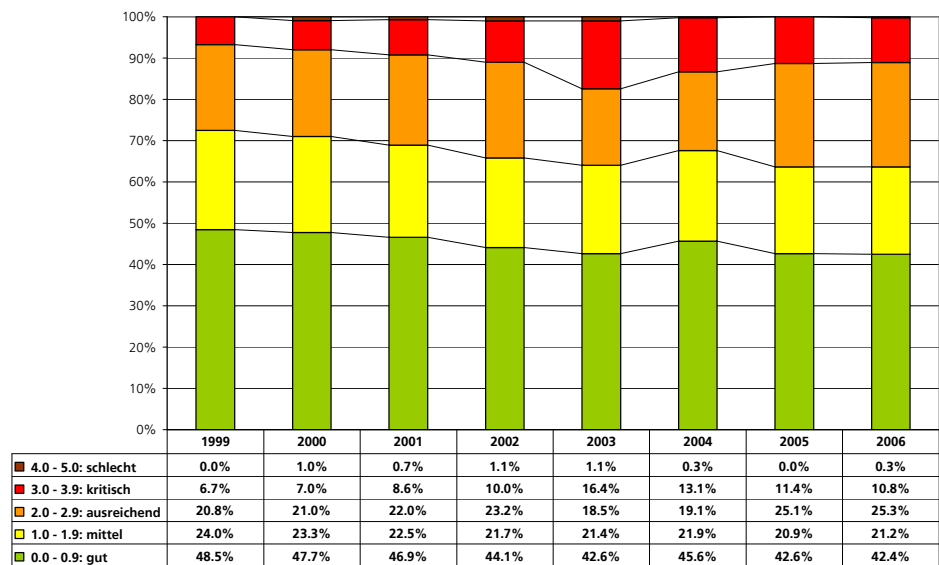


Abbildung 12: Zustandsentwicklung – Strassennetz Stadt Zürich

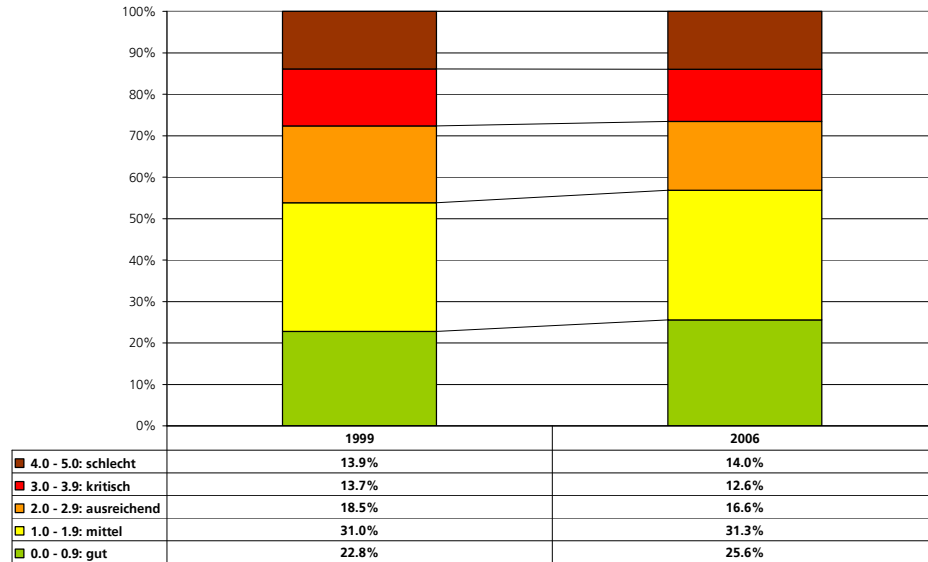
Für Luzern liegen seit 1999 jährliche Zustandsdaten vor (Abbildung 13). Hier hat sich der Zustand in den letzten 8 Jahren nur geringfügig verändert. Aufgrund des ebenfalls zu geringen Mitteleinsatzes würde man eine zumindest geringe Verschlechterung des Zustands erwarten.



■ Mittlerer Zustandsindex I_1 : 1.3 1.4 1.4 1.5 1.6 1.5 1.5 1.5

Abbildung 13: Zustandsentwicklung – Strassennetz Stadt Luzern

Die Stadt Sion hat bisher erst zwei Zustandsaufnahmen vorgenommen. Die Zustandsentwicklung in Abbildung 14 zeigt eine im Wesentlichen stabile Zustandsverteilung.



■ Mittlerer Zustandsindex I_1 : 2.0 1.9

Abbildung 14: Zustandsentwicklung – Strassennetz Stadt Sion

Die folgende Tabelle fasst die oben präsentierten Resultate der Fallbeispiele in einem Überblick zusammen.

