



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

Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen

Synthesebericht

Rapport de synthèse

Synthesis Report

**ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Prof. H.P. Lindenmann**

**Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement,
Forschungsauftrag VSS 2004/710, Gesamtprojektleitung, auf Antrag
des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute
(VSS)**

Dezember 2008

1259

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en).
Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes.
Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade.
Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) appointed by the Swiss federal roads authority.
Supply: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen

Synthesebericht

Rapport de synthèse

Synthesis Report

**ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Prof. H.P. Lindenmann**

**Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement,
Forschungsauftrag VSS 2004/710, Gesamtprojektleitung, auf Antrag
des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute
(VSS)**

Dezember 2008

1259

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Prof. Hans Peter Lindenmann

Mitglieder

Frank Schiffmann, dipl. Ing.

Franziska Baumgartner, dipl. Ing. ETH

Federführende Fachkommission

Fachkommission 7: Erhaltungsmanagement

Begleitkommission

Präsident

Dr. Franz Gallati

Vizepräsident

Paul Zosso

Mitglieder

Joachim Albrecht

Hans Bär (bis 2007)

Martin Bürgi (bis 2008)

Dirk Göbbels (ab 2008)

Laurent Linder

Christiane Raab

Jean-Claude Turtschy (bis 2005)

Antragsteller

Verband der Schweizer Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	11
	Summary	15
1	Einleitung	19
1.1	Anlass	19
1.1.1	Ausgangslage	19
1.1.2	Planungsmethoden und -grundlagen; State of the Art	19
1.1.3	Fragestellungen im Forschungspaket.....	22
1.2	Zweck und Ziele des Forschungspaketes	22
1.3	Erwartete Resultate und Nutzniessung	24
2	Aufträge	26
2.1	Gesamtprojektleitung und Evaluation Einzelprojekte	26
2.2	Gesamtprojektleitung – VSS 2004/710.....	26
2.3	Einzelprojekt 1 – Standardisierte Erhaltungsmassnahmen – VSS 2004/711.....	27
2.3.1	Thema und Ziele	27
2.3.2	Erwartete Resultate	27
2.3.3	Beauftragter und Vertragssumme.....	27
2.4	Einzelprojekt 2 – Schadensprozesse und Zustandsverläufe (Verhaltenskurven) – VSS 2004/712.....	27
2.4.1	Thema und Ziele	27
2.4.2	Erwartete Resultate	27
2.4.3	Beauftragter und Vertragssumme.....	28
2.5	Einzelprojekt 3 – Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit – VSS 2004/713.....	28
2.5.1	Thema und Ziele	28
2.5.2	Erwartete Resultate	28
2.5.3	Beauftragter und Auftragssumme.....	28
2.6	Einzelprojekt 4 – Gesamtnutzen, Nutzen-Kosten-Verhältnisse – VSS 2004/714	29
2.6.1	Thema und Ziele	29
2.6.2	Erwartete Resultate	29
2.6.3	Beauftragte und Auftragssumme	29
2.7	Einzelprojekt 5 – Zusatzkosten infolge Verschiebung der Realisierung von Massnahmen – VSS 2004/715	29
2.7.1	Thema und Ziele	29
2.7.2	Erwartete Resultate	30
2.7.3	Beauftragter und Auftragssumme	30
2.8	Zusatzauftrag – Aufbereitung von Zustandsdaten Fahrbahnen innerorts (Stadt Genf) für das Einzelprojekt 2 – VSS 2004/716.....	30
2.8.1	Thema und Ziele	30
2.8.2	Erwartete Resultate	30
2.8.3	Beauftragter und Auftragssumme	30
3	Ausführung des Forschungspaketes	31
3.1	Paketstruktur.....	31
3.2	Budget, Aufwand und Zeitbedarf	31
3.3	Organisation der Durchführung	32
4	Ergebnisse	34
4.1	Prozessablauf der Massnahmenplanung Fahrbahnen.....	34
4.2	Standardisierte Erhaltungsmassnahmen.....	35
4.2.1	Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP1).....	35
4.2.2	Struktur der Kataloge Standardmassnahmen (aus Schlussbericht EP1).....	36
4.2.3	Katalog Standardmassnahmen bitumenhaltiger Oberbau (Auszug).....	39
4.2.4	Katalog Standardmassnahmen Betonoberbau (Auszug).....	40
4.2.5	Folgerungen und Empfehlung (aus Schlussbericht EP1).....	41
4.3	Schadensprozesse und Zustandsverläufe.....	41
4.3.1	Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP2).....	41
4.3.2	Methodik und Grundlagen von Verhaltensmodellen (aus Schlussbericht EP2).....	43

4.3.3	Verhaltensmodelle (aus Schlussbericht EP2).....	44
4.3.4	Folgerungen und Empfehlungen (aus Schlussbericht EP2).....	47
4.4	Einfluss und Bedeutung von Oberflächenschaden auf die Tragfähigkeit.....	49
4.4.1	Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP3).....	49
4.4.2	Strukturwertverluste (SN) durch Oberflächenschäden (aus Schlussbericht EP3).....	50
4.4.3	Strukturwertgewinne (SN) durch Standardmassnahmen (aus Schlussbericht EP3).....	52
4.4.4	Anwendung und Normung.....	54
4.5	Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnisse von standardisierten Erhaltungsmassnahmen.....	55
4.5.1	Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP4).....	55
4.5.2	Bestimmung der Nutzenfaktoren (aus Schlussbericht EP4).....	57
4.5.3	Bestimmung der Kostenfaktoren (aus Schlussbericht EP4).....	59
4.5.4	Bestimmung des Gesamtnutzens (aus Schlussbericht EP4).....	62
4.5.5	Erkenntnisse und Folgerungen (aus Schlussbericht EP4).....	63
4.6	Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen.....	65
4.6.1	Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP5).....	65
4.6.2	Bestimmung der Zusatzkosten mittels Kosten-Barwert-Entscheidungs-Modell (aus Schlussbericht EP5).....	66
4.6.3	Bestimmung der Zusatzkosten mittels probabilistischer Simulation (aus Schlussbericht EP5).....	73
4.6.4	Folgerungen und Empfehlungen (aus Schlussbericht EP5).....	75
5	Erkenntnisse und Folgerungen.....	79
5.1	Grundsätzliches.....	79
5.1.1	Allgemeines.....	79
5.1.2	Ergebnisse aus den Einzelprojekten.....	79
5.1.3	Einsatz der Grundlagen im Prozessablauf der Massnahmenplanung.....	80
5.1.4	Anwendung des systematischen Prozessablaufs.....	80
5.2	Zustandsniveau der Fahrbahn und Schadensentwicklung bzgl. Oberfläche und Tragfähigkeit.....	81
5.2.1	Heutiges Zustandsniveau.....	81
5.2.2	Zustandserhebung und -bewertung.....	82
5.2.3	Planung Massnahmeart und Realisierungszeitpunkt.....	83
5.2.4	Aussagekraft und Validität der Ergebnisse.....	83
6	Empfehlungen.....	85
6.1	Grundsatz.....	85
6.2	Empfehlungen für die direkte Praxisanwendung.....	85
6.2.1	Planungsprozess.....	85
6.2.2	Zustandsbewertung mit Indices.....	85
6.2.3	Verlaufskurven der Schadensprozesse.....	86
6.2.4	Indexwerte Substanz- und Gebrauchswert.....	86
6.3	Empfehlungen für das Normungswesen (VSS).....	86
6.3.1	Grundsätzliches.....	86
6.3.2	Neue Norm: Prozessablauf Massnahmenplanung Fahrbahnen.....	86
6.3.3	Neue Norm: Standardmassnahmen.....	87
6.3.4	Neue Norm: Zustandsprognose.....	87
6.3.5	Neue Norm: Evaluation von Massnahmenfolgen.....	87
6.3.6	Revision SN 640 925b.....	87
6.3.7	Revision SN 640 904.....	88
6.3.8	Revision SN 640 907.....	88
6.4	Empfehlungen bzgl. weiterer Abklärungen.....	88
6.5	Empfehlungen für neue Forschungsarbeiten.....	88
6.6	Empfehlungen zur Durchführung von Forschungspaketen.....	89
6.7	Ergebnisse und Erkenntnisse auf einen Blick (Kurzzusammenfassung).....	90
	Anhang.....	91
	Gliederung der Normen FK7.....	93
	Literaturverzeichnis.....	95
	Projektabschluss.....	99
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen.....	107

Zusammenfassung

Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement; Fahrbahnen

Synthesebericht

Die systematische Massnahmenplanung bei Fahrbahnen stellt im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen einen der zentralen und entscheidenden Prozesse dar. Sie zeigt, welche Erhaltungsmassnahmen in einem längeren Betrachtungszeitraum wann auszuführen sind, um wirtschaftlich höchsten Nutzen mit den getätigten Aufwendungen zu erzielen. Die Grundlagen für diese Planungs- und Optimierungsaufgabe wurden im Rahmen des Forschungspaketes VSS 2004/710 – 716 für die Schweiz erarbeitet.

Die engen Beziehungen zwischen den in den Einzelprojekten zu entwickelnden Planungsinstrumenten konnten in den Forschungsarbeiten durch die Vernetzung in einem Forschungspaket berücksichtigt werden. Dies ermöglichte eine optimale Abstimmung der Forschungsergebnisse. Die Hauptresultate der fünf Einzelprojekte und deren Verwendung im Tätigkeitsablauf der systematischen Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement sind in diesem Synthesebericht zum Forschungspaket konkret, zusammengefasst aufgezeigt.

Der Synthesebericht setzt sich aus zwei zentralen Hauptteilen zusammen:

- Darstellung der Hauptresultate und
- Erkenntnisse, Folgerungen und Empfehlungen.

Die Darstellung der Hauptresultate (Kap. 4) führt einerseits die wichtigsten Ergebnisse der Einzelprojekte (EP1 bis 5) auszugsweise original aus den entsprechenden Schlussberichten konkret auf. Andererseits werden je Einzelprojekt zusätzlich die für die praktische Anwendung wichtigsten Hinweise gegeben.

Das Kapitel „Erkenntnisse und Folgerungen“ (Kap. 5) beleuchtet den Einsatz der in den fünf Einzelprojekten erarbeiteten Forschungsergebnisse in einem strukturierten Prozessablauf der systematischen Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement kritisch aus der Sicht der praktischen Verwendbarkeit. In diesem Kapitel werden auch Mängel an bestehenden, bisher verwendeten Grundlagen aufgeführt, die sich aufgrund neuer Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit gezeigt haben. Gleichzeitig wird die Aussagekraft und Validität der Ergebnisse besprochen und beurteilt.

Das Kapitel 6 enthält Empfehlungen für die direkte Praxisanwendung einzelner Resultate und Empfehlungen für das Normungswesen (VSS). Gleichzeitig werden Hinweise für direkt erforderliche Folgearbeiten angegeben, welche sich als dringlich erwiesen haben. Schliesslich werden die jetzt noch bestehenden Lücken bzgl. Grundlagen bei der Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen aufgezeigt und deren Bedeutung beurteilt.

In der folgenden Abbildung (Abb. 1.1) ist einerseits der sich aufgrund sämtlicher, koordiniert bearbeiteter Grundlagen in den Einzelprojekten gemeinsam abgeleitete Prozessablauf der Massnahmenplanung Fahrbahnen in der Grundform dargestellt. Andererseits zeigt die Abbildung formell, in welchen der vier Planungsschritte welche im Rahmen des durchgeführten Forschungspaketes in den Einzelprojekten erarbeiteten Grundlagen eingesetzt werden. Die dargestellten Verknüpfungen machen deutlich, wie eng und abhängig die zu den einzelnen Planungsschritten zur Beurteilung der Aufgaben nötigen Grundlagen (EP's) verbunden sind.

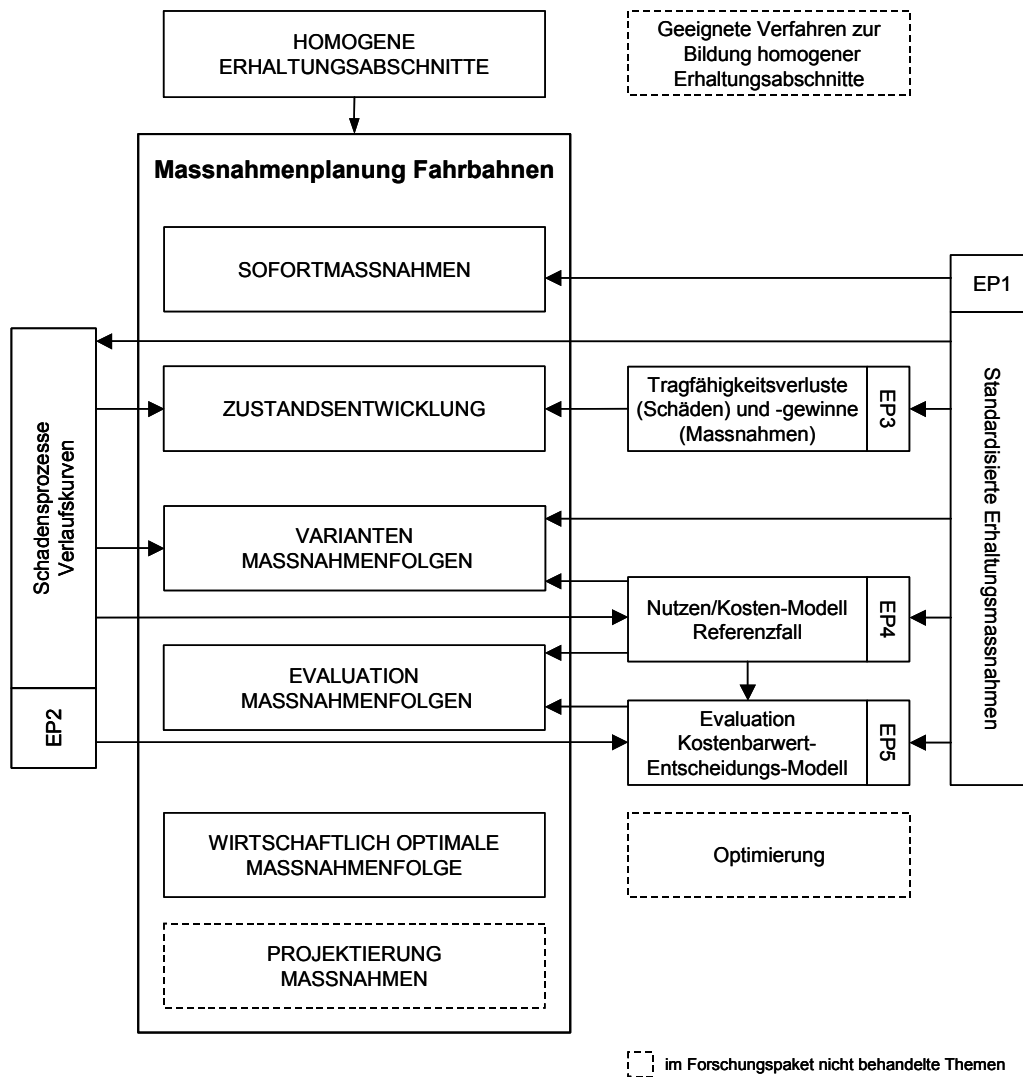


Abb. 1.1 Prozessablauf Massnahmenplanung

Die folgende Tabelle (Tab. 1.1) zeigt eine Übersicht über die im gesamten Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen erarbeiteten Grundlagen, deren praktische Verwendbarkeit sowie wo sinnvoll, die Umsetzung und damit Verbreitung mit Normen (VSS).

Als Schlussbemerkung sei hier ausdrücklich auf die hohe Eignung der Durchführung und Abwicklung von Forschungspaketen hingewiesen. Die Bearbeitung des durchgeführten Forschungspaketes Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen hat folgendes gezeigt:

- Die Paketbildung bei verwandten bzw. sich ergänzenden Einzelprojekten ermöglicht die Behandlung ganzer Fragenkomplexe in Einem. Damit wird auch die Gefahr von parallel laufenden ähnlichen Forschungsprojekten vermindert.
- Die Zeitersparnisse bei Durchführung von Einzelprojekten in einem Paket sind enorm hoch. Im vorliegenden Fall dürfte eine Verkürzung der Bearbeitungszeit um mehr als die Hälfte erreicht worden sein, d.h. zwei bis drei Jahre bei einer Bearbeitungszeit des Paketes von drei Jahren.
- Bei gleichzeitigem Vorliegen von im Zusammenhang stehenden Ergebnissen aus Einzelprojekten resultiert ein nicht zu unterschätzender Mehrwert, weil damit ein Wissensschub verbunden ist, der direkt in der Praxis verwendet werden kann.
- Die Erfahrung mit dem vorliegenden Forschungspaket weist einen grossen und nachhaltigen Synergieeffekt infolge gleichzeitiger, intensiver und koordinierter Bearbeitung hinsichtlich Ergebnissen aus.