	Analyisierte Periode (Massnahmen)	Zustandsentwicklung (mittlerer Zustandsindex)	Realisierte Massnahmen/Wertverlust
Zürich	1993 – 2006	1.1 → 2.0	59%
Luzern	1999 – 2006	1.3 → 1.5	73%
Sion	1999 - 2006	2.0 → 1.9	89%

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse

3.6 Vertiefung Zürich

Für die Stadt Zürich stehen detaillierte Zustands- und Massnahmendaten zur Verfügung. Damit sind zusätzlich zu den Aussagen auf Stufe Gesamtnetz auch solche auf Stufe Teilnetz und sogar Einzelabschnitt möglich. Im Folgenden wird die Zustandsentwicklung auf Ebene Quartier, Ausführungszeitpunkt und Wirkung der Massnahmen genauer untersucht.

3.6.1 Zustandsentwicklung auf Ebene Quartier

Die folgende Abbildung zeigt die Zustandsverteilung der im Jahre 2003 aufgenommenen Strassen nach Quartieren sowie die nachfolgende Aufnahme derselben Strassen aus dem Jahr 2006 in der Stadt Zürich.

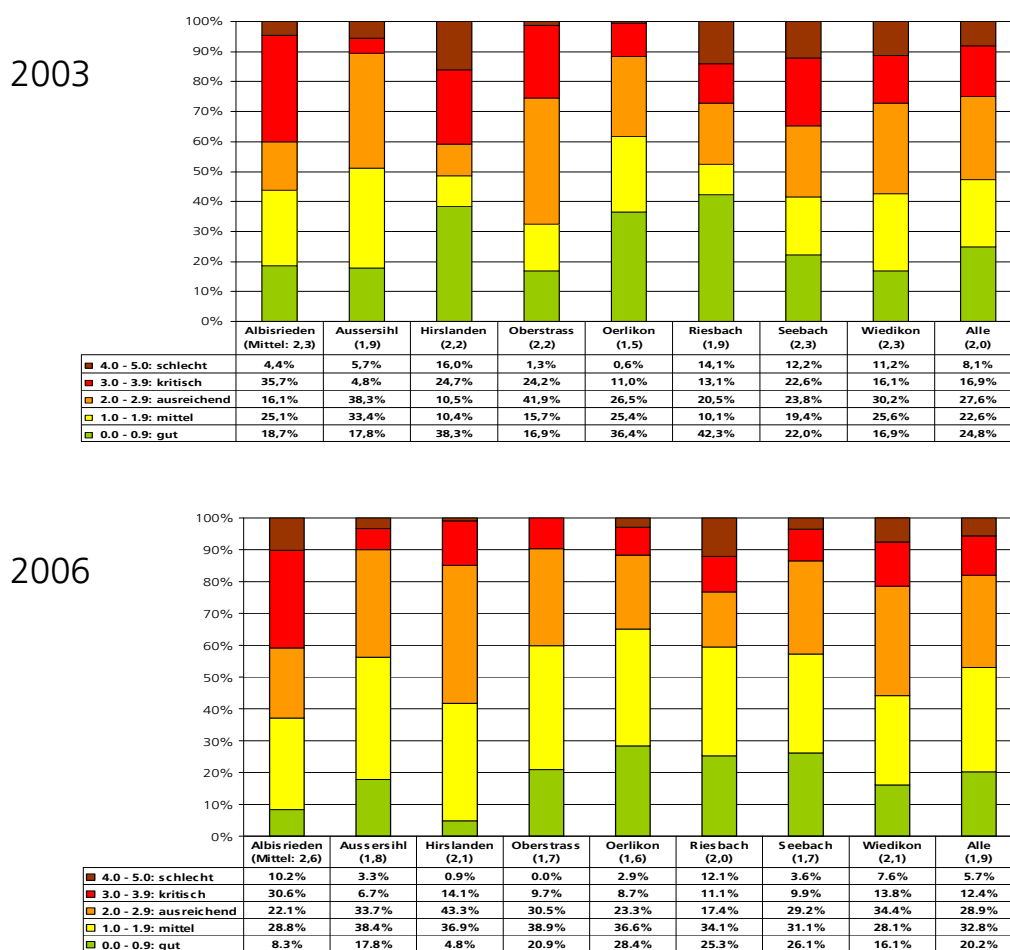


Abbildung 15: Zustandsentwicklung der in den Jahren 2003 und 2006 aufgenommenen Strassen nach Quartieren

Der Vergleich der Jahre 2003 und 2006 zeigt, dass sich der Zustand der Strassen in den einzelnen Quartieren in diesem Zeitraum unterschiedlich entwickelt hat. So gibt es Quartiere, in denen die Zustandsverteilung der Strassen ungefähr identisch bleibt (z.B. Aussersihl). Es gibt aber auch solche, in denen sich der Strassenzustand verschlechtert (z.B. Albisrieden) bzw. verbessert hat (z.B. Seebach). Die Gründe für diese Veränderungen sind vielfältig (Massnahmen, Verschleiss, unterschiedliche Bewertung bei den Aufnahmen, usw.). Häufig bestimmen grossflächige Abschnitte die Zustandsentwicklung eines ganzen Quartiers. Dieser Effekt kommt umso mehr zum Tragen, je kleiner das betrachtete Teilnetz ist.

3.6.2 Ausführungszeitpunkt der Massnahmen

In Zürich werden während der Inspektion Massnahmen mit Typ, Ort und Ausführungszeitpunkt vorgeschlagen. Bedingt durch Budgetrestriktionen, Koordination mit Drittbeteiligten oder Zusammenfassen von Strassenabschnitten zu Massnahmenpaketen werden die Massnahmen auf der Zeitachse verschoben. Ein zeitliches Verschieben nach hinten ist dabei wesentlich häufiger zu beobachten als das Vorziehen einer Massnahme (Abbildung 16). Dabei ist aber auch zu beachten, dass sich die Massnahmen durch die Koordination mit Dritten verändern.

Ausgeführt bzw. verschoben [Jahr]

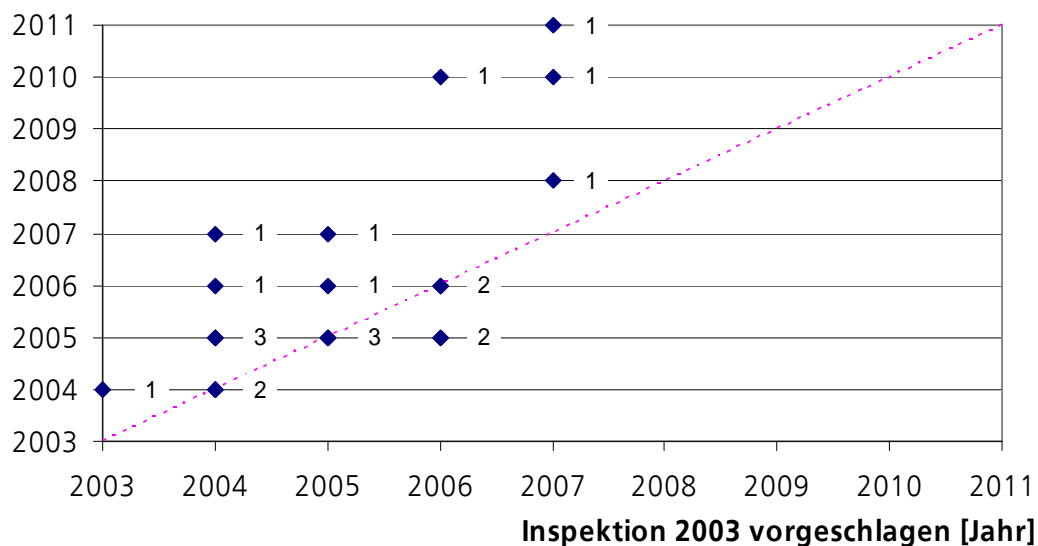


Abbildung 16: Vergleich des während der Inspektion vorgeschlagenen und des tatsächlichen Ausführungszeitpunkts von Massnahmen (mit Angabe der Anzahl Strassenabschnitte)

3.6.3 Wirkung der Massnahmen

Die Wirkung von Massnahmen äussert sich in Form einer Zustandsverbesserung. Die folgende Graphik zeigt die tatsächliche Wirkung (Zustandsverbesserung) der Massnahme „Erneuerung Oberbau“, welche maximal eine Zustandsverbesserung von 5.0 zur Folge hat (vor Ausführung der Massnahme Strassenabschnitt mit Zustandswert 5.0, nach Ausführung mit Zustandswert 0.0) anhand realer Beispiele aus der Stadt Zürich. In Abbildung 17 stellt der obere Wert der Balken den Ausgangszustand (vor Ausführung der Massnahme) und der untere Teil den Endzustand (nach Ausführung der Massnahme) dar. In der Mitte der Balken ist die Wirkung (Differenz von Ausgangs- und Endzustand) angegeben.