- Bei gleichzeitiger, koordinierter Bearbeitung eines Forschungsthemas via verschiedene Einzelprojekte dürfte aufgrund selbstregulierender Effekte zwischen den Projektleitern und gegenseitiger Einfluss- resp. Korrekturmöglichkeiten das Nutzen-Kosten-Verhältnis der Forschungsarbeit erheblich höher resp. besser ausfallen.

Tab. 1.1 Ergebnisse und Erkenntnisse des Forschungspaketes Massnahmenplanung Fahrbahnen

Einzelprojekte		Ergebnisse und Grundlagen	Anwendung	Weitere Abklärungen	Normung
Syn.	Massnahmenplanung Fahrbahnen	Formalisierter, systematischer Planungs- und Prozessablauf	Erhaltungsmanagement von grossen Strassennetzen bedeutender Strassen	Anwendung und Umsetzung auf unterschiedlichen Strassennetzstrukturen	Integration in SN 640 920 (neu)
EP1	Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	75 Standardmassnahmen für Reparatur, Instandsetzung, Erneuerung mit Einsatzbereich, Wirkung und Kosten für die bitumenhaltigen und Betonoberbauten	Sofortmassnahmen Massnahmenplanung und Massnahmenevaluation	Langzeitliche Validierung der Rücksetzwerte	Neuerarbeitung SN 640 921, Revision SN 640 925b [34]
EP2	Schadensprozesse und Zustandsverläufe	> 130 Verhaltenskurven für Kenngrößen der Schadensmerkmale für HLS / HVS inner- und ausserorts	Prognosen der Schadensentwicklung in der Massnahmenplanung	Langzeitliche Ergänzung der Kataloge der Verhaltenskurven	Neuerarbeitung SN 640 922, Revision SN 640 925b [34]
EP3	Oberflächenschäden und Tragfähigkeit	23 Substanzverlustwerte für Oberflächenschäden und 25 Substanzgewinnwerte für standardisierte Massnahmen	Bestimmung globaler Substanzwerte zur Anlagebewertung	Ergänzung der fehlenden Substanzwert-Algorithmen	Revision SN 640 904 [35]
EP4	Gesamtnutzen Kosten-Nutzen-Verhältnis von Erhaltungsmassnahmen	Kosten/Nutzen-Modell mit definiertem Referenzfall für die Massnahmenplanung, Kostensätze Betreiber, Nutzer, Dritte	Bestimmung Nutzen-Kosten-Verhältnis von Massnahmenfolgen – Grundlage für Evaluation	Verfeinerung Kosten Dritter – Validierung an realen Beispielen	Revision SN 640 907 [36]
EP5	Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell	Zusatzkosten bei Vor- / Aufschub von Massnahmen, Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell	Evaluation von Massnahmenfolgen für längere Betrachtungszeiträume	Validierung und Verfeinerung an Praxisbeispielen	Integration in SN 640 906 (neu)

Es bedingt einiger Vorbereitung, um eine ganz deutliche Effizienzsteigerung und einen Qualitätsgewinn bei Forschungsarbeiten, die im Paket koordiniert erarbeitet werden, zu erzielen. Es seien an dieser Stelle nur gerade die Wichtigsten erwähnt:

- Die Vorbereitung von Forschungspaketten erfordert – wie das heute bereits praktiziert wird – ein sog. Initialprojekt. Im vorliegenden Fall fehlte dies, wodurch ein beträchtlicher, nicht abgeleiteter Aufwand entstand. Das Initialprojekt, welches die Einzelprojekte klar umschreibt und abgrenzt, ist entscheidend für das Gelingen des Gesamtpaketes und das Erreichen der anvisierten hohen Effizienz.
- Ebenfalls entscheidende Voraussetzung für erfolgreiche Forschungspakete ist die Position des Gesamtprojektleiters. Da es im Besonderen um die fachliche Koordination und laufende Abstimmung der Projekte untereinander geht, sind hohe Ansprüche an die Fachkompetenz des Gesamtprojektleiters gestellt. Die administrativen Belange sind einfach und stellen geringe Anforderungen. Aus diesem Grunde ist der Evaluation von Gesamtprojektleitern entsprechende Beachtung zu schenken. Es dürfte grundsätzlich schwierig sein, solche zu finden.

- Wie dieses Forschungsprojekt klar gezeigt hat, war der Aufwand für die koordinierte, gleichzeitige Gesamtleitung des Projekts mit offensichtlich unterschätztem Aufwand verbunden. Auch wenn durch das Initialprojekt die Aufwendungen für die Vorbereitung eines Forschungspaketes geregelt werden, sind für die Durchführung der Gesamtprojektleitung ausreichende Mittel zu budgetieren. Bei Einsatz eines geeigneten Gesamtprojektleiters dürften sich die Aufwendungen mehr als lohnen.

Zusammengefasst erweisen sich Forschungspakete als ausdrücklich zweckmässig für die Bearbeitung von Forschungsthemen oder Teilen davon. Die Durchführung in Paketen sollte Standard werden und Einzelprojekte nur noch in Ausnahmen bewilligt werden.

Résumé

Planification des mesures de gestion de l'entretien des chaussées

Rapport de synthèse

La planification systématique des mesures pour les chaussées est un des processus principaux et déterminants dans le cadre de la gestion de l'entretien des infrastructures routières. Elle démontre, pour une période d'observation donnée, quelles mesures d'entretien doivent être exécutées à quel moment afin d'atteindre le meilleur rapport coût-bénéfice. Les bases pour cette tâche de planification et d'optimisation ont été élaborées pour la Suisse dans le cadre du projet de recherche VSS 2004/710 – 716.

Les relations étroites entre les instruments de planification – développés dans des projets individuels – ont pu être établies dans les travaux de recherche grâce à leur intégration dans un projet de recherche. Cela a permis une concordance idéale des résultats de recherche. Le rapport de synthèse sur le paquet de recherche met en évidence les principaux résultats des cinq projets individuels et leur utilisation pour la planification systématique dans le cadre de la gestion de l'entretien des infrastructures routières.

Le rapport de synthèse se compose de deux parties principales:

- Présentation des principaux résultats et
- Enseignements, conclusions et recommandations.

La présentation des principaux résultats (chapitre 4) fait d'une part concrètement état des résultats les plus importants des projets individuels 1 à 5 par le biais d'extraits de l'original des rapports finaux correspondants. D'autre part, pour chaque projet individuel, les indications les plus importantes sont données pour la mise en pratique.

Le chapitre «Enseignements, conclusions et recommandations» (chapitre 5) analyse de manière critique et du point de vue de la mise en pratique, l'utilisation des résultats de recherche élaborés dans les cinq projets individuels dans un processus structuré de la planification systématique de mesures de gestion de l'entretien. Les lacunes des bases existantes utilisées jusqu'à présent sont également exposées dans ce chapitre. Ces lacunes ont été mises en évidence lors du présent travail de recherche à la lumière de nouveaux enseignements. Par ailleurs, la pertinence et la validité des résultats sont discutées et évaluées.

Le chapitre 6 comporte des recommandations pour l'application pratique directe de chaque résultat et des recommandations pour la normalisation (VSS). Des indications sont également données pour des travaux consécutifs directement nécessaires, qui se sont avérés être urgents. Enfin, les lacunes encore existantes en matière de bases relatives à la planification de mesures de gestion de l'entretien des chaussées sont mises en évidence et leur importance évaluée.

La figure ci-dessous (Fig. 1.1) présente d'une part le processus de base de la planification de mesures découlant de toutes les bases élaborées de manière coordonnée dans les projets individuels. D'autre part, elle montre quelles bases élaborées dans les projets individuels sont utilisées pour laquelle des quatre étapes de planification. Les liens entre les projets (P1 – P5) et les étapes de planification y relatives représentés sont étroits et font ressortir les dépendances.

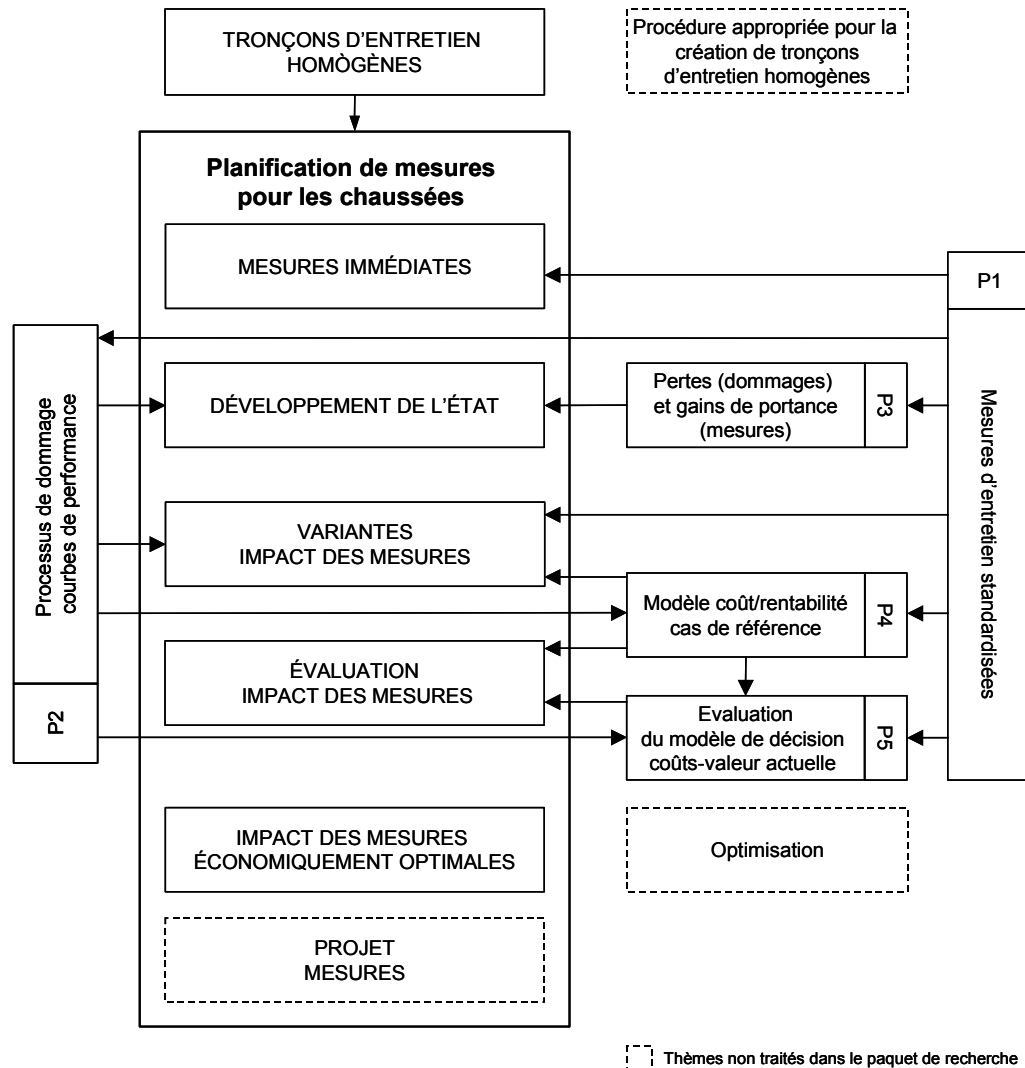


Fig. 1.1 Processus planification de mesures

Le tableau suivant (Tabl. 1.1) expose une vue d'ensemble des bases élaborées, leur applicabilité dans l'ensemble du projet de recherche de la planification des mesures de gestion d'entretien des chaussées et, le cas échéant, leur mise en œuvre et leur diffusion avec des normes (VSS).

En tant que remarque finale, il faut mentionner le fait que l'exécution et le traitement en tant que paquets de recherche sont très avantageux. La mise en œuvre du projet de recherche «planification des mesures de gestion d'entretien des chaussées» a mis en évidence ce qui suit:

- La constitution de paquets pour des projets individuels apparentés ou complémentaires permet de traiter des groupes de questions entiers en une fois. Cela permet également de diminuer le risque que des projets de recherche similaires soient menés en parallèle.
- Grâce à la réalisation de projets individuels dans un paquet, le gain de temps est très considérable. Dans le cas présent, la durée de traitement a pu être réduite de 50 %, c'est-à-dire deux à trois ans pour une durée de traitement de trois ans.
- Lorsque des résultats de projets individuels liés entre eux sont obtenus en même temps, une valeur ajoutée non négligeable est créée. En effet, il en résulte de nombreuses connaissances supplémentaires qui peuvent directement être utilisées dans la pratique.

- L'expérience avec le présent paquet de recherche fait état d'un effet de synergie élevé et durable grâce à un traitement simultané, intense et coordonné pour l'obtention de résultats.
- Grâce au traitement simultané et coordonné d'un thème de recherche via plusieurs projets individuels, le rapport coût-rentabilité du travail de recherche devrait être sensiblement meilleur en raison d'effets autorégulateurs entre les responsables des projets, de leur influence mutuelle et des possibilités de correction.

Tabl. 1.1 Résultats et enseignements du paquet de recherche «planification de mesures pour les chaussées»

Projets individuels		Résultats et bases	Utilisation	Autres évaluations	Normalisation
Syn.	Planification de mesures pour les chaussées	Déroulement formalisé et systématique de la planification et du processus	Gestion de l'entretien de grands réseaux de routes importantes	Application et réalisation sur diverses structures de réseau routier	Intégration dans SN 640 920 (nouveau)
P1	Mesures d'entretien standardisées	75 mesures standards pour la réparation, la remise en état, le renouvellement avec domaine d'application, l'effet et les coûts pour les chaussées bitumineuses et en béton	Mesures immédiates pour la planification et l'évaluation	Validation prolongée des valeurs de réinitialisation	Réélaboration SN 640 921, Révision SN 640 925b [34]
P2	Processus de dégradation et courbes de performance	> 130 courbes de performance pour les valeurs caractéristiques des dégradations pour RGD / RP à l'intérieur et hors des localités	Prévisions de l'évolution des dégradations dans la planification de mesures	Ajout à long terme aux catalogues des courbes de performance	Réélaboration SN 640 922, Révision SN 640 925b [34]
P3	Dégradations de la surface et de la portance	23 valeurs de perte de substance pour des dégradations de surface et 25 valeurs de gain de substance pour des mesures standardisées	Détermination de valeurs intrinsèques globales pour l'évaluation de l'installation	Ajout des algorithmes de valeurs intrinsèques manquants	Révision SN 640 904 [35]
P4	Bénéfice total – rapport coût-rentabilité des mesures d'entretien	Modèle coût-rentabilité avec cas de référence défini pour la planification de mesures, estimations des coûts pour l'opérateur, l'utilisateur et des tiers	Détermination du rapport coût-rentabilité de l'impact des mesures – base pour l'évaluation	Amélioration des coûts de tiers – validation avec des exemples réels	Révision SN 640 907 [36]
P5	Modèle de décision coûts-valeur actuelle	Coûts supplémentaires engendrés par l'exécution anticipée ou retardée des mesures d'entretien, modèle de décision coûts-valeur actuelle	Evaluation de l'impact de mesures pour de longues périodes d'observation	Validation et amélioration des exemples issus de la pratique	Intégration dans SN 640 906 (nouveau)

Certains préparatifs sont requis afin d'augmenter très nettement l'efficacité et améliorer la qualité des travaux de recherche. Ces préparatifs sont élaborés de manière coordonnée dans le paquet. Seuls les plus importants sont mentionnés ci-après:

- La préparation de paquets de recherche requiert – tel que déjà pratiqué de nos jours – un projet initial. Or ce dernier faisait défaut dans le cas présent, ce qui a généré des coûts considérables, qui n'ont pas pu être compensés. Le projet initial, qui décrit clairement les projets individuels et les délimite, est décisif pour la réussite du paquet global et pour atteindre le haut degré d'efficacité visé.
- La position du responsable du projet global est également déterminante pour le succès des paquets de recherche. S'agissant en particulier de la coordination entre les

domaines spécialisés et la concertation continue des projets entre eux, les compétences du responsable du projet global sont soumises à de grandes attentes. Les tâches administratives étant simples, elles font l'objet de peu d'exigences. Il convient donc de porter l'attention appropriée à l'évaluation des candidats au mandat de responsable du projet global. Ils ne sont en général pas faciles à trouver.

- Comme ce projet de recherche l'a clairement mis en évidence, les coûts liés à la responsabilité globale coordonnée et simultanée du projet ont été manifestement sous-estimés. Même si les dépenses pour la préparation d'un paquet de recherche sont réglées dans le cadre du projet initial, il faut budgéter suffisamment de moyens financiers pour l'accomplissement de la responsabilité globale du projet. Grâce à l'engagement d'un responsable global du projet, les investissements devraient largement porter leurs fruits.