Zustandsindex I1 2003 bzw. 2006

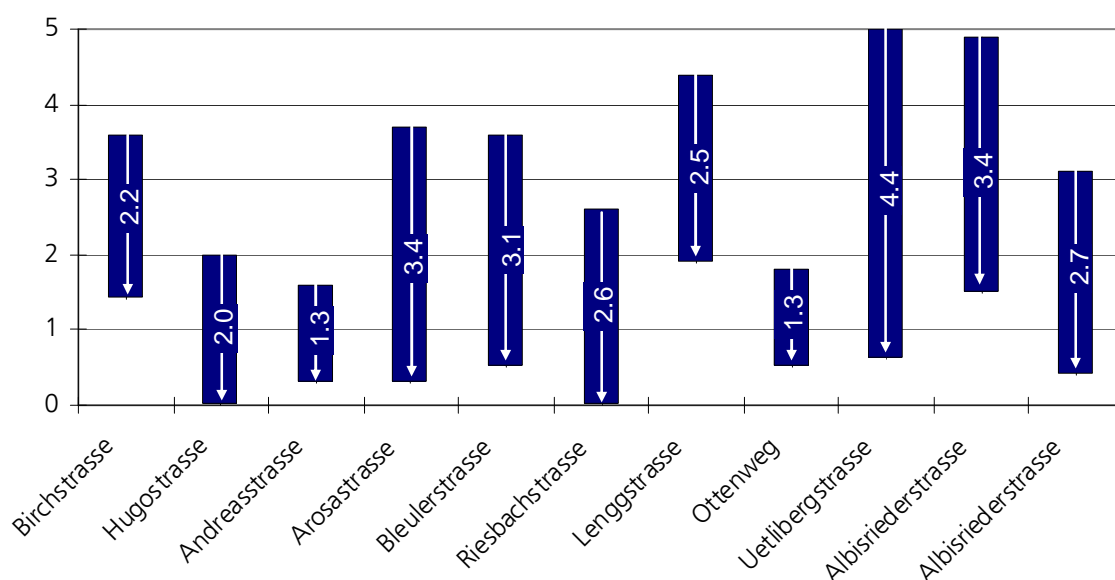


Abbildung 17: Wirkung der Massnahme „Erneuerung Oberbau“

Abbildung 17 zeigt, dass die beobachtete Wirkung einer Massnahme oft geringer als die optimale Wirkung ist. Der Hauptgrund liegt in der Ausführung von kombinierten Projekten, bei denen vielfach Massnahmen zu einem aus Sicht Strasse unnötig frühen Zeitpunkt zur Ausführung kommen. In einzelnen Fällen bestehen auch Unterschiede in den Perimetern der Zustandsaufnahmen und der tatsächlich realisierten Massnahmen.

4 Erkenntnisse

4.1 Forschungsfragen

Wie in Kapitel 2.2 erläutert stellen sich bei der Anwendung des Grundmodells Werterhaltung verschiedene Fragen (Abbildung 18). Anhand der Fallbeispiele wurde das Grundmodell Werterhaltung auf die Forschungsfragen untersucht. Diese werden im Unterkapitel 4.2 diskutiert.

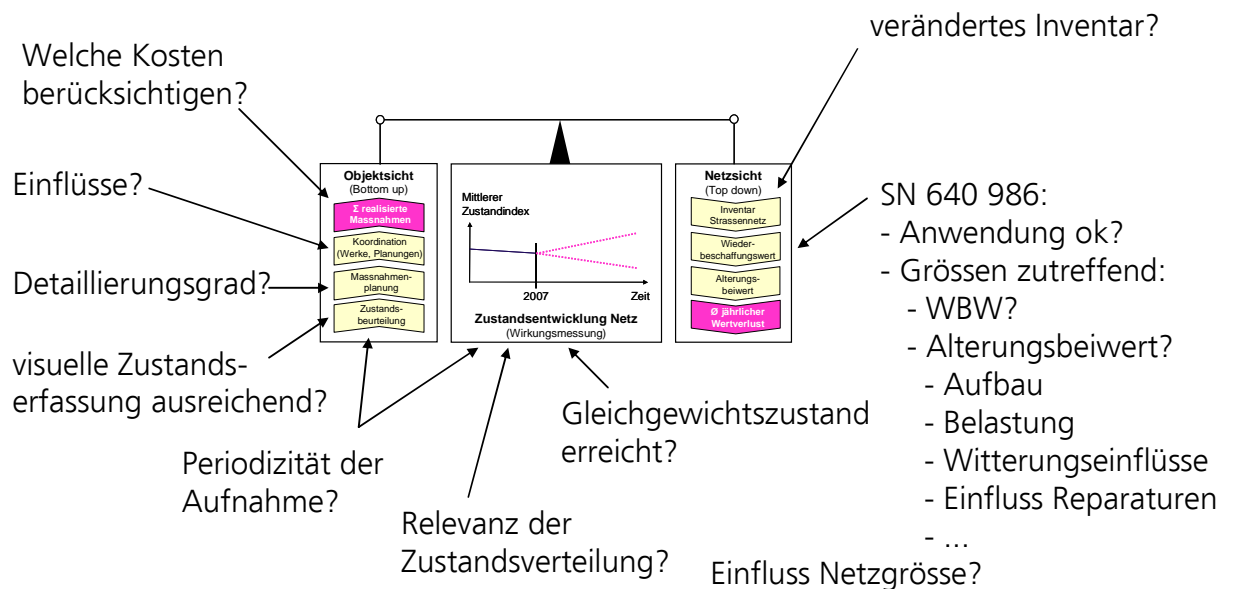
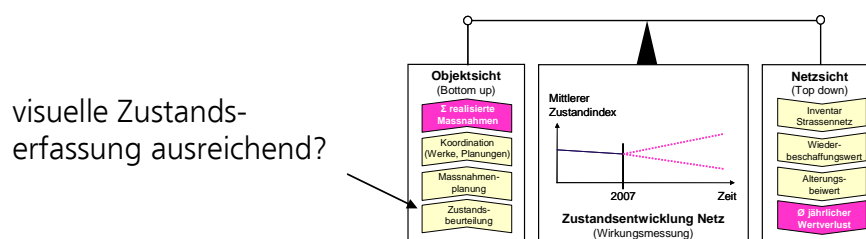


Abbildung 18: Forschungsfragen zum Grundmodell Werterhaltung

4.2 Erkenntnisse zu den Forschungsfragen

4.2.1 Zustandsbeurteilung



Die visuelle Zustandsbeurteilung kann als ausreichend bezeichnet werden. Sie liefert plausible Resultate. Der Umfang der beobachteten Zustandsveränderungen zwischen zwei Feldaufnahmen liegt in den meisten Fällen im erwarteten Rahmen. Abweichungen des Zustandsindex um eine Zustandskategorie (z.B. 3.3 statt 2.3) sind aufgrund unterschiedlicher subjektiver Einschätzung in Einzelfällen möglich. Bei einer Netzbetrachtung gleichen sich diese Abweichungen in der Regel wieder aus.

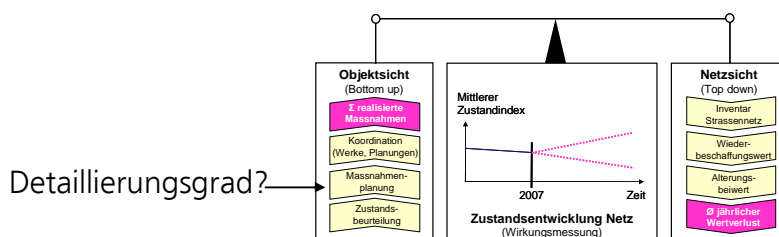
Es empfiehlt sich, die Zustandsbeurteilung durch Fachpersonen mit vertieften Kenntnissen über das zu beurteilende Strassennetz ausführen zu lassen. Darüber hinaus ist Kontinuität im Aufnahmeteam wichtig, um eine möglichst konsistente Beurteilung des Zustands im Zeitverlauf zu gewährleisten.

Die Bildung von „homogenen“ Abschnitten hat sich weitgehend bewährt. In der Regel bestehen diese Abschnitte im Innerortsbereich aus einer ganzen Strasse (Strassenname). Längere Strassen werden zustandsbedingt unterteilt. Es ergibt sich eine durchschnittliche Abschnittslänge von rund 300 m. Die Bildung von homogenen Abschnitten ermöglicht es, im Rahmen der Feldaufnahmen einen Massnahmenvorschlag zu machen. Zudem erhöht die Bildung von längeren Abschnitten die Leistung bei den Feldaufnahmen und vermindert die Datenmenge. Allerdings ist die Schätzung des Schadenumfangs als Prozentsatz des Abschnitts angesichts variierender Abschnittslängen anspruchsvoll.

Der Aufwand für die visuelle Zustandserfassung hält sich in vertretbarem Rahmen. In der Stadt Zürich werden durch ein Aufnahmeteam an einem Tag rund 9 km Strassen aufgenommen. Als Zusatznutzen ist die periodische, systematische Sichtung der Strassen zu berücksichtigen.

Vergleiche mit anderen Methoden zur Zustandserfassung (z.B. messtechnische Verfahren) wären wünschenswert. Dazu müssten die gleichen Abschnitte mit verschiedenen Techniken beurteilt und die Zustandsindizes und der Aufwand verglichen werden.

4.2.2 Massnahmenplanung

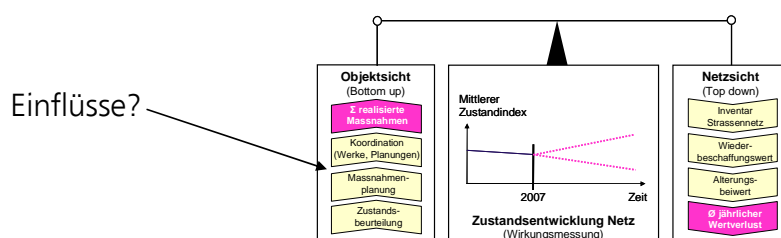


Der Begriff „Massnahmenplanung“ muss überprüft werden. Der Begriff „Massnahmenvorschläge“ wäre wohl eher angebracht, da Massnahmen nur vorgeschlagen und in der Regel erst nach Koordination mit Dritten geplant und projektiert werden.

Das Konzept der Massnahmenvorschläge mit Art, Umfang, Zeitpunkt und Kostenschätzung mittels Richtwerten als Grundlage für die mittel- und längerfristige Massnahmenkoordination und Finanzplanung hat sich in Zürich bewährt. Der Detaillierungsgrad (vier unterschiedlich tiefgreifende Massnahmen) ist ausreichend.

In den drei betrachteten Gemeinden kommen nicht tiefgreifende Massnahmen (Dünnschichtbelag, Erneuerung Deckbelag) relativ selten zur Ausführung. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass vor allem kombinierte Projekte mit einem tiefen Eingriff in die Substanz zur Ausführung gelangen.