En résumé, les paquets de recherche s'avèrent être explicitement adéquats pour le traitement de thèmes de recherche ou de parties de ces thèmes. La mise en œuvre sous forme de paquets devrait devenir standard et des projets individuels ne devraient être autorisés plus qu'exceptionnellement.

Summary

Action planning within the management of road maintenance

Synthesis report

Systematic action planning is a central and crucial process within the management of road maintenance. It demonstrates for a given observation period at what time which interventions for road maintenance are to be performed in order to attain the best cost-benefit ratio. The fundamentals for this planning and optimizing task have been compiled for Switzerland within the research package VSS 2004/710 – 716.

The close relations between the planning instruments – developed within individual research projects – could be worked out thanks to their integration into a research package. This enabled the optimized adjustment of the research results. The synthesis report of this research package demonstrates the main results of all individual research projects and their use for systematic action planning within the management of road maintenance.

The synthesis report is composed of two major parts:

- Description of main results
- Findings, conclusions and recommendations.

The description of main results (chapter 4) lists the most important findings of the projects 1 to 5 in extracts of the respective final reports. Further the important information relevant for implementation is given per individual project.

The chapter of findings and conclusions (chapter 5) illuminates the practical adoption of the research results derived from the five individual projects in a structured process of systematic action planning within the management of road maintenance. Shortcomings on existing fundamentals, which have been used previously are discussed and evaluated as well as the significance and validity of the new findings.

Chapter 6 contains the recommendations for direct practical application of individual results and recommendations for the standardization (VSS). References for necessary follow-up work, which turned out to be urgent are given as well. Finally any remaining gaps regarding the fundamentals of action planning within the management of road maintenance are indicated and assessed with regard to their relevance.

The figure below (Fig. 1.1) shows the basic process of action planning derived from all coordinated individual projects. Further it illustrates what fundamentals of which individual projects are employed in four planning steps. The links between the planning steps and according project fundamentals (P1 – P5) articulate their tight dependencies.

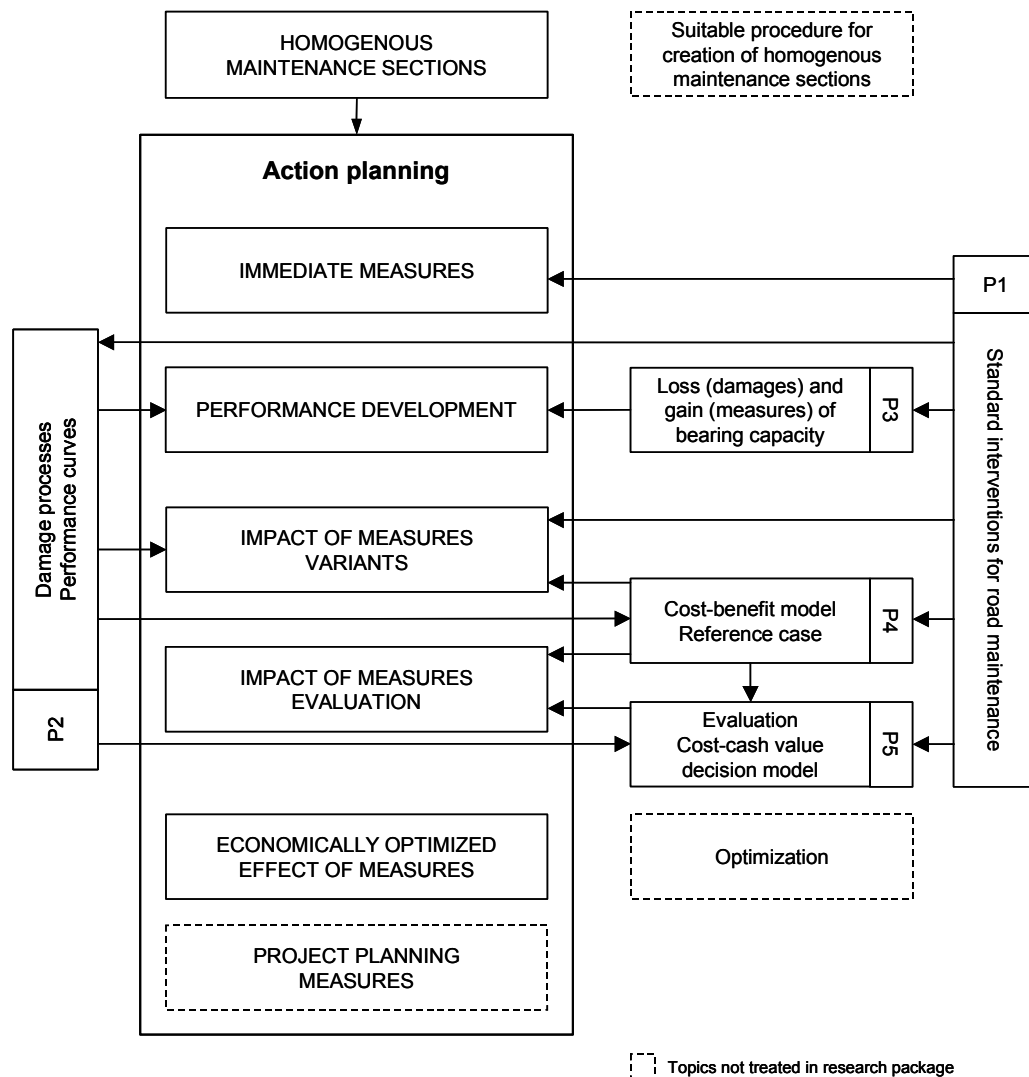


Fig. 1.1 Action planning process

The table below (Tab. 1.1) shows an overview about the elaborated fundamentals of the research package “Action planning within the management of road maintenance”, their practical applicability, implementation, and dissemination by means of standards (VSS).

It needs to be remarked that the execution and processing as research packages is highly beneficial. The work on this research package “Action planning within the management of road maintenance” yields this:

- The packaging of related or complementary projects enables the treatment of batteries of questions as one. This reduces the danger of similar research projects running in parallel.
- The time savings when treating individual projects as a package are enormous. For the present case the project time could be reduced by more than 50 % which equals about two or three years of time won.
- Added value can be derived from results gained from coordinated projects, yielding a knowledge boost which can be practically applied.
- The experience gained from this research package features significant and sustainable synergies due to synchronous, intensive, and coordinated treatment regarding the results.
- With synchronous and coordinated treatment of a research topic by means of several individual projects, the cost-benefit ratio of the research work can be improved signifi-

cantly due to self-regulatory effects between project leaders and the mutual potential for influence and corrections.

Tab. 1.1 Results and findings of the research package „Action planning“

Projects		Results and fundamentals	Utilization	Further evaluations	Standards
Syn.	Action planning	Formalized and systematic planning and process procedure	Maintenance management of large networks of major roads	Application and realization for different road network structures	Integration into SN 640 920 (new)
P1	Standard interventions for road maintenance	75 standard interventions for repair, maintenance, and renewal with application area, impact, and costs for bituminous and concrete pavement	Immediate measures for action planning and evaluation	Long-term validation of reset values	Redevelopment SN 640 921, Revision SN 640 925b [34]
P2	Pavement damage processes and performance curves	> 130 performance curves for characteristics of damage attributes for freeways, urban and rural roads	Prediction of damage processes within action planning	Long-term amendments for the catalogue of performance curves	Redevelopment SN 640 922, Revision SN 640 925b [34]
P3	Surface damages and bearing capacity	23 values of substance erosion for surface damages and 25 values of substance gain for standard interventions	Determination of global intrinsic values for asset valuation	Amendment of missing algorithms for intrinsic values	Revision SN 640 904 [35]
P4	Total benefit and cost-benefit ratio of standard interventions for road maintenance	Cost-benefit model with defined reference case for action planning, estimation of costs for operator, user, and other parties	Determination of cost-benefit ratio of the impact of standard interventions – fundamentals for evaluation	Refinement of costs for other parties – validation with real examples	Revision SN 640 907 [36]
P5	Cost-cash value decision model	Additional costs caused by bringing forward or delaying of standard interventions, cost-cash value decision model	Evaluation of the impact of standard interventions for long-term periods	Validation and refinement with practical examples	Integration into SN 640 906 (new)

In order to achieve a considerable improvement in efficiency and quality with research projects, which are coordinated in a working package, there are some preparations required. The most important ones are:

- The preparation of research packages requires, as practised today, an initial project. Since this did not exist for the present case, considerable costs arose, which could not be compensated for. The initial project which clearly describes and confines the individual projects is crucial for the success of the entire package and the accomplishment of the envisioned high efficiency.
- Another crucial condition for successful research packages is the position of the overall project leader. Due to the importance of the functional coordination and permanent adjustment amongst the projects, the overall project leader's expertise needs to meet high requirements. This is opposed to administrative issues which are simple and not very demanding. For this reason, the evaluation of suitable overall project leaders is crucial and their recruitment rather difficult.
- This research project clearly pointed out, that the costs for coordinated and synchronized overall leadership were obviously underestimated. Even though the costs for the preparation of a research package are determined by the initial project, there is the need to budget sufficient capital for the overall project management. The according

costs will be more than worthwhile with the assignment of a suitable overall project leader.

Consolidated research packages prove to be explicitly advantageous for the treatment of research topics or parts thereof. Their execution as packages should constitute a new standard whereas individual projects should be approved in exceptional cases only.

1 Einleitung

1.1 Anlass

1.1.1 Ausgangslage

Die Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen umfasst die netzbezogene Planung von Erhaltungsmaßnahmen für einen mittel- bis langfristigen Planungszeitraum. Sie bestimmt Programme notwendiger Erhaltungsmaßnahmen für Streckenzüge und Netzteile von Strassen, welche für grössere Zeitabschnitte optimiert sind [1].

Das Ergebnis dieser Planung sind Folgen von Einzelmaßnahmen für Strassenabschnitte, für die die wirtschaftlich optimalen Realisierungszeitpunkte entsprechender Massnahmen (mit hohem Nutzen/Kostenverhältnis) evaluiert werden und womit langfristig die gesamten Erhaltungskosten reduziert werden können. Ziel dieser Planung ist die Gewährleistung der dauernden Betriebssicherheit und der langfristigen Substanzerhaltung der Infrastrukturanlagen, Fahrbahnen, Kunstbauten und Technischen Ausrüstungen der Verkehrsanlagen.

Wird von einem Instandsetzungsaufwand von mindestens 900 Mio. CHF pro Jahr (2001 waren es gemäss BfS 878 Mio. CHF) für National-, Kantons- und Gemeindestrassen ausgegangen [2], kann durch ein sorgfältig und systematisch durchgeführtes Erhaltungsmanagement eine Reduktion der gesamten Erhaltungskosten von 4 bis 10 % (gemäss OECD) [3] erreicht werden. Dies entspräche immerhin Einsparungen von bis zu 90 Mio. CHF pro Jahr im Unterhalt.

Die zunehmende Bedeutung der systematischen Massnahmenplanung mit Bestimmung des jährlichen Erhaltungsaufwandes zeigt sich sowohl an den diesbezüglichen internationalen Bestrebungen z.B. in Deutschland [4] und in Österreich [5], aber vor allem auch in der Schweiz, z.B. beim Bund mit UplANS [6], bei Kantonen wie z.B. Neuenburg [7], Graubünden [8], Freiburg [9] und Solothurn [10] und Städten wie z.B. Zürich [11], Wettlingen [12] und anderen.

Die Ergebnisse der Massnahmenplanung bilden auf Netzebene schliesslich die Grundlagen für eine örtliche und zeitliche Koordination der laufenden Ausführung der Erhaltungsmaßnahmen an Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen (Teilsysteme) von Verkehrsanlagen. Je nach Art, Struktur, Grösse und Ortslage des zu bearbeitenden Strassennetzes lassen sich damit beträchtliche Einsparungen erzielen [12].

Das hier abgeschlossene Paket von fünf koordiniert durchgeführten Einzelforschungsprojekten befasste sich mit der Massnahmenplanung von Fahrbahnen auf Netzebene.

Die Planung örtlicher Unterhalts- und Erhaltungsmaßnahmen (Projektebene) aufgrund örtlicher Zustandsbewertungen und Schadensanalysen ist nicht Gegenstand dieses Forschungspakets. Die Grundlagen dazu enthalten die Normen SN 640 730b bis 736 [13] sowie die entsprechenden Normen über die Anforderungen an die Dimensionierung [27] und die Materialien.

1.1.2 Planungsmethoden und -grundlagen; State of the Art

Bestrebungen zur Systematisierung und Vereinheitlichung der Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen sind vor allem aus den USA und Kanada aus den 80er Jahren und Europa seit Mitte der 90er Jahre bekannt. Das durch die Weltbank unterstützte Projekt HDM-4 [14] beschäftigt sich seit über zehn Jahren ebenfalls mit Methoden und Verfahren der Durchführung des Erhaltungsmanagements von Infrastrukturanlagen des Verkehrs. Eine 2003 erschienene Zusammenstellung von Erkenntnissen zu den Planungsprozessen zeigt auch der Bericht von COST 343 [15].

Aus diesen Bestrebungen resultieren wertvolle und zum Teil breit anerkannte und systematisierte Planungsprozesse für das Erhaltungsmanagement für die Massnahmenplanung, insbesondere auch für die Optimierung von Massnahmen.

Zur Durchführung des Erhaltungsmanagements wurden in der Folge auch verschiedene z.T. weit verbreitete Informatikwerkzeuge entwickelt, die die Massnahmenplanung unterstützen. Bekannt sind aus Übersee dTims, HDM-4 [14] und in Europa ViaPMS [16] u.a.m.

In der Schweiz existiert seit 2004 die Grundnorm SN 640 900a [1] zur systematischen Durchführung des Erhaltungsmanagements. Sie zeigt den generellen Ablauf der Durchführung der Erhaltung und beschreibt die fünf grundlegenden Einzelschritte. Sie gilt für die gesamte Verkehrsanlage (Gesamtsystem) mit den Hauptteilen Fahrbahnen, Kunstbauten und Technische Ausrüstungen (Teilsysteme). Die folgende Abbildung (Abb. 1) aus dieser Norm zeigt diesen Ablauf und die Einzelschritte:

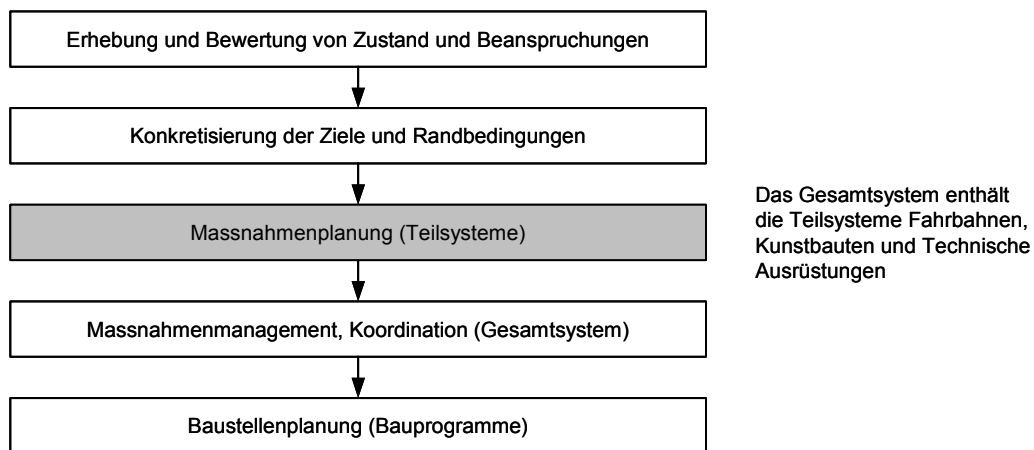


Abb. 1 Genereller Ablauf des Erhaltungsmanagements

Dieser generelle Ablauf der Durchführung der Tätigkeiten zur Erhaltung von Verkehrsanlagen wird in gleicher oder ähnlicher Art weltweit so gehandhabt. Inhalte und Durchführungsprozesse der einzelnen Schritte sind nur teilweise bereits festgelegt und variieren von Land zu Land stark, besonders der Teilschritt Massnahmenplanung.

Auch in der Schweiz besteht bislang keine einheitlich definierte systematische Massnahmenplanung auf Netzebene. Im Gegensatz dazu besteht für die Planung von örtlichen Unterhalts- und Erhaltungsmassnahmen (auf Projektebene) ein ganzer Normensatz (SN 640 730b bis SN 640 730 [13]). Mehrheitlich wird in der Schweiz die Massnahmenplanung auf Netzebene ungefähr nach dem folgenden Ablauf (Abb. 2) in vier Schritten durchgeführt:

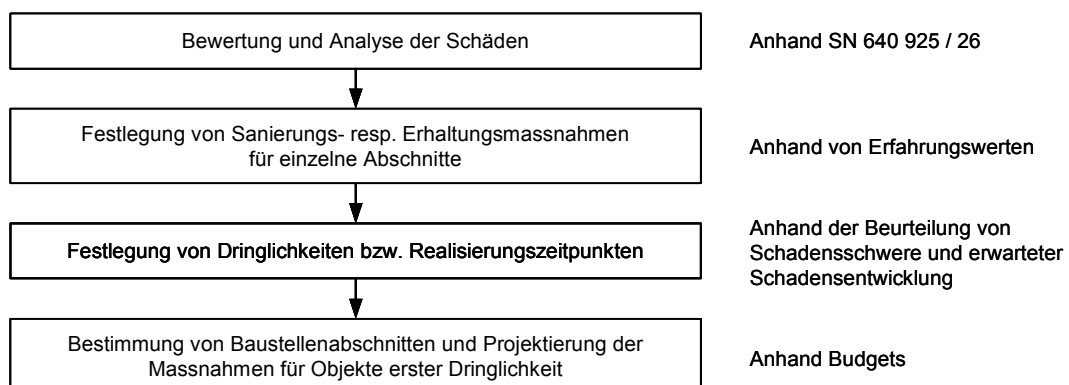


Abb. 2 Bisheriger Ablauf der Massnahmenplanung

Die Planung der Erhaltungsmassnahmen erfolgt für kurze Zeiträume von etwa maximal fünf Jahren auf der Grundlage von einzelnen Zustandserhebungen, der Dringlichkeit von Sanierungsmassnahmen und der für kurze Zeiträume zu Verfügung gestellten finanziellen Mittel.

Diese bisher angewendete Durchführung der Planung und Realisierung von Erhaltungsmassnahmen basiert auf relativ langsamen Schadensentwicklungen und einem im Verhältnis zur Lebensdauer zu kurzen Betrachtungszeitraum. Damit werden zwar die nötigen und dringlichen Massnahmen bei vorgegebenen Budgets laufend ausgeführt. Im längeren Betrachtungszeitraum werden aber nicht die richtigen Massnahmen zum richtigen Zeitpunkt, d.h. die wirtschaftlich optimalen Massnahmen realisiert. Heute allgemein anerkannte Erkenntnisse führten dazu, den Planungsprozess auf einen längeren Betrachtungszeitraum auszulegen und die Planungsschritte zu verfeinern resp. diese durch Anwendung entsprechender Grundlagen zu objektivieren. Damit lassen sich bedeutende Kosteneinsparungen resp. mit den begrenzten Mitteln eine höhere Wirksamkeit erzielen (vgl. 1.1.1). Die für die Durchführung dieser Planungsprozesse erforderlichen Grundlagen sind die Verwendung standardisierter Erhaltungsmassnahmen mit ihren Kenngrössen (Lebensdauer, Wirkung, Kosten), Verläufe von Schadensprozessen zur Schadensprognose, Einflüsse der Oberflächenschäden auf die Tragfähigkeiten und Evaluationsverfahren zur Bestimmung von wirtschaftlich optimalen Massnahmen (Massnahmenart und Realisierungszeitpunkt). Zur Erarbeitung von solchen Grundlagen für die spezifisch schweizerischen Verhältnisse wurde das vorliegende Forschungspaket mit fünf Einzelprojekten lanciert.

Während Planungsabläufe und Planungsprozesse weitgehend bekannt sind, fehlen die landes- resp. ortsspezifischen Grundlagen zur entsprechenden, konkreten Anwendung in den Planungsschritten auf Netzebene, d.h. der systematischen Massnahmenplanung für einen mittleren bis langfristigen Betrachtungszeitraum. Es betrifft dies vor allem die Wirkung und Lebensdauer von Massnahmen, die mittel- und langfristigen Verläufe von Schadensprozessen (Schadensentwicklung), den Einfluss von Oberflächenschäden auf die Tragfähigkeit des Oberbaus sowie die Kosten und vor allem die weitgehend unbekanntes Nutzen vor Erhaltungsmassnahmen.

Zu einzelnen Grundlagen gibt es verschiedene Kenntnisse, insbesondere aus dem Ausland, die sich aber nicht direkt auf die Schweiz übertragen lassen.

Während in vielen Ländern, wie auch in der Schweiz die Zustandserfassung von Fahrbahnen weit fortgeschritten aber länderspezifisch definiert ist, gibt es nur spärlich Grundlagen für die Festlegung und Evaluation von Massnahmen (Art und Realisierungszeitpunkt) für grössere Betrachtungszeiträume (Planungszeiträume). Obschon der Grundsatz, wonach Schadensentwicklung und Lebensdauer als zentrale Grundlagen für die langfristige Massnahmenplanung gelten, sind diese Grössen für die einzelnen (standardmässig) angewendeten Massnahmenarten auch heute noch weitgehend unbekannt. Es fehlen insbesondere Kenntnisse bzgl. der Einflüsse des Schwerverkehrs, der Klima- und Untergrundverhältnisse etc. Erschwerend kommt hinzu, dass in den einzelnen Ländern z.T. sehr unterschiedliche Strassenoberbauten und verschiedenartige Trag- und vor allem Deckschichten sowie Oberflächenbehandlungen als Erhaltungsmassnahmen eingesetzt werden. Auch aus diesen Gründen sind spezifische Untersuchungen je Land unumgänglich und zurzeit auch in Arbeit (u.a. Deutschland [17], Österreich [18]). In Deutschland besteht z.B. die RPE-Stra01, Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmassnahmen an Strassenbefestigungen [4]. Die ersten drei Einzelprojekte tragen vor allem diesem zentralen Aspekt Rechnung, so dass die spezifisch schweizerischen Standarderhaltungsmassnahmen (EP1), ihre Wirkung, ihr Schädigungsverlauf (EP2, EP3) und ihre Lebensdauer (EP3) zu definieren resp. zu bestimmen waren.

Während sich das vorliegende Forschungspaket zentral auf die Massnahmenplanung der Fahrbahnen konzentriert, kommt im Erhaltungsmanagement der Gesamtanlage dem Schritt Massnahmenmanagement, Koordination (Gesamtsystem) eine weitere grosse Bedeutung zu. Zu diesem Aspekt sind zurzeit nur wenige, vor allem theoretische Ansätze bekannt. Danach geht es um die Koordinierung wirtschaftlich optimal evaluierter Massnahmen resp. Massnahmenfolgen (Reihe von Massnahmenrealisierungen über einen

längeren Zeitraum) der Teilsysteme Fahrbahnen, Kunstbauten und Technische Ausrüstungen. Dazu sei an dieser Stelle auf SHAHIN [19], SMALL [20], CAFASIO [21] und HAJDIN/LINDENMANN [22] verwiesen, da dieser Aspekt nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungspaketes war.

1.1.3 Fragestellungen im Forschungspaket

Aus der zentralen Aufgabenstellung der Massnahmenplanung zur systematischen und objektiven Bestimmung wirtschaftlich optimaler Massnahmen zur Substanzerhaltung von Fahrbahnen über einen längeren Zeitraum resultieren unter Berücksichtigung bestehender Grundlagen die folgenden konkreten im Rahmen des vorliegenden Forschungspaketes zu beantwortenden Fragestellungen:

- Welches sind in der Schweiz die einschlägig angewendeten Erhaltungsmassnahmen für Reparatur, Instandsetzung und Erneuerung von bitumenhaltigen und Betonfahrbahnen und für welche Schäden sind sie die geeigneten Massnahmen resp. welche Wirkung wird erbracht und was kosten sie im Einzelnen?
- Wie verläuft die zeitliche Entwicklung (Schadensprozesse) von Oberflächenschäden wie Risse, Längs- und Querebenenheiten, Griffigkeit und Tragfähigkeit und wo gibt es welche Abhängigkeiten z.B. zur Schwerverkehrsbelastung, zum Strassentyp, zur Ortslage?
- Gibt es Abhängigkeiten zwischen dem Schädigungsgrad (leicht, mittel, schwer) bzw. dem Schadensmerkmal und der Tragfähigkeit und wenn ja, lassen sie sich quantifizieren und damit direkt als Anteil für den gesamten Substanzwert bzw. Gebrauchswert angeben?
- Wie können wirtschaftlich optimale Massnahmen bzw. Massnahmenfolgen bestimmt und evaluiert werden (Methode) und welche Grössen müssen dabei berücksichtigt werden (Relevanz und Quantität)?
- Im vorgenannten Zusammenhang stellt sich in der Praxis häufig die Frage der finanziellen Konsequenzen (Verluste) bei Vor- oder Aufschub von Massnahmen (Art, Realisierungszeitpunkt).

1.2 Zweck und Ziele des Forschungspaketes

Das Forschungspaket Massnahmenplanung bezweckte Grundlagen für die systematische Durchführung einer wirtschaftlich optimalen Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen zu erstellen, welche eine Basis zur Reduktion der Erhaltungskosten für mittlere bis grössere Zeiträume und entsprechende zweckmässige Bauprogramme bilden.

Gegenüber der bisher meist ingenieurmässig intuitiv und eher kurzfristig ausgelegten Planung und Ausführung der Erhaltungsmassnahmen bringt eine systematische, mittelfristige Planung ein erhebliches Potenzial von Kosteneinsparungen (vgl. Ziffer 1.1.1).

Die Erkenntnisse aus den einzelnen Forschungsprojekten stellen die erforderlichen Bausteine für einen systematisierten und vereinheitlichten Planungsprozess dar. Dabei wird den verschiedenen Bedürfnissen und besonderen Verhältnissen der Planungssperimeter (Strassentypen, innerorts, ausserorts etc.) Rechnung getragen.

Für die systematische Durchführung der Massnahmenplanung bei Fahrbahnen mit dem Ziel, Bestimmung wirtschaftlich optimaler Folgen von Erhaltungsmassnahmen über einen wohldefinierten mittleren bis längeren Zeitabschnitt, bedarf es, wie aus schweizerischen und ausländischen Erfahrungen bekannt ist, einzelner, wichtiger Basisgrundlagen. Die Erarbeitung dieser Grundlagen war Gegenstand der fünf Einzelforschungsprojekte des Forschungspaketes.

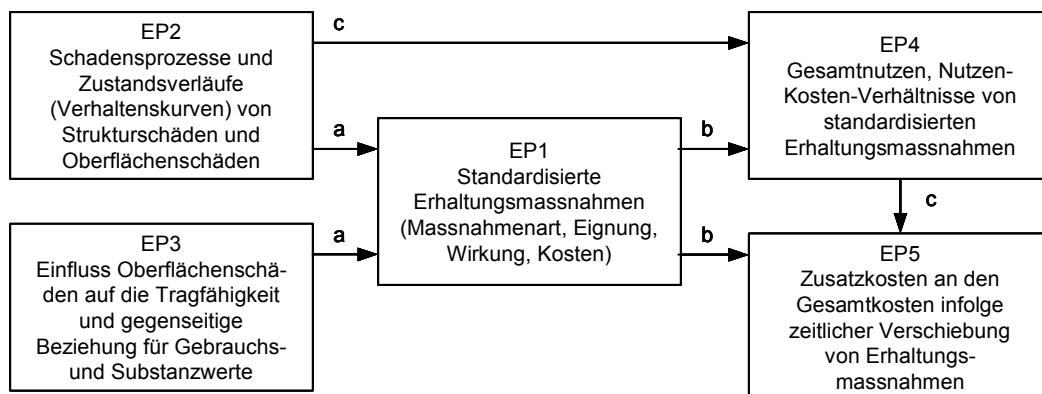
Das Forschungspaket (FP) Massnahmenplanung umfasste somit folgende fünf Einzelpro-

jekte (EP) (vgl. Abbildung 3), die aufgrund des Vorganges der Massnahmenplanung (Planungsprozess) in engen Zusammenhängen stehen. Die Einzelprojekte enthielten aber klar abgegrenzte Forschungsziele und -absichten wie folgt:

1. Standardisierte Erhaltungsmassnahmen: Katalog von Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen an Fahrbahnen inkl. Reparaturen
2. Schadensprozesse und Zustandsverläufe (Verhaltenskurven) von Strukturschäden und Rissen, Längs- und Querebenenheiten, Griffigkeit und Tragfähigkeit
3. Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit und gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwerte
4. Gesamtnutzen, Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierte Erhaltungsmassnahmen
5. Anteil der Zusatzkosten an den Gesamtkosten infolge zeitlicher Verschiebung von Erhaltungsmassnahmen

Die Einzelprojekte dieses Forschungspaketes sind eng verknüpft, da Resultate des einen Einzelprojektes bei anderen Einzelprojekten eine direkte Grundlage darstellten.

Die folgende Abbildung (Abb. 3) zeigt die Einzelprojekte und die gegenseitigen Zusammenhänge:



a, b, c = Zusammenhänge

Abb. 3 Forschungspaket und Einzelprojekte (EP) mit Zusammenhängen

- (a) Zwischen der Art und der Entwicklung der Schäden (EP2) und den zu deren Behebung nötigen Erhaltungsmassnahmen (EP1) bestehen naturgemäss direkte Abhängigkeiten, da es für bestimmte Schadensbilder bestimmte geeignete technische Sanierungsmassnahmen gibt (standardisierte Erhaltungsmassnahmen). Eine wichtige Kenngrösse einer Standardmassnahme ist ihre Wirkung (EP1). Zur Quantifizierung der Wirkung einer Standardmassnahme sind die Kenntnisse der Einflüsse von Oberflächenschäden auf die Tragfähigkeit (EP3) erforderlich.
- (b) Die je Standardmassnahme quantifizierten Kenngrössen Wirkung hinsichtlich Zustandindices (Rücksetzwert) und Kosten (EP1) stellen wiederum Grundlagen dar, die direkte Eingangsgrössen für die monetäre Bestimmung von Nutzen (Referenzfall) und Nutzen-Kosten-Verhältnisse sind (EP4).
- (c) Gleichzeitig werden diese Kenngrössen (EP1) zusammen mit den Verlaufskurven (EP2) für die Ermittlung von Zusatzkosten bei Vor- oder Aufschub von Realisierungszeitpunkten der Massnahmen (EP5) unter Verwendung der Betreiber-, Nutzer- und Drittkosten (EP4) gebraucht.

Damit wird ersichtlich, dass die Einzelprojekte EP2 und EP1 eigentliche Schlüsselprojekte darstellten, weil ihre Grundlagen zentral für die monetäre Bewertung von Mass-

nahmen (Art, Realisierungszeitpunkt) und damit der Bestimmung wirtschaftlich optimaler Massnahmen sind. Es wird auch deutlich, dass infolge der mehrfachen Zusammenhänge der Einzelprojekte und deren Abhängigkeiten die Einzelprojekte gleichzeitig bearbeitet werden sollten. Damit wurde aber auch eine enge Koordination erforderlich (Forschungspaket).

Das Gesamtziel der Forschungsarbeiten war die Erarbeitung der folgenden Bausteine für die Durchführung der Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement:

- Standard-Erhaltungsmassnahmen für verschiedene Strassenkategorien mit spezifischen Kosten, Lebensdauer, Einsatzbereich und Wirkung (Rücksetzwert) für Reparatur, Instandsetzung und Erneuerung
- Verhaltenskurven für strukturelle Schäden, Längs- und Querebenheit, Griffigkeit und Tragfähigkeit in Abhängigkeit verkehrlicher Einflüsse (Schwerverkehr, Strassenkategorie) und örtlicher Einflüsse (innerorts, ausserorts, Höhenlage ü.M.)
- Bedeutung der Oberflächenbeschaffenheit bzw. der Tragfähigkeit, d.h. Einfluss der Oberflächenschäden auf die Tragfähigkeit und deren Anteil an Substanz- und Gebrauchswert
- Monetäre Nutzen der Standard-Erhaltungsmassnahmen und Nutzen-Kosten-Verhältnisse unter Berücksichtigung der Betreiber-, Nutzer- und Drittkosten.
- Art und Grösse der Veränderungen der Nutzen und Kosten bei zeitlicher Verschiebung der Realisierung von Erhaltungsmassnahmen.

Die Kenntnisse dieser konkreten Grundlagen bildet die Voraussetzung für die Bestimmung wirtschaftlich optimaler Folgen nötiger Erhaltungsmassnahmen zur Reduktion der Erhaltungskosten über längere Zeitabschnitte und damit die Basis für die Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement.