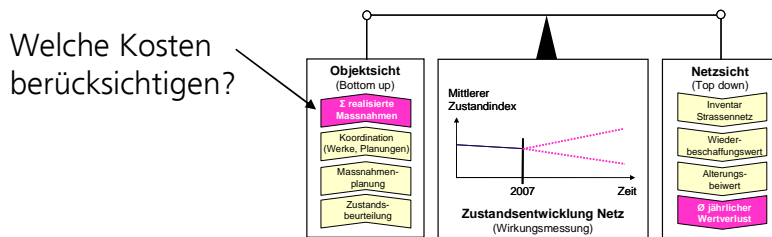
4.2.3 Koordination



Die Koordination der Massnahmen mit den Vorhaben anderer Bedürfnisträger (Wasser, Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Beleuchtung,...) spielt in der Erhaltungsplanung im Innerortsbereich eine zentrale Rolle. Projekte werden häufig durch Dritte ausgelöst. Ausführungszeitpunkt, Typ und Umfang der Massnahmen können so vom ursprünglich vorgeschlagenen abweichen. Unter anderem werden trotz eines relativ guten Zustands der Strassen tiefgreifende Massnahmen realisiert, so dass die damit verbundene Zustandsverbesserung nur gering ist. Die isolierte Betrachtungsweise aus Sicht Strasse muss daher mit einer Gesamtsicht aller Beteiligten ergänzt werden. Generell lässt sich sagen, dass durch eine frühzeitige und längerfristige Koordination der Nutzen der einzelnen Beteiligten sowie der Allgemeinheit und somit auch der Gesamtnutzen steigt.

Der Aufwand und die Komplexität der Koordination steigen mit der Grösse der Gemeinde. Grössere Gemeinden haben in der Regel eine höhere Anzahl beteiligter Stellen. Dazu kommt, dass in kleineren Gemeinden vielfach dieselbe Person für die Erhaltung verschiedenster Infrastrukturen (z.B. Strassen und Kanalisationen) zuständig ist und so die Koordination von Anfang an beinahe implizit geschieht.

4.2.4 Realisierte Massnahmen

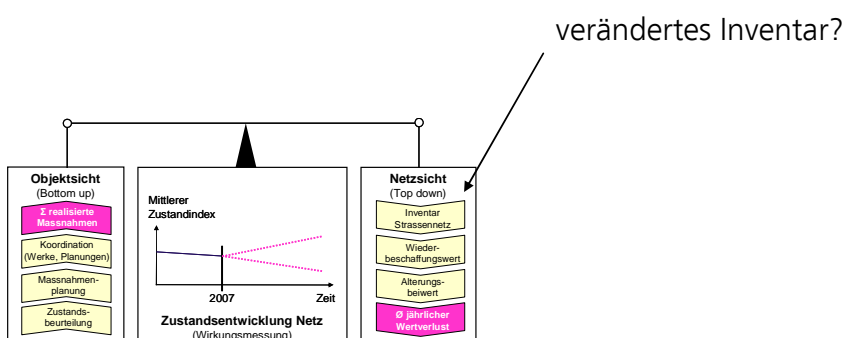


Die realisierten Massnahmen stellen den wesentlichen Teil der Leistung dar, die für die Erhaltung zureichender Organisation dar. Entsprechendes Augenmerk sollte auf die Erfassung von wichtigen Kennzahlen zu den realisierten Massnahmen gelegt werden (Art, Umfang, Kosten).

Die Schwierigkeit in der Zusammenstellung der realisierten Massnahmen besteht oft darin, die Kosten der reinen Strassenerhaltung von den Ausgaben zur Wertvermehrung (zusätzliche Strassen und Rad- und Fusswege, Gestaltung usw.) abzugrenzen. Die Kosten für die Erhaltung der Strassen müssen auch klar von den Erhaltungskosten weiterer Anlagen im Strassenraum (Kanalisierungen, Wasser-, Telekommunikations- und Stromleitungen usw.) abgegrenzt werden.

In diesem Bereich besteht grosser Handlungsbedarf. Zum einen sind bei der Ermittlung der entsprechenden Kennwerte bei den Städten und Gemeinden neben den Kosten für Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen auch die Kosten für Reparaturen zu erfassen. Zum anderen fehlen Grundlagen für eine eindeutige Festlegung der zu berücksichtigenden Kosten im Sinne des Grundmodells Werterhaltung.

4.2.5 Inventar Strassennetz



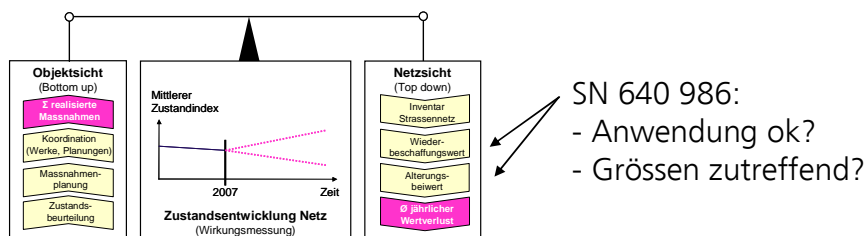
Um die Vergleichbarkeit der Netz- mit der Objektsicht und die Konsistenz von Betrachtungen über längere Zeitperioden zu garantieren, ist es wichtig, das Inventar am Anfang klar zu definieren. Unter anderem ist der Umgang mit Privatstrassen oder unbefestigten Strassen festzulegen.

Bei den drei betrachteten Gemeinden hat sich das Inventar (Strassenflächen) während der untersuchten Zeitperioden nur wenig verändert. Dies dürfte die Regel sein. Somit konnten die reali-

sierten Massnahmen und der Wertverlust über eine längere Zeitperiode direkt miteinander verglichen werden. Bei Bedarf können die Auswirkungen von Inventaränderungen auf den Wertverlust einfach berechnet werden.

Zur einfachen Berechnung des Wertverlusts sollte die Strukturierung des Inventars auf die Norm SN 640 986 abgestimmt sein. Dabei ist die Zuweisung der Strassenabschnitte zu den einzelnen Belastungskategorien auf verschiedene Arten möglich (Zuteilung nach Verkehrslastklasse, nach Strassentyp oder nach repräsentativem Querschnitt).

4.2.6 Wiederbeschaffungswert, Alterungsbeiwert, Wertverlust

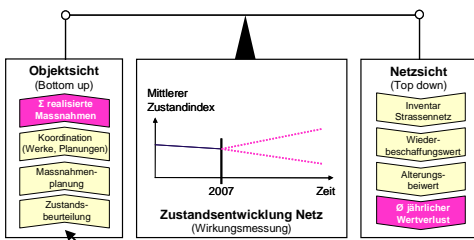


Das Vorgehen nach Norm SN 640 986 ist transparent und die Anwendung der Norm stellte sich auch für kleine Gemeinden als einfach und wenig zeitaufwendig heraus.

Bei den Wiederbeschaffungswerten sind regionale Unterschiede nicht auszuschliessen. So variieren die Durchschnittspreise des Bundesamts für Statistik für den Erd-, Unter- und Oberbau in den Grossregionen der Schweiz beträchtlich. Die in der Norm angegebenen Durchschnittspreise sind möglicherweise für diverse Regionen anzupassen.

Eine tiefgehende Analyse und damit Verifikation der Alterungsbeiwerte ist nur bei einer langfristigen Beobachtung der Zustandsentwicklung von einzelnen Strassenabschnitten möglich. Die Gegenüberstellung des Mitteleinsatzes für die Erhaltung und der Zustandsentwicklung in den Fallbeispielen weist darauf hin, dass die Werte plausibel sind. Der Einfluss der Reparaturen auf das Alterungsverhalten ist noch nicht ausreichend erforscht.

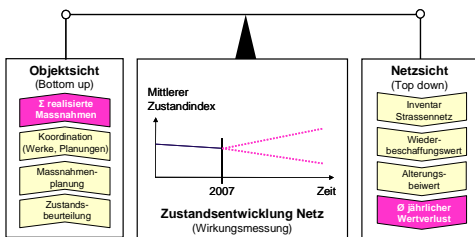
4.2.7 Zustandsentwicklung und Periodizität der Aufnahmen



Periodizität der Aufnahme?

Der Aufnahmerhythmus von 3 Jahren hat sich in der Stadt Zürich bewährt. Bei einer Aufnahme alle 3 Jahre sind Zustandsveränderungen feststellbar. Diese sind jedoch in der Regel nicht sehr ausgeprägt, so dass der optimale Zeitpunkt für Massnahmen nicht verpasst wird. Auch für Massnahmenvorschläge ist der 3-Jahresrhythmus geeignet. Es können Massnahmen für den Zeitraum von 4 - 6 Jahren vorgeschlagen werden. Massnahmenvorschläge über diesen Zeitraum hinaus sind kaum sinnvoll, da eine solch langfristige Zustandsentwicklung nicht mit ausreichender Genauigkeit abgeschätzt werden kann.

4.2.8 Gegenüberstellung von Objekt- und Netzsicht



Gleichgewichtszustand erreicht?

Relevanz der Zustandsverteilung?

Anhand der Fallbeispiele konnten keine schlüssigen Aussagen zum Erreichen des Gleichgewichtszustands eines Netzes bzw. zur Relevanz der Zustandsverteilung gemacht werden, da die Zustände in den untersuchten Fallbeispielen zu ähnlich sind. Zur Beantwortung dieser Fragen müssten Fallbeispiele mit extremen Zustandsverteilungen (sehr guter und sehr schlechter Zustand) untersucht werden.

Die Zustandsverteilung kann zumindest als Indikator für den Umfang anstehender Massnahmen und damit einhergehender Erhaltungskosten verwendet werden: Eine schlechtere Zustandsverteilung erfordert höhere Ausgaben für Erhaltungsmassnahmen, eine bessere Zustandsverteilung führt zu geringeren erforderlichen Ausgaben.

Stehen Massnahmenkosten und Wertverlust im Gleichgewicht, stellt sich ein konstanter Verlauf des mittleren Zustands ein. Ist die Wirkung ausgeführter Massnahmen geringer als angenommen (z.B. wenn Massnahmen vorzeitig durch Dritte ausgelöst werden), erfordert dies auf Seite „Objektsicht“ einen grösseren Umfang realisierter Massnahmen mit entsprechend erhöhten Kosten. Diese Kosten sind durch Dritte zu tragen.

Realisierte Massnahmen, Wertverlust und Zustandsentwicklung sind wichtige Kennzahlen zur Erfüllung des Erhaltungsauftrags für ein Strassennetz. Die Etablierung der Prozesse, welche diese Informationen liefern, wird den Verantwortlichen empfohlen.