1.3 Erwartete Resultate und Nutzniessung

Für die konkrete Erarbeitung der in den Zielen erwähnten Bausteine für die typischen schweizerischen Verhältnisse war die Bearbeitung der fünf Forschungsprojekte erforderlich, weil die zurzeit im In- und Ausland verfügbaren Erkenntnisse (vgl. 1.1.1) zwar teilweise nutzbare Ansätze bieten und berücksichtigt werden können, zum grössten Teil aber nicht vollständig und umfassend sind und in der Regel nicht direkt auf die Schweiz übertragen werden können. Die Forschungsarbeiten mussten indessen die bereits vorhandenen und teilweise nutzbaren Erkenntnisse auf ihre Verwendung analysieren und wo möglich in die im Rahmen dieser Forschungsprojekte durchzuführenden Untersuchungen einbeziehen. Dazu waren bei allen fünf Einzelprojekten die Durchführung detaillierter Literaturlauswertungen zwingend.

Grundsätzlich sollte das Forschungspaket durch gleichzeitige Bearbeitung von fünf Einzelprojekten gewährleisten, dass die Ergebnisse durch die entsprechende Koordination aufeinander abgestimmt sind, so dass sie zusammen die anvisierten Bausteine für die Massnahmenplanung der Fahrbahnen liefern. Im Einzelnen waren folgende Resultate zu erwarten:

- Katalog von Standarderhaltungsmassnahmen je mit Art, Eignung, Wirkung bzgl. indierten Schäden und spezifischen Kosten
- Verlaufskurven Schadensprozesse für die wichtigsten Schadensmerkmale von Oberflächen- und strukturellen Fahrbahnschäden für verschiedene Strassenkategorien, verschiedene Schwerverkehrsbelastungen und ausserorts und innerorts. Methodik der Anwendung der Verlaufskurven im Prozess der Massnahmenplanung
- Einfluss und Bedeutung der Oberflächenschäden auf die Tragfähigkeit für die einzelnen Schadensmerkmale je nach Schadensschwere. Anteil der Tragfähigkeit am gesamten Substanz- resp. Gebrauchswert

- Nutzen-Kosten-Grundlagen für die Bestimmung von Betreiber-, Nutzer- und Drittkosten (Lärm, Schadstoffe), Relevanz der Methodik zur Bestimmung der Einzelgrössen der Nutzen von Erhaltungsmassnahmen mit Definition des Referenzfalles
- Methodik zur Bestimmung von Zusatzkosten infolge Verschiebung (Vorschub, Aufschub) von Erhaltungsmassnahmen bzw. Erarbeitung der wirtschaftlich optimalen Massnahmen (Art und Realisierungszeitpunkt)
- Prozessablauf der Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen
- Hinweise für die Erarbeitung entsprechender neuer Normen und für nötige Revisionen von bestehenden Normen (VSS).

Die Erkenntnisse aus den Forschungsarbeiten sowie die daraus zu erarbeitenden Normen werden für alle mit der Planung von Erhaltungsmassnahmen beschäftigten Ingenieure und Fachleute in Verwaltungen von Kantonen, Städten und Gemeinden sowie der beauftragten Ingenieurbüros Werkzeug und Wegweisung darstellen. Es kann damit eine Erhaltungsplanung der Fahrbahnen erreicht werden, die wirtschaftlich optimal ausgelegt ist, mittel- und langfristig zu geringeren Gesamtkosten im Unterhalt führt und konkrete Grundlage für eine koordinierte Baustellenplanung bildet.

Gesamtwirtschaftlich lassen sich durch eine zweckmässige Anwendung dieser Hilfsmittel und Werkzeuge grosse finanzielle Einsparungen bei der Substanzerhaltung (Werterhaltung) der National-, Kantons- und Gemeindestrassen erzielen.

Nutzniesser sind sowohl der Bund als auch die Kantone und Gemeinden, welche Strassennetze betreiben und erhalten. Die zu erreichenden Reduktionen der Aufwendungen sind selbstverständlich abhängig von Grösse, Struktur und Ortslage der betreffenden Strassennetze.

2 Aufträge

2.1 Gesamtprojektleitung und Evaluation Einzelprojekte

Aufgrund der erstmaligen Durchführung des neu eingeführten Verfahrens der Forschungspakete wurde vorerst ein Projektleiter für die fachliche und administrative Durchführung des Gesamtprojektes mit fünf Einzelprojekten bestimmt. Damit liess sich von Beginn weg die Abstimmung der Einzelprojekte und deren Koordination sicherstellen.

Die Einzelprojekte wurden im Rahmen des Forschungspaketes miteinander gleichzeitig in Strasse und Verkehr öffentlich ausgeschrieben (Sept. 2004 [23]) und damit dem Evaluations- und Vergabeprozess der SBT-Forschung ASTRA und der VSS unterworfen. Auf diese Weise konnten Offerten zu den ausgeschrieben fünf Einzelprojekten den Experten der VSS-Fachkommission Erhaltungsmanagement (FK7) zur Evaluation unterbreitet und dadurch frühzeitig aufeinander abgestimmt werden (VSS-Empfehlungen 641 001-3 bis 5) [24], [25], [26]. Zu den fünf Einzelprojekten gingen 13 Offerten ein, zu vier Projekten mehrere und zu einem Projekt lediglich eine. Die Evaluation erfolgte über zwei Stufen. Die Einzelprojekte wurden je nach ihrer Fragenstellung durch die entsprechende Expertenkommission der FK7 der VSS in einer ersten Stufen fachlich geprüft und anhand des formalisierten Evaluationsverfahren die zweckmässigsten und besten Offerten ausgewählt. In der zweiten Stufe wurden die fünf ausgewählten Offerten in einer Gesamtbeurteilung hinsichtlich Zusammensetzbarkeit im Paket durch die Mitglieder der Fachkommission 7 und den Gesamtprojektleiter begutachtet. Dies führte zur abschliessenden Auswahl der Offerten der Einzelprojekte mit entsprechenden Anträgen an die Forschungskommission (FOKO) des ASTRA. Die FOKO ist den Anträgen der FK7 gefolgt und hat die Aufträge zur Durchführung der fünf Einzelprojekte anschliessend im Juni 2005 vergeben (vgl. Ziffer 2.3 bis 2.8).

2.2 Gesamtprojektleitung – VSS 2004/710

Mit Datum vom 27.8.2004 wurde der Auftrag Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen, Gesamtprojektleitung aufgrund des entsprechenden Forschungsgesuches der Fachkommission 7 des VSS vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) an das Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) der ETH Zürich vergeben. Mit der Projektleitung wurde Herr Prof. Hans Peter Lindemann wie folgt beauftragt:

Der Projektleiter stellt die fachliche und administrative Durchführung der Einzelprojekte, deren Abstimmung und Koordination sicher. Mit dem Abschluss der Einzelprojekte hat der Projektleiter eine konzise Zusammenfassung und einen Synthesebericht mit den Erkenntnissen zu erstellen. Grundlage bildet das Gesamtkonzept VSS 2004/710 [23].

Die Begleitkommission unter der Führung von Herrn Dr. Franz Gallati beaufsichtigt das gesamte Forschungspaket und informiert regelmässig den Auftraggeber.

Die Kosten dieser Forschungsarbeiten sind auf CHF 80'000.- veranschlagt. Es wird ein Beitrag von 100 %, höchstens aber CHF 80'000.- gewährt. Dieses Projekt ist mehrwertsteuerpflichtig.

2.3 Einzelprojekt 1 – Standardisierte Erhaltungsmassnahmen – VSS 2004/711

2.3.1 Thema und Ziele

Standardisierte Erhaltungsmassnahmen:

Kataloge von Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen für Fahrbahnen, gegliedert nach Beanspruchung durch Verkehr, Ortslage (ausserorts, innerorts) und Topographie (Höhenlage).

Das Einzelprojekt hat folgende Ziele:

- Erarbeiten eines Kataloges von standardisierten Erhaltungsmassnahmen für verschiedene Strassenkategorien mit den Grössen Massnahmeart, spezifische Kosten, Lebensdauer, Wirkungen inkl. der Kosten für kleine Reparaturen (betrieblicher Unterhalt) und Einsatzbereich
- Erarbeiten von Grundlagen für einen entsprechenden Normentwurf.

2.3.2 Erwartete Resultate

Von der Forschungsarbeit werden folgende Resultate erwartet:

- Zusammenstellung der in der Schweizer Praxis anwendbaren Erhaltungsmassnahmen (standardisierte Massnahmen) inkl. kleiner Reparaturen (betrieblicher Unterhalt)
- Quantifizierung der relevanten Grössen der standardisierten Massnahmen und Bildung von Kennzahlen (Lebensdauer, Wirkung, Kosten) und des baulichen Unterhaltes (Kosten)
- Zusammenstellung der Resultate in entsprechenden Katalogen
- Grundlagen für einen entsprechenden Normentwurf.

2.3.3 Beauftragter und Vertragssumme

Der Auftrag wurde an die B+S Ingenieure AG Muristrasse 60, 3000 Bern, für CHF 149'500.- vergeben. Projektleiter: Vinzenz Gnehm.

2.4 Einzelprojekt 2 – Schadensprozesse und Zustandsverläufe (Verhaltenskurven) – VSS 2004/712

2.4.1 Thema und Ziele

Schadensprozesse und Zustandsverläufe von Strukturschäden und Rissen, Längs- und Querebenheit, Griffigkeit und Tragfähigkeit (Verhaltenskurven)

Das Einzelprojekt hat folgende Ziele:

- Bestimmung von Verhaltenskurven (Form und Zyklus) für strukturelle Oberflächenschäden, Längs- und Querebenheit, Griffigkeit und Tragfähigkeit in Abhängigkeit verkehrlicher und örtlicher Einflüsse
- Erarbeitung der Grundlagen für einen Normentwurf.

2.4.2 Erwartete Resultate

Es werden folgende, konkrete Resultate bei der Durchführung der Forschungsarbeit erwartet:

- Verlaufskurven für Strukturschäden, Längs- und Querebenheit, Spurrinnen, Griffigkeit und Tragfähigkeit in Abhängigkeit der Lebensdauer

- Methodik zur Verwendung der Verlaufskurven, unter Berücksichtigung der zurückliegenden Zustandsentwicklung (Zustandserhebung) zur Formulierung der Zustandsentwicklung (Prognose)
- Geltungsbereich der Verlaufskurven für Strassen innerorts und Strassen ausserorts, für flaches und coupirtes Gelände sowie für das Mittelland und höhere Lagen.

2.4.3 Beauftragter und Vertragssumme

Der Auftrag wurde an Prof. Ivan Scazziga, Beratender Ingenieur, Via Pazz, C.P., 6986 Novaggio, für CHF 140'600.- vergeben. Projektleiter: Prof. Ivan Scazziga.

2.5 Einzelprojekt 3 – Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit – VSS 2004/713

2.5.1 Thema und Ziele

Bedeutung von Oberflächenzustand und Tragfähigkeitszustand sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert.

Im Verlauf der Bearbeitung wurde das Projekt durch die Gesamtprojektleitung wie folgt konkretisiert und ergänzt: Einflüsse der verschiedenen Oberflächenschäden auf die Tragfähigkeit.

Das Einzelprojekt hat folgende Ziele:

- Erarbeitung von differenzierten Grundlagen für die Bewertung von Oberflächenzustand (Gesamtzustand) und Tragfähigkeit und der gegenseitigen Zusammenhänge. Die Grundlagen haben eine monetäre Bewertung zu ermöglichen.

und ergänzt:

- Quantifizierung der Einflüsse von Oberflächenschäden bezüglich Strukturwert SN [27]
- Beispielhafte Bestimmung des Anteils des Strukturwertes (Tragfähigkeit) am gesamten Substanz- und Gebrauchswert.

2.5.2 Erwartete Resultate

Es werden folgende Resultate erwartet:

- Bedeutung und Einflüsse des Oberflächenzustandes resp. der Tragfähigkeit zur indexierten und vor allem zur monetären Substanzbewertung (Bestimmung Substanzwert)
- Grundlagen zu einem Normentwurf oder zu einem Anhang zu einer bestehenden Norm (SN 640 904 [35]).

Im Verlaufe der Bearbeitung wurden die erwarteten Resultate wie folgt ergänzt:

- Quantitative Angaben zu Substanzwertverlusten infolge Oberflächenschäden je nach Schwere der Schäden und Substanzwertgewinnen durch entsprechende Erhaltungsmassnahmen
- Methodik der Anwendung des Strukturwertes bei der Bestimmung von Substanz- und Gebrauchswerten (Beispiel).

2.5.3 Beauftragter und Auftragssumme

Der Auftrag wurde an die Firma SACR – Zürich, Berninastrasse 9, 8057 Zürich für CHF 106'400.- vergeben. Projektleiter: Alain Jacot.

2.6 Einzelprojekt 4 – Gesamtnutzen, Nutzen-Kosten-Verhältnisse – VSS 2004/714

2.6.1 Thema und Ziele

Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen.

Das Einzelprojekt hat folgende Ziele:

- Erarbeiten der Grundlagen für die Bestimmung des monetären Gesamtnutzens von Erhaltungsmassnahmen
- Ableiten der Nutzen-Kosten-Verhältnisse für standardisierte Erhaltungsmassnahmen.

2.6.2 Erwartete Resultate

Es werden folgende Resultate erwartet:

- Katalog für Nutzen von relevanten Erhaltungsmassnahmen (z.B. standardisierte Massnahmen)
- Gliederung der Nutzenkomponenten nach Gruppen Strassenbetreiber, Strassennutzer und Dritte, inkl. ihrer Eigenschaft zur Wertvermehrung bzw. Werterhaltung
- Ermittlung von kurz- und langfristigem Nutzen für die Gruppen
- Monetäre Quantifizierung der kurz- und langfristigen Nutzen, Ermittlung von spezifischen „Nutzenansätzen“
- Bestimmung der Gesamtnutzen für die Massnahmen
- Grundlagen für einen entsprechenden Normentwurf

Im Verlaufe der Bearbeitung und der Verfassung des Schlussberichtes wurde die Liste der zu erarbeiteten Resultate wie folgt konkretisiert bzw. ergänzt:

- Darstellung der Methodik der Bestimmung der Nutzen
- Angaben zur Relevanz und Bedeutung der einzelnen Nutzenkomponenten.

2.6.3 Beauftragte und Auftragssumme

Der Auftrag wurde an die Bürogemeinschaft MEXtraSys AG (R+R Burger und Partner AG), Haselstrasse 1, 5400 Baden für CHF 150'000.- vergeben. Projektleiter: Dr. Jost Lütting.

2.7 Einzelprojekt 5 – Zusatzkosten infolge Verschiebung der Realisierung von Massnahmen – VSS 2004/715

2.7.1 Thema und Ziele

Veränderungen der langfristig anfallenden Gesamtkosten und Gesamtnutzen der Erhaltungsmassnahmen von Fahrbahnen infolge zeitlichem Vor- oder Aufschub der Ausführung.

Das Einzelprojekt hat folgende Ziele:

- Erarbeiten der Grundlagen zur Ermittlung der Veränderungen der Gesamtkosten und Gesamtnutzen von Erhaltungsmassnahmen der Fahrbahnen in Zusammenhang mit zeitlichen Verschiebungen der Ausführung der Erhaltungsmassnahmen
- Erarbeiten der Grundlagen für einen entsprechenden Normentwurf.

2.7.2 Erwartete Resultate

Es werden folgende Resultate erwartet:

- Einflüsse und Zusammenhänge zwischen Wirkung, Kosten und Nutzen bei Auf- oder Vorschub von Erhaltungsmaßnahmen
- Verfahren zur monetären Bestimmung der Auswirkungen von Auf- und Vorschub von Erhaltungsmaßnahmen.

2.7.3 Beauftragter und Auftragssumme

Der Auftrag wurde an das Institut für Bauplanung und Baubetrieb (IBB) der ETH Zürich, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich, für CHF 115'060.- vergeben. Projektleiter: Prof. Dr. Ing. Gerhard Girmscheid.

2.8 Zusatzauftrag – Aufbereitung von Zustandsdaten Fahrbahnen innerorts (Stadt Genf) für das Einzelprojekt 2 – VSS 2004/716

2.8.1 Thema und Ziele

Zur Analyse und Ableitung von Verlaufskurven für Strassen innerorts standen anhand einer Lagebeurteilung der Gesamtprojektleitung und der Projektleitung des EP2 zwar einige Daten zur Verfügung, indessen nicht in ausreichendem Masse. Aus diesem Grunde wurden weitere Innerortsdaten zum Zustand von Fahrbahnen gesucht und schliesslich bei der Firma SACR – Zürich gefunden.

Diese noch nicht zu Zwecken der Analyse in geeigneter Form vorliegenden Grunddaten sollten in der Folge entsprechend aufbereitet werden.