5 Forschungsbedarf

1. Vorgaben zur konsistenten Erfassung realisierter Massnahmen:
 - Festlegung der zu dokumentierenden Angaben zu den Erhaltungsmaßnahmen.
 - Explizite Angaben zu anderen Beteiligten, insbesondere Auslöser der Massnahmen, Aufteilung der Massnahmenkosten.
 - Abgrenzung zu wertvermehrenden Massnahmen („Ausbau“).
 - Die Erfassung der Kosten von Erhaltungsmaßnahmen, welche über mehrere Jahre hinweg ausgeführt werden, ist einheitlich zu regeln.
2. Reparaturmassnahmen
 - (Einheits-)Kosten von Reparaturmassnahmen.
 - Nutzen von Reparaturmassnahmen: Einfluss auf das Alterungsverhalten von Strassen.
 - Die Abgrenzung von Reparaturmassnahmen zu Erhaltungsmaßnahmen erfolgt uneinheitlich: Kriterien sind unter anderem die Art der ausgeführten Massnahme, die Höhe der Massnahmenkosten, der zeitliche Abstand vom Massnahmenentscheid bis zur Ausführung sowie Randbedingungen wie z.B. die für die Ausführung einer Massnahme zur Verfügung stehende Zeit (Arbeiten in Zeitfenstern). Reparaturmassnahmen sind in Abgrenzung zu Erhaltungsmaßnahmen zu definieren.
 - Im gleichen Sinn sind Reparaturmassnahmen gegenüber Massnahmen des betrieblichen Unterhalts abzugrenzen.
 - Es bietet sich an, die Erkenntnisse dieser Forschungsarbeiten in einer Norm zum Thema "Reparaturmassnahmen" festzuhalten.
3. Erarbeitung optimierter Erhaltungsstrategien unter Berücksichtigung der Bedürfnisse weiterer Beteiligten
 - Erarbeitung von optimierten Erhaltungsstrategien aus „Strassensicht“ mit Hilfe eines Prognosemodells.
 - Berücksichtigung der Vorhaben aller an der Erhaltung beteiligten Stellen (Koordination, „Gesamtsicht“).
4. Wirkungsweise des Mechanismus
 - Untersuchung der Wirkung unterschiedlicher Erhaltungsstrategien auf die Entwicklung der Zustandsverteilung und der Erhaltungskosten für unterschiedliche Zustandsverteilungen.
5. Vergleiche mit anderen Methoden zur Zustandserfassung (z.B. messtechnische Verfahren)
 - Zustandserfassung gleicher Abschnitte mit verschiedenen Methoden. Vergleich von Zustandsindizes und Aufwand, inklusive Interpretation der Resultate.

- Aufzeigen erforderlicher Arbeiten zur Erreichung vergleichbarer Daten für ein Benchmarking der Gemeinden: Vereinheitlichung der Methodik der Zustandserfassung oder „Umrechnung“ der Zustandsindizes aus unterschiedlichen Methoden der Zustandserfassung.
6. Regionale Differenzierung der Preise zur genaueren Abschätzung der Wiederbeschaffungswerte von Strassennetzen.

A1 Weitergehende Literatur

- [1] SN 640 925b: Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF) – Zustandserhebung und Indexbewertung; VSS, 2003
- [2] SN 640 986: Erhaltungsmanagement in Städten und Gemeinden – Durchschnittlicher jährlicher Mittelbedarf für die Erhaltung von Strassennetzen; VSS, 2006
- [3] Schweizerischer Gemeindeverband und Schweizerischer Städteverband (Hrsg.): Werterhalt von Strassen – Leitfaden für Politiker und Praktiker; 2005
- [4] Bürgi M.: Werterhaltung im Strassennetz am Beispiel Zürich; in *Strasse und Verkehr*, 9/2003
- [5] Bürgi M., Göbbels D., Pfyl J., Hitz P.: Zukunftsfähige Werterhaltung im Stadtstrassennetz; in *Baublatt/Bauszene*, 2/2006
- [6] Bürgi M., Hitz P., Stahl M.: Strasseninformationssystem der Stadt Zürich – GIS-Anwendung für die Werterhaltung; in *Geomatik Schweiz*, 5/2003
- [7] Bundesamt für Strassen: Abschätzung des durchschnittlichen jährlichen Wertverlustes von kommunalen Strassennetzen; Forschungsbericht Nr. 1108, 2005
- [8] Bundesamt für Strassen: Management der Strassenerhaltung für Strassennetze in Städten und Gemeinden – Erhaltungsplanung bei Infrastrukturanlagen; Forschungsbericht Nr. 1049, 2003
- [9] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Empirische Absicherung der Verhaltensfunktionen für Wirtschaftlichkeitsrechnungen und PMS-Anwendungen; *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, Heft 965, 2007
- [10] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Erarbeitung eines Verfahrens zur Bildung von Erhaltungsabschnitten für das Erhaltungsmanagement (PMS) auf Basis von Zustands- und Aufbaudaten; *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, Heft 972, 2007