Das Ziel dieser Aufbereitung bestand darin, Grundlagen für die Analyse von Verlaufskurven von Schäden auf Innerortsstrassen bereitzustellen.

2.8.2 Erwartete Resultate

Durch Bearbeitung dieses Zusatzprojektes wurde erwartet, dass die für die Bearbeitung von Verlaufskurven von Fahrbahnschäden für Strassen innerorts nötigen Grundlagen erstellt werden können.

2.8.3 Beauftragter und Auftragssumme

Der Auftrag wurde an die Firma SACR – Zürich, Berninastrasse 9, 8057 Zürich, für CHF 29'000.- vergeben. Projektleiter: Herr Alain Jacot.

3 Ausführung des Forschungspaketes

3.1 Paketstruktur

Die anwendungsorientierte Forschung im Strassenwesen ist thematisch übersichtlich zu gliedern sowie administrativ zu vereinfachen und zu beschleunigen. Aus diesen Gründen hat die Forschungskommission des UVEK die Möglichkeit geschaffen, Forschungspakete (FP) zu formulieren und nach deren Genehmigung auszuschreiben.

Das Auswahlverfahren erfolgt gemäss den VSS-Leitfäden 641 001-3, -4 und -5 [24], [25], [26].

Ein Forschungspaket besteht aus verschiedenen Teilprojekten. Thematisch ist es in 5 bis 10 Einzelprojekte zu gliedern, die das Thema umfassend behandeln. Zudem sind diese Einzelprojekte praktisch gleichzeitig durchzuführen, damit die Forschung innerhalb von rund drei Jahren abgeschlossen werden kann.

Zudem ist vorgängig ein Projektleiterauftrag auszulösen. Im Rahmen eines Auftrages erarbeitet der vorgeschriebene Projektleiter (PL) zusammen mit dem Fachbereich auch die Ausschreibungen zu den Einzelprojekten. Im Weiteren hat der PL die Führungsfunktion im FP zu übernehmen. Schliesslich hat der PL mit dem Abschluss aller Einzelprojekte den Synthesebericht zu erstellen. Dieser umfasst hauptsächlich eine Gesamtzusammenfassung, die Erkenntnisse und die Folgerungen.

Grundsätzlich sollte das vorliegende Forschungspaket durch gleichzeitige Bearbeitung von fünf Einzelprojekten gewährleistet, dass die Ergebnisse durch die entsprechende Koordination aufeinander abgestimmt sind, so dass sie zusammen alle nötigen Bausteine für die Massnahmenplanung der Fahrbahnen liefern. Damit lassen sich die wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen zur Erhaltung für einen bestimmten Zeitabschnitt so bestimmen, dass gesamthaft geringere Erhaltungskosten resultieren.

Das vorliegende Forschungspaket umfasste fünf Einzelprojekte und ein im Verlaufe der Bearbeitung als nötig erachtetes Zusatzprojekt.

Nach der Beauftragung des Leiters der Gesamtprojektleitung wurden im September 2004 alle fünf Einzelprojekte als Teile des Forschungspaketes öffentlich ausgeschrieben. Im Frühjahr 2005 erfolgte die Evaluation nach den VSS-Leitfäden 641 001-3 bis 5 [24], [25], [26] durch die VSS Fachkommission Erhaltungsmanagement zusammen mit dem Gesamtprojektleiter. Anschliessend erfolgte die Gesuchstellung gemäss ARAMIS-Vorgaben an die Kommission für Strassenbau- und Verkehrsforschung (Forschungskommission FOKO). Im Juni 2005 genehmigte die FOKO die fünf Forschungsgesuche einzeln und als Paket. Im Herbst 2005 erfolgten die vertraglichen Vereinbarungen zwischen dem ASTRA (Auftraggeber) und den beauftragten Forschungsstellen. Der eigentliche Projektstart erfolgte per anfangs Oktober 2005.

3.2 Budget, Aufwand und Zeitbedarf

Mit Vergabe des Auftrages für die Gesamtprojektleitung und der Aufträge für die Durchführung der Forschungsarbeiten der Einzelprojekte sowie des später vergebenen Zusatzauftrages resultierte der in der nachfolgenden Tabelle aufgezeigte Aufwand für das gesamte Forschungspaket.

Die veranschlagten Kosten für die Durchführung des Forschungspaketes konnten vollumfänglich eingehalten werden. Dabei sind drei wichtige Änderungen festzuhalten:

- Die anfänglich als ausreichend beurteilte Datenbasis für die Analyse und Aufbereitung der vorgesehenen Verlaufskurven musste durch den Zusatzauftrag Datenaufbereitung Stadt Genf ergänzt werden (VSS 2004/716)
- Die im Einzelprojekt 4, Gesamtnutzen, Nutzen-Kosten-Verhältnisse anfänglich vorgesehene, später im Verlaufe der Projektbearbeitung weiter konkretisierte, detaillierte Durchrechnung eines umfangreichen, ausgeführten Sanierungsprojektes liess sich infolge Unterschätzung des dazu notwendigen Aufwandes nicht realisieren.
- Der Aufwand für die fachliche und administrative Gesamtprojektleitung und Koordination der Einzelprojekte sowie die Ausarbeitung des Syntheseberichtes fiel deutlich aufwendiger aus (intensivere Begleitung einzelner Einzelprojekte sowie Koordinationsmassnahmen und -aufgaben) als vorgesehen. Der Mehraufwand wurde von der Forschungsstelle nicht in Rechnung gestellt.

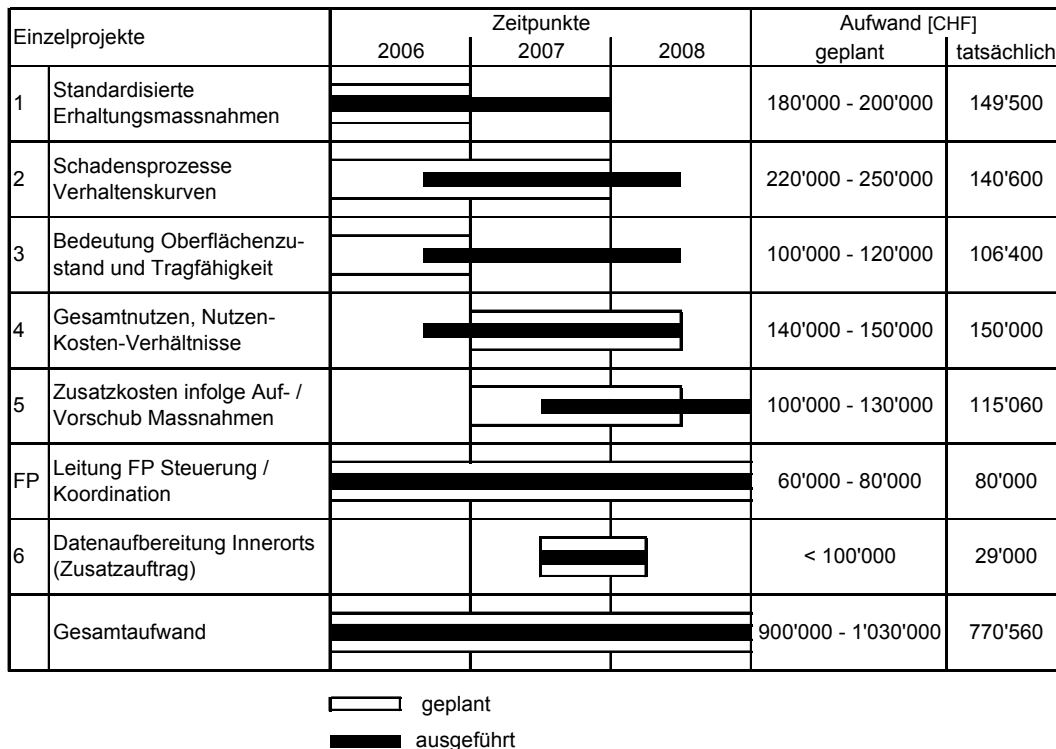


Abb. 4 Aufwand und Zeitbedarf für die Durchführung des Forschungspaketes

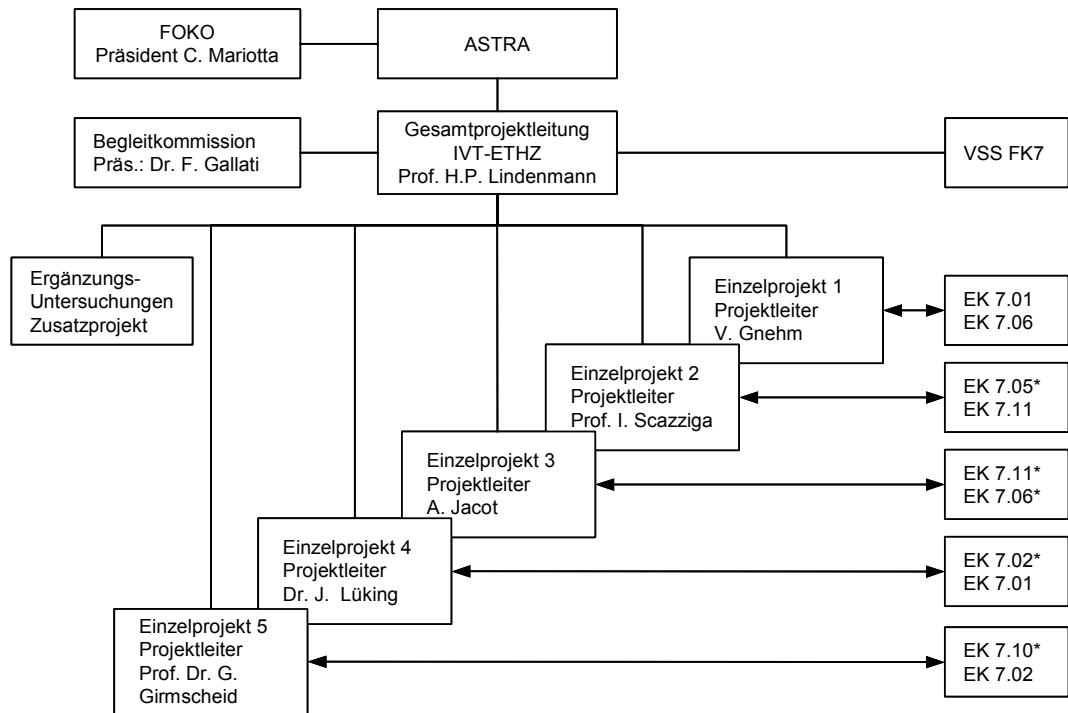
Die Abbildung (Abb. 4) zeigt, dass einerseits die durch die Paketbildung veranschlagte Zeitersparnis eingehalten resp. erreicht wurde. Andererseits liess sich durch Ausschreibung und Offertevaluation das Budget einhalten bzw. die maximal veranschlagten Aufwendungen für die Durchführung des gesamten Forschungspaketes deutlich unterschreiten.

3.3 Organisation der Durchführung

Für die Durchführung des Forschungspaketes Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement wurde für die zeitliche und materielle Koordinationsaufgabe und die Kontrolle des Rechnungswesens ein von den Projektteams unabhängiger Projektleiter eingesetzt.

Der Gesamtleitung (Projektleiter) stand eine Begleitkommission zur Unterstützung bei. Die fachliche Begleitung des Forschungspaketes (FP) und der Einzelforschungsprojekte (EP) erfolgte durch den Projektleiter unterstützt durch verschiedene Expertenkommissionen der VSS Fachkommission 7, Erhaltungsmanagement. Diese Organisation hat sich bewährt.

Das folgende Organigramm (Abb. 5) verdeutlicht die Organisationsform:



* Federführende Expertenkommissionen der Fachkommission 7, Erhaltungsmanagement

Abb. 5 Projektorganisation

4 Ergebnisse

4.1 Prozessablauf der Massnahmenplanung Fahrbahnen

Die Planung von Erhaltungsmassnahmen auf Netzebene ist der anspruchsvollste Teilschritt des Erhaltungsmanagements, da hier eine Evaluation verschiedenster Varianten von Massnahmenfolgen für grosse Zeiträume von mehr als 15 bis 40 Jahren erfolgt. Voraussetzung für die Massnahmenplanung bilden das momentane Schadensbild und dessen objektive Bewertung sowie, falls vorhanden, die vergangene Schadensentwicklung. Die zentrale Aufgabe der Massnahmenplanung ist die Generierung von Varianten und die Evaluation der wirtschaftlich optimalen Variante der Massnahmenfolge. Das Resultat der Evaluation bildet die Grundlage für das Massnahmenmanagement und die Baustellenplanung (zusammen mit den Kunstbauten und Technischen Ausrüstungen) sowie die Projektierung der Massnahmen (vgl. 1.1.2). Während für die Erfassung und Beurteilung von Schäden und Schadensbildern systematische Verfahren im Rahmen von Normen zur Verfügung stehen [34], fehlten bisher die Grundlagen für die Durchführung einer systematischen und objektiven Massnahmenplanung Fahrbahnen.

Das vorliegend durchgeführte Forschungspaket zeigt einerseits die Grundlagen für die Variantenbildung auf, in erster Linie den Katalog von Standardmassnahmen (EP1) für Reparatur, Instandsetzung und Erneuerung von Fahrbahnen und die Verlaufskurven der Schadensentwicklungen verschiedenster Schadensmerkmale zur Prognose von Schadensentwicklungen in der Zukunft (EP2). Andererseits liefert das vorliegende Forschungspaket sowohl Methoden als auch Grundlagen für die Evaluation von Massnahmenfolgen, insbesondere die für die objektive Ermittlung der relevanten, kostenbestimmenden Faktoren sowie wiederum deren Berechnungsarten (EP4, EP5). Für die Bearbeitung dieser Aufgabe stehen u.a. weitere Grundlagen aus Normen und aus der Literatur zur Verfügung. Es sind dies z.B. die Norm Kosten-Nutzen-Analyse SN 641 820 [28] und weitere, einschlägig bekannte Verfahren zur Variantenevaluation z.B. das Multikriterielle Analytische Hierarchieverfahren (MAHP) [21]. Die Resultate des Forschungspaketes liefern zudem ein Verfahren der Simulation zur Bestimmung der Zusatzkosten bei Vor- oder Aufschub von Massnahmen in einer Massnahmenfolge. Die folgende Abbildung (Abb. 6) zeigt die zentralen Arbeitsschritte der Massnahmenplanung Fahrbahnen und erwähnt die extern individuell festzulegenden Vorgaben sowie die erforderlichen und geeigneten Werkzeuge zur Durchführung der Arbeitsschritte. Zum Aufzeigen der Einbettung des Prozesses der Massnahmenplanung im gesamten Erhaltungsmanagement sind als Vorspann die Zustandserfassung und -bewertung und als Nachspann die Projektierung der Massnahmen sowie die Baustellensplanung ergänzend aufgeführt.

Dieser systematisierte Prozessablauf der Massnahmenplanung Fahrbahnen stellt das erste Hauptergebnis des Forschungspaketes dar (vgl. Abb. 6).

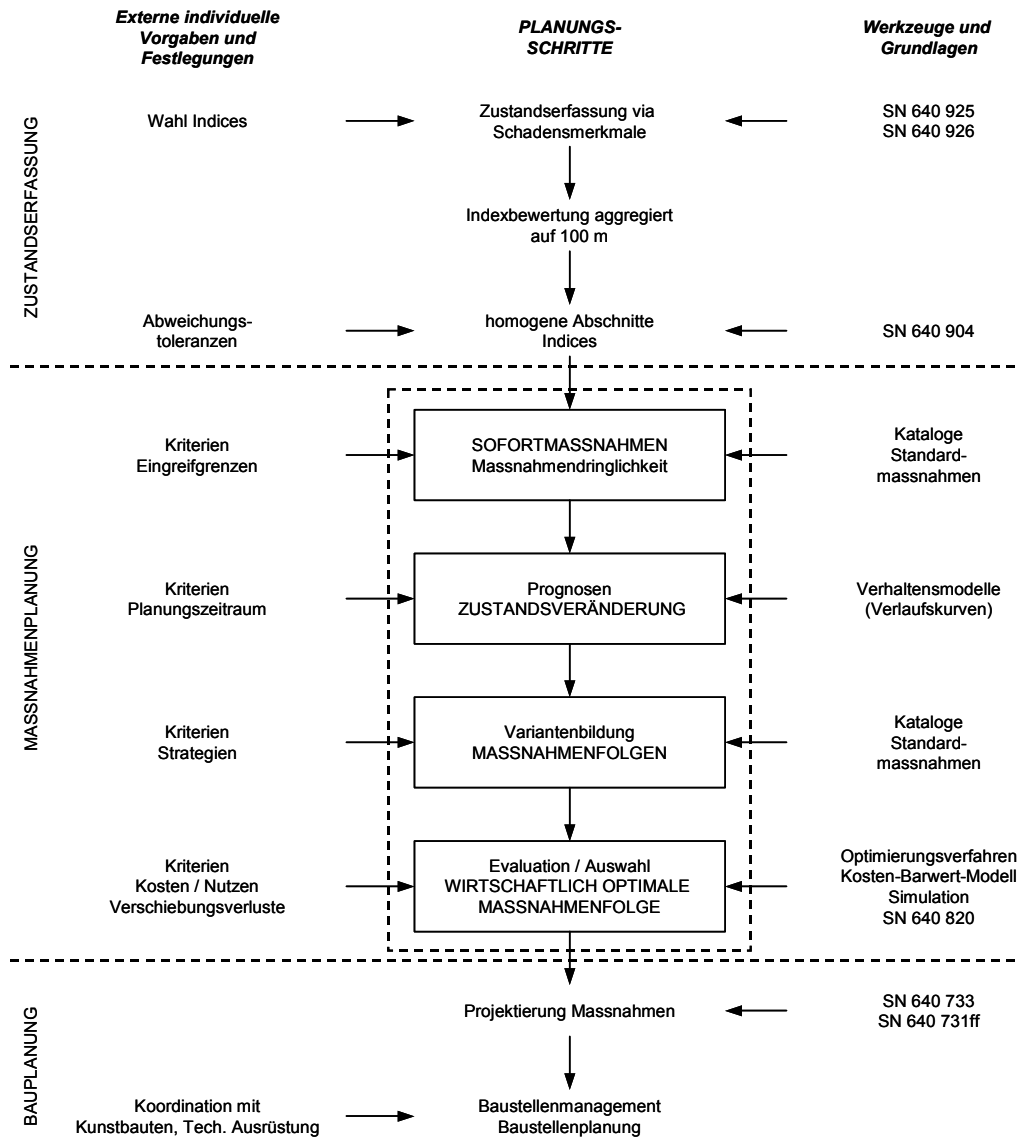


Abb. 6 Ablaufprozess der Massnahmenplanung

4.2 Standardisierte Erhaltungsmassnahmen

4.2.1 Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP1)

Das Einzelprojekt 1 VSS 2004/711 „Standardisierte Erhaltungsmassnahmen“ liefert einen Katalog der wichtigsten praxiserprobten Erhaltungsmassnahmen mit Einsatzbereich und Eignung zur Behebung definierter Schadensbilder, deren Wirkung auf Zustand und Verhaltensklasse sowie ihre spezifischen Kosten.

Die Zusammenstellung dieser Massnahmen mit den entsprechenden Angaben über ihre Merkmale und ihre Eignung hatte für Fahrbahnen mit unterschiedlichen Gegebenheiten wie Verkehrsbelastung, Ortslage, Topographie, Schichtaufbau, differenziert zu erfolgen. Zu diesem Zweck wurden die Strassen in entsprechende Kategorien gegliedert.

Es sind Massnahmenkataloge für Strassen mit bitumenhaltigen Oberbauten und für Betonstrassen erarbeitet worden. Ein Katalog für Strassen mit Compositbelägen (kombinierter Aufbau) war nicht Gegenstand dieses Projektes, weil zur Zeit noch keine oder zu wenig greifbare Erfahrungen und Erkenntnisse für die Instandsetzung von kombinierten Belägen vorliegen.

Die erarbeiteten Massnahmenkataloge sind ein Instrument zur Massnahmenplanung auf Netzebene und zur Erarbeitung einer auf fundierten Daten aufbauenden Finanzplanung des Strasseneigentümers. Die Massnahmenkataloge sind kein Projektierungsinstrument, dafür stehen zu wenige Daten zu Verfügung. Zudem kann mit standardisierten Massnahmen den individuellen Randbedingungen eines Strassenabschnittes wie Höhenlage, Topographie, Aufbau, Entstehungsgeschichte, usw. nicht gebührend Rechnung getragen werden.

Die Kataloge sind aufgrund von vorhandenen Katalogen bei grösseren Strasseneigentümern (Kantone und Städte), der vorhandenen Literatur, den Erfahrungen aus Beratungen und aus den Anforderungen der andern Teilprojekte des Forschungspaketes entstanden. Wertvolle Inputs haben auch die Diskussionen in den entsprechenden Expertenkommissionen ergeben.

Gesamthaft ist ein Forschungsbericht mit ausführlichen Erklärungen und Detailangaben, zwei praxisbezogenen Katalogen mit standardisierten Erhaltungsmassnahmen für bitumenhaltige Oberbauten und Betonbeläge und ein Inhaltsverzeichnis für einen Normentwurf entstanden.

4.2.2 Struktur der Kataloge Standardmassnahmen (aus Schlussbericht EP1)

Die Kataloge für bitumenhaltige Oberbauten und Betonbeläge sind grundsätzlich gleichartig aufgebaut (Abb. 8, Abb. 9).

Die vertikale Gliederung beinhaltet die einzelnen Massnahmen, gruppiert nach Reparatur, Instandsetzung und Verstärkung sowie Erneuerung gemäss den gültigen Normen SN 640 730b bis 736 [13]. Der Anwender wird aus diesen umfangreichen Katalogen, abgestimmt auf die Art seines zu unterhaltenden Strassennetzes, häufig verwendete Massnahmen auswählen. Die horizontale Gliederung zeigt die fünf Themenbereiche Eignung, Einschränkung, Anwendungsbereich, Rücksetzwert und Wirkung sowie die Richtkosten mit jeweils den zugehörigen Bezugsgrössen.

Die fünf Themenbereiche werden zusätzlich durch zwei Hilfstabellen mit weiteren Aspekten der Beschreibung des Strassenkörpers und des Schadenbildes ergänzt (Abb. 7). Die Schadengruppierung erfolgt aufgrund des Oberflächenzustandes, während die Verhaltensklassierung auf dem Strassenaufbau (Substanz) beruht.

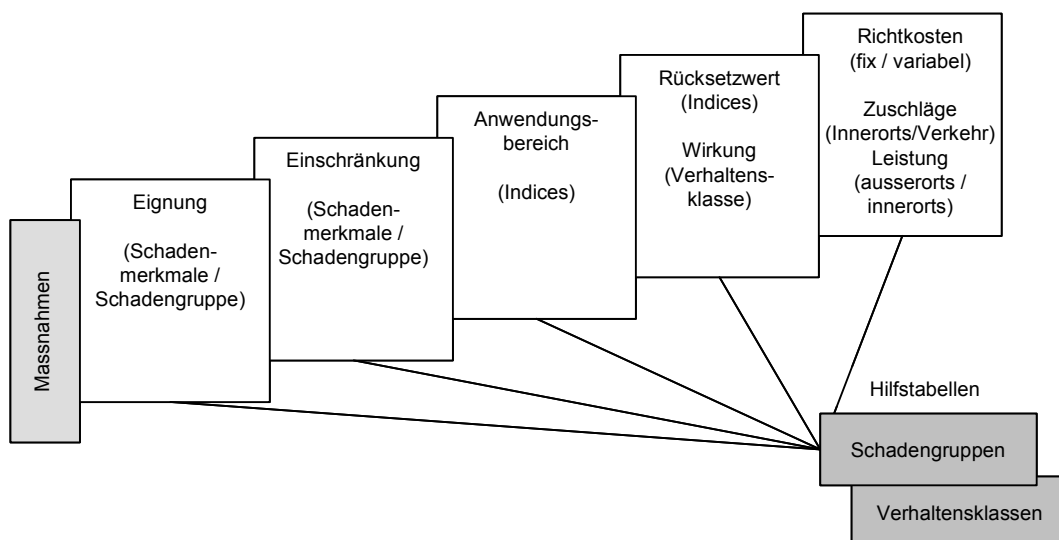


Abb. 7 Struktur der Massnahmenkataloge

Eignung

Die Beschreibung der Eignung gliedert sich in einen verbalen Beschrieb von Schadensmerkmalen und in die Zuordnung von Schadengruppen, bei der die gewählte Massnahme geeignet ist. Diese Schadengruppen wiederum sind in einer Hilfstabelle näher beschrieben.

Einschränkung

Der Beschrieb der Einschränkung gliedert sich in einen verbalen Beschrieb von Schadensmerkmalen und in die Zuordnung von Schadengruppen, bei der die gewählte Massnahme nicht geeignet ist. Diese Schadengruppen wiederum sind in einer Hilfstabelle näher beschrieben.

Die Begriffe der verbalen Beschreibung lehnen sich weitgehend an die SN 640 925b [34] an. Bezüglich Beschreibung der Rubriken Eignung und Einschränkung wird hier auf den Schlussbericht EP1 verwiesen [29].

Anwendungsbereich (Abb. 8, Abb. 9)

Der Anwendungsbereich gibt in Bezug zu den fünf Zustandsindices und den fünf bzw. sechs Einzelindices an, in welchem Bereich die gewählte Massnahme sinnvoll ist. Diese Angaben sollen dazu dienen, dem Schadenbild angepasste Massnahmen zu wählen und anzuwenden.

Als zusätzliche Hilfe ist ein hauptauslösendes Merkmal (oder mehrere) bezeichnet worden (farblich hinterlegt). Damit soll die Wahl von ungeeigneten Massnahmen weitgehend vermieden werden.

Bereiche ohne Angaben bedeuten, dass dieses Schadenbild oder Schadensmerkmal gar nicht auftreten darf. In diesem Fall ist die Massnahme ungeeignet und es muss eine andere, geeignetere gewählt werden.

Rücksetzwert und Wirkung (Abb. 8, Abb. 9)

Der Rücksetzwert beschreibt in Bezug auf die fünf Zustandsindices und die fünf bzw. sechs Einzelindices des Indexes I_1 (Oberflächenschäden) den zu erwartenden Zustandswert nach der Ausführung der gewählten Massnahme.

Ein Wert mit einem negativen Vorzeichen bedeutet, dass sich der Zustandswert gegenüber dem Ausgangswert um einen bestimmten Wert, z.B. -0.9, verbessert.

Ein Wert ohne Vorzeichen bedeutet, dass sich der Zustandswert unabhängig vom Ausgangswert auf einen bestimmten Wert, z.B. 0.0 (gut, neuwertig, ohne Schaden), verbessert. Es handelt sich hierbei also um einen festgelegten Wert (absolute Verbesserung). Kein Wert bedeutet, dass kein oder nur ein marginaler Einfluss besteht.

Die Berechnung des Rücksetzwertes basiert auf der Annahme, dass i.d.R. das hauptauslösende Merkmal sowie allenfalls weitere wichtige Schadensmerkmale berücksichtigt wurden. Allenfalls weitere vorhandene Schäden wurden nicht berücksichtigt, sind aber erwähnt.

Die Wirkung beschreibt in Bezug auf die Verhaltensklasse, wie sich die gewählte Massnahme auswirkt. Die Beschreibung der Verhaltensklassen (Beschrieb des Strassenaufbaus, der Substanz) ist in Hilfstabellen enthalten. Ein Wert mit Vorzeichen zeigt, dass die Massnahme eine Verbesserung um eine, allenfalls zwei Klassen bringt (relative Veränderung). Das bedeutet, dass sich die Strasse in Zukunft „besser“ verhält und sich Schäden weniger schnell entwickeln. Ein Wert ohne Vorzeichen zeigt, in welcher Schadensklasse sich die Strasse nach der Ausführung der Massnahme befindet (festgelegte Klasse, absolute Veränderung). Dies kommt im Grunde nur bei Neubau-Massnahmen vor.

Kosten, Zuschläge und Leistung (Abb. 8, Abb. 9)

Die Kosten setzen sich aus einem fixen und einem variablen Teil zusammen. Die fixen

Kosten beinhalten die gesamte Installation als festen Betrag in CHF. Die variablen Kosten sind mengenabhängig und setzen sich aus den Kosten für die Hauptarbeiten (Material, Transport, Verarbeitung), allfälligen Zusatzarbeiten (Fräsen, SAMI), einem Zuschlag für das Engineering (Projekt, Ausschreibung, Bauleitung) von 10 %, dem Zuschlag für die Baustellensignalisation und die Markierung von je 2 % zusammen. Die Mehrwertsteuer ist nicht enthalten.

Die angegebene Bandbreite der Kosten erlaubt, ausgehend vom Mittelwert für mittlere Mengen, die Anpassung an grössere und kleinere Mengen:

- Fixkosten: + % für grosse Mengen - % für kleine Mengen
- Variable Kosten: + % für kleine Mengen - % für grosse Mengen

Die Preise sind mit Positionen des NPK 223D/05 [37] kalkuliert und können somit jederzeit den veränderten Bedingungen angepasst werden.

Die Zuschläge in Prozent zu den Kosten sollen einerseits die höheren Aufwendungen für Arbeiten innerorts (Randabschlüsse, Einbauten, kleine Mengen pro Etappe) und andererseits für das Bauen unter Verkehr mit wechselseitiger Verkehrsführung gegenüber dem Bauen ohne Verkehr mittels Totsperrung darstellen.

Falls die Arbeiten im 2-Schicht-Betrieb ausgeführt werden, ist zusätzlich mit einem Zuschlag von 10 % zu rechnen. Dieser Zuschlag ist im Katalog nicht aufgeführt.

Die Leistung soll aufzeigen, welche Menge in einer bestimmten Zeit vernünftigerweise verarbeitet werden kann, aufgeteilt nach innerorts und ausserorts. Die Fläche bezieht sich auf die betroffene Strassenfläche.

Schadengruppen

Diese Hilfstabelle ist eine Ergänzung des Massnahmenkataloges und dient der besseren Zuordnung der Schäden zur richtigen Schadengruppe. Diese Zuordnung beeinflusst die Massnahmenwahl zur Behebung des Schadens ganz entscheidend und soll helfen, nicht geeignete Massnahmen auszuschliessen.

Die Angaben aus der Hilfstabelle „Schadengruppen“ finden Eingang im Katalog bei den Themen der Eignung und der Einschränkung.

Bezüglich Hilfstabelle Schadengruppe sei an dieser Stelle auf den Schlussbericht EP1 verwiesen [29].

Verhaltensklassen

Diese Hilfstabelle ist eine Ergänzung des Massnahmenkataloges und soll die Güte des Aufbaus der Strasse charakterisieren. Dies ist für die zukünftige Schadensentwicklung massgebend. Eine Strasse mit ungenügendem Aufbau wird nach einer Instandsetzungsmassnahme sehr viel schneller erneut Schäden aufweisen, als eine Strasse mit den Anforderungen genügendem Aufbau.

Die Angaben aus der Hilfstabelle „Verhaltensklassen“ finden im Kapitel Rücksetzwerte und Wirkung Eingang in den Katalog. Es kann damit gezeigt werden, ob sich eine Massnahme zur Erhöhung des Rücksetzwertes eignet und wie sich das auswirken kann (Verbesserung um eine oder zwei Klassen).

Bezüglich Hilfstabelle Verhaltensklasse sei an dieser Stelle auf den Schlussbericht EP1 verwiesen [29].

4.2.3 Katalog Standardmassnahmen bitumenhaltiger Oberbau (Auszug)

Spezifikationen	Anwendungsbereich										Richtwert (in Bezug auf Index)				Wirkung	Verhaltensklasse	Richtkosten (CHF exkl. MVST. ohne Verkehr)		Zuschläge	Leistung		
	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	l ₆	l ₇	l ₈	l ₉	l ₁₀	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄			CHF/m ²	CHF/m ²			Immerts	Verkehr
1. Reparatur SN 840 731b	0,4-0,8	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1000,00	10	1,40	20	2000	1700
1.1 Riss- Instandsetzung	0,4-0,8	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1000,00	10	1,40	20	2000	1700	
1.2 Fugenlack, keine Einzelfugen	0,6-1,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1000,00	10	2,30	20	2000	1700	
1.3 Fugenlack, grosse Einzelfugen	0,6-1,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1000,00	10	2,30	20	2000	1700	
1.4 Oberflächenglättung	0,6-0,9	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1000,00	10	82,50	20	2000	2500	
1.5 Einbau einer neuen Fahrbahn	0,6-0,9	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1000,00	10	13,70	20	200	170	
2. Instandsetzung und Verstärkung SN 840 732a, 840 733b																						
2.1 Oberflächenerneuerungen																						
2.1.1 OB neu (Gehweg)	0,6-1,2	1,7-3,3	2,2-3,3	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	3500,00	10	9,10	20	500	400	
2.1.2 OB gross	0,6-1,2	1,7-3,3	2,2-3,3	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	3500,00	10	8,00	20	3000	2500	
2.1.3 OB doppelt	1,4-2,4	1,7-3,3	2,2-3,3	1,7-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	3500,00	10	13,70	20	3000	2500	
2.1.4 OB Kunststoff	0,6-1,2	1,7-3,3	2,2-3,3	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	3500,00	10	57,00	20	3000	2500	
2.2 Dimmschichtbelag																						
2.2.1 Kalmezo (DASK, 15 mm, ohne Vorfasen)	0,6-1,2	1,7-3,3	2,2-3,3	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	4100,00	10	10,80	20	4000	3500	
2.2.2 Kalmezo (DASK, 15 mm, mit Vorfasen)	1,4-2,4	1,7-3,3	2,2-3,3	1,7-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	4100,00	10	10,80	20	3000	2500	
2.2.3 Heisszack (ACVTL, 20 mm, ohne Vorfasen)	1,4-2,4	1,7-3,3	2,2-3,3	1,7-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	3500,00	10	11,00	20	4000	3500	
2.2.4 Heisszack (ACVTL, 20 mm, mit Vorfasen)	2,4-3,2	1,7-3,3	2,2-3,3	1,7-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	1,1-2,2	4100,00	10	15,60	20	3000	2500	
2.3 Hohebau (Deckschicht)																						
2.3.1 40 mm, ohne Vorfasen	2,5-3,5	1,7-2,2	2,2-3,3	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	30-40	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2.3.2 40 mm, mit Vorfasen	2,5-3,5	1,7-2,2	2,2-3,3	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	30-40	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2.3.3 40 mm, mit Vorfasen und Asphaltbewehrung	2,5-3,5	1,7-2,2	2,2-3,3	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2	30-40	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2.4 Hohebau (Deck- und Binderschicht)																						
2.4.1 100 mm, ohne Vorfasen	3,0-4,0	3,3-5,0	3,3-5,0	1,7-3,3	3,3-5,0	3,3-5,0	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	> 3,5	> 3,5	3500,00	10	44,00	20	8000	6500
2.4.2 100 mm, mit Vorfasen	3,0-4,0	3,3-5,0	3,3-5,0	1,7-3,3	3,3-5,0	3,3-5,0	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	> 3,5	> 3,5	4100,00	10	52,00	20	6000	5000
2.4.3 100 mm, mit Vorfasen und Asphaltbewehrung	3,0-4,0	3,3-5,0	3,3-5,0	1,7-3,3	3,3-5,0	3,3-5,0	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	2,5-3,5	> 3,5	> 3,5	4100,00	10	69,10	20	4000	3500
2.5 Tiefenbau (Deckschicht)																						
2.5.1 20 mm (Gehweg)	3,0-4,0	1,7-2,2	2,2-3,3	0,6-1,7	1,7-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	3,0-4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2.5.2 40 mm	3,0-4,0	1,7-3,3	2,2-3,3	1,7-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	3,0-4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2.5.3 40 mm mit Asphaltbewehrung	3,0-4,0	1,7-3,3	2,2-3,3	1,7-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	3,0-4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2.6 Tiefenbau (Deck- und Binderschicht)																						
2.6.1 100 mm	3,5-4,5	2,2-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	2,2-5,0	3,3-5,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	> 3,5	> 3,5	5100,00	10	24,70	20	1000	800
2.6.2 100 mm mit Asphaltbewehrung	3,5-4,5	2,2-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	2,2-5,0	3,3-5,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	> 3,5	> 3,5	5100,00	10	30,30	20	4000	3500
2.7 Spurrinnen - Instandsetzung (Fahren, Belag)																						
2.7.1 2 Radspuren (1 Fahrspur)	0,6-1,8	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	3,0-4,0	-1,2	-0,5	-3,3	1,0	1,0	1,0	1,0
2.7.2 4 Radspuren (2 Fahrspuren)	1,2-2,4	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,0-4,0	-1,8	-1,1	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
8 Erneuerung SN 840 324a																						
8.1 Gesamt - Erneuerungen																						
8.1.1 200 mm (Deck-, Binder- und Tragschicht)	4,0-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	> 3,5	> 3,5	9500,00	10	108,80	20	1000	800
8.1.2 250 mm (Fundation AC F, Deck- und Tragschicht)	4,0-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	> 3,5	> 3,5	8000,00	10	100,10	20	800	600
8.1.3 400 mm (300 mm Fundation Kiessand)	4,0-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	> 3,5	> 3,5	8000,00	10	92,20	20	500	400
8.1.4 600 mm (400 mm Fundation Kiessand)	4,0-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	> 3,5	> 3,5	8000,00	10	143,60	20	400	300
8.2 Bankett- und Rand - Erneuerungen																						
8.2.1 Einseitig, ohne Belagsmischung	0,6-1,8	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	1,7-3,3	3,0-4,0	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8.2.2 Einseitig, mit Belagsmischung (Hohebau)	2,0-3,0	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	1,1-3,3	3,0-4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8.2.3 Beidseitig, ohne Belagsmischung	1,2-2,4	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	2,2-3,3	3,0-4,0	-1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8.2.4 Beidseitig, mit Belagsmischung (Hohebau)	3,0-4,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	1,7-5,0	3,0-4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8.3 Recyclingverfahren																						
8.3.1 200 mm RMF, 15 mm Kalmezo	4,0-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	> 3,5	> 3,5	20000,00	10	24,80	20	1000	800
8.3.2 250 mm RMF, 40 mm Deckschicht	4,0-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	> 3,5	> 3,5	20000,00	10	36,40	20	800	650
8.3.3 300 mm RMF, 100 mm Deck- und Tragschicht	4,0-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	3,3-5,0	> 3,5	> 3,5	20000,00	10	56,00	20	500	400

Wert mit Vorzeichen:
 Relative Veränderung des Zustandes gegenüber dem Ausgangswert

Wert ohne Vorzeichen:
 Festgelegter Zustandswert nach Ausführung der Massnahme (absolut)

Kein Wert:
 Keinen oder nur sehr geringen Einfluss

Fix:
 - Betrag für mittlere Menge
 - +% für grosse Menge
 - -% für kleine Menge

Variabel:
 - Betrag für mittlere Menge
 - +% für kleine Menge
 - -% für grosse Menge

Legende:
 = Hauptablenkende Merkmale)
 Kursiv = Der (t) alle alleinige Grundlätze für eine Massnahmenplanung ist ungenügend!
 Es sind mindestens noch die Gruppenwerte, bzw. die Teilindizes, oder weitere Angaben/ Indizes notwendig
 1) = Oberflächenerneuerungen und Dimmschichtbelag sind bei starkem Schwitzen ungeeignet (Massnahme mit Fahren und Walzspalt wählen)
 Feld leer = Dieses Schadenmerkmal darf nicht vorkommen (Massnahme unge

4.2.4 Katalog Standardmassnahmen Betonoberbau (Auszug)

Massnahmen	Anwendungsbereich												Rückwert (in Bezug auf Inzide)		Verhaltensklasse		Richtkosten CHF exkl. MWST. ohne Verkehr		Zuschläge		Leistung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀	h ₁₁	h ₁₂	h ₁₃	h ₁₄	h ₁₅	h ₁₆	h ₁₇	h ₁₈	h ₁₉	h ₂₀	h ₂₁	h ₂₂	h ₂₃	h ₂₄	h ₂₅	h ₂₆	h ₂₇	h ₂₈	h ₂₉	h ₃₀	h ₃₁	h ₃₂	h ₃₃	h ₃₄	h ₃₅	h ₃₆	h ₃₇	h ₃₈	h ₃₉	h ₄₀	h ₄₁	h ₄₂	h ₄₃	h ₄₄	h ₄₅	h ₄₆	h ₄₇	h ₄₈	h ₄₉	h ₅₀	h ₅₁	h ₅₂	h ₅₃	h ₅₄	h ₅₅	h ₅₆	h ₅₇	h ₅₈	h ₅₉	h ₆₀	h ₆₁	h ₆₂	h ₆₃	h ₆₄	h ₆₅	h ₆₆	h ₆₇	h ₆₈	h ₆₉	h ₇₀	h ₇₁	h ₇₂	h ₇₃	h ₇₄	h ₇₅	h ₇₆	h ₇₇	h ₇₈	h ₇₉	h ₈₀	h ₈₁	h ₈₂	h ₈₃	h ₈₄	h ₈₅	h ₈₆	h ₈₇	h ₈₈	h ₈₉	h ₉₀	h ₉₁	h ₉₂	h ₉₃	h ₉₄	h ₉₅	h ₉₆	h ₉₇	h ₉₈	h ₉₉	h ₁₀₀	h ₁₀₁	h ₁₀₂	h ₁₀₃	h ₁₀₄	h ₁₀₅	h ₁₀₆	h ₁₀₇	h ₁₀₈	h ₁₀₉	h ₁₁₀	h ₁₁₁	h ₁₁₂	h ₁₁₃	h ₁₁₄	h ₁₁₅	h ₁₁₆	h ₁₁₇	h ₁₁₈	h ₁₁₉	h ₁₂₀	h ₁₂₁	h ₁₂₂	h ₁₂₃	h ₁₂₄	h ₁₂₅	h ₁₂₆	h ₁₂₇	h ₁₂₈	h ₁₂₉	h ₁₃₀	h ₁₃₁	h ₁₃₂	h ₁₃₃	h ₁₃₄	h ₁₃₅	h ₁₃₆	h ₁₃₇	h ₁₃₈	h ₁₃₉	h ₁₄₀	h ₁₄₁	h ₁₄₂	h ₁₄₃	h ₁₄₄	h ₁₄₅	h ₁₄₆	h ₁₄₇	h ₁₄₈	h ₁₄₉	h ₁₅₀	h ₁₅₁	h ₁₅₂	h ₁₅₃	h ₁₅₄	h ₁₅₅	h ₁₅₆	h ₁₅₇	h ₁₅₈	h ₁₅₉	h ₁₆₀	h ₁₆₁	h ₁₆₂	h ₁₆₃	h ₁₆₄	h ₁₆₅	h ₁₆₆	h ₁₆₇	h ₁₆₈	h ₁₆₉	h ₁₇₀	h ₁₇₁	h ₁₇₂	h ₁₇₃	h ₁₇₄	h ₁₇₅	h ₁₇₆	h ₁₇₇	h ₁₇₈	h ₁₇₉	h ₁₈₀	h ₁₈₁	h ₁₈₂	h ₁₈₃	h ₁₈₄	h ₁₈₅	h ₁₈₆	h ₁₈₇	h ₁₈₈	h ₁₈₉	h ₁₉₀	h ₁₉₁	h ₁₉₂	h ₁₉₃	h ₁₉₄	h ₁₉₅	h ₁₉₆	h ₁₉₇	h ₁₉₈	h ₁₉₉	h ₂₀₀	h ₂₀₁	h ₂₀₂	h ₂₀₃	h ₂₀₄	h ₂₀₅	h ₂₀₆	h ₂₀₇	h ₂₀₈	h ₂₀₉	h ₂₁₀	h ₂₁₁	h ₂₁₂	h ₂₁₃	h ₂₁₄	h ₂₁₅	h ₂₁₆	h ₂₁₇	h ₂₁₈	h ₂₁₉	h ₂₂₀	h ₂₂₁	h ₂₂₂	h ₂₂₃	h ₂₂₄	h ₂₂₅	h ₂₂₆	h ₂₂₇	h ₂₂₈	h ₂₂₉	h ₂₃₀	h ₂₃₁	h ₂₃₂	h ₂₃₃	h ₂₃₄	h ₂₃₅	h ₂₃₆	h ₂₃₇	h ₂₃₈	h ₂₃₉	h ₂₄₀	h ₂₄₁	h ₂₄₂	h ₂₄₃	h ₂₄₄	h ₂₄₅	h ₂₄₆	h ₂₄₇	h ₂₄₈	h ₂₄₉	h ₂₅₀	h ₂₅₁	h ₂₅₂	h ₂₅₃	h ₂₅₄	h ₂₅₅	h ₂₅₆	h ₂₅₇	h ₂₅₈	h ₂₅₉	h ₂₆₀	h ₂₆₁	h ₂₆₂	h ₂₆₃	h ₂₆₄	h ₂₆₅	h ₂₆₆	h ₂₆₇	h ₂₆₈	h ₂₆₉	h ₂₇₀	h ₂₇₁	h ₂₇₂	h ₂₇₃	h ₂₇₄	h ₂₇₅	h ₂₇₆	h ₂₇₇	h ₂₇₈	h ₂₇₉	h ₂₈₀	h ₂₈₁	h ₂₈₂	h ₂₈₃	h ₂₈₄	h ₂₈₅	h ₂₈₆	h ₂₈₇	h ₂₈₈	h ₂₈₉	h ₂₉₀	h ₂₉₁	h ₂₉₂	h ₂₉₃	h ₂₉₄	h ₂₉₅	h ₂₉₆	h ₂₉₇	h ₂₉₈	h ₂₉₉	h ₃₀₀	h ₃₀₁	h ₃₀₂	h ₃₀₃	h ₃₀₄	h ₃₀₅	h ₃₀₆	h ₃₀₇	h ₃₀₈	h ₃₀₉	h ₃₁₀	h ₃₁₁	h ₃₁₂	h ₃₁₃	h ₃₁₄	h ₃₁₅	h ₃₁₆	h ₃₁₇	h ₃₁₈	h ₃₁₉	h ₃₂₀	h ₃₂₁	h ₃₂₂	h ₃₂₃	h ₃₂₄	h ₃₂₅	h ₃₂₆	h ₃₂₇	h ₃₂₈	h ₃₂₉	h ₃₃₀	h ₃₃₁	h ₃₃₂	h ₃₃₃	h ₃₃₄	h ₃₃₅	h ₃₃₆	h ₃₃₇	h ₃₃₈	h ₃₃₉	h ₃₄₀	h ₃₄₁	h ₃₄₂	h ₃₄₃	h ₃₄₄	h ₃₄₅	h ₃₄₆	h ₃₄₇	h ₃₄₈	h ₃₄₉	h ₃₅₀	h ₃₅₁	h ₃₅₂	h ₃₅₃	h ₃₅₄	h ₃₅₅	h ₃₅₆	h ₃₅₇	h ₃₅₈	h ₃₅₉	h ₃₆₀	h ₃₆₁	h ₃₆₂	h ₃₆₃	h ₃₆₄	h ₃₆₅	h ₃₆₆	h ₃₆₇	h ₃₆₈	h ₃₆₉	h ₃₇₀	h ₃₇₁	h ₃₇₂	h ₃₇₃	h ₃₇₄	h ₃₇₅	h ₃₇₆	h ₃₇₇	h ₃₇₈	h ₃₇₉	h ₃₈₀	h ₃₈₁	h ₃₈₂	h ₃₈₃	h ₃₈₄	h ₃₈₅	h ₃₈₆	h ₃₈₇	h ₃₈₈	h ₃₈₉	h ₃₉₀	h ₃₉₁	h ₃₉₂	h ₃₉₃	h ₃₉₄	h ₃₉₅	h ₃₉₆	h ₃₉₇	h ₃₉₈	h ₃₉₉	h ₄₀₀	h ₄₀₁	h ₄₀₂	h ₄₀₃	h ₄₀₄	h ₄₀₅	h ₄₀₆	h ₄₀₇	h ₄₀₈	h ₄₀₉	h ₄₁₀	h ₄₁₁	h ₄₁₂	h ₄₁₃	h ₄₁₄	h ₄₁₅	h ₄₁₆	h ₄₁₇	h ₄₁₈	h ₄₁₉	h ₄₂₀	h ₄₂₁	h ₄₂₂	h ₄₂₃	h ₄₂₄	h ₄₂₅	h ₄₂₆	h ₄₂₇	h ₄₂₈	h ₄₂₉	h ₄₃₀	h ₄₃₁	h ₄₃₂	h ₄₃₃	h ₄₃₄	h ₄₃₅	h ₄₃₆	h ₄₃₇	h ₄₃₈	h ₄₃₉	h ₄₄₀	h ₄₄₁	h ₄₄₂	h ₄₄₃	h ₄₄₄	h ₄₄₅	h ₄₄₆	h ₄₄₇	h ₄₄₈	h ₄₄₉	h ₄₅₀	h ₄₅₁	h ₄₅₂	h ₄₅₃	h ₄₅₄	h ₄₅₅	h ₄₅₆	h ₄₅₇	h ₄₅₈	h ₄₅₉	h ₄₆₀	h ₄₆₁	h ₄₆₂	h ₄₆₃	h ₄₆₄	h ₄₆₅	h ₄₆₆	h ₄₆₇	h ₄₆₈	h ₄₆₉	h ₄₇₀	h ₄₇₁	h ₄₇₂	h ₄₇₃	h ₄₇₄	h ₄₇₅	h ₄₇₆	h ₄₇₇	h ₄₇₈	h ₄₇₉	h ₄₈₀	h ₄₈₁	h ₄₈₂	h ₄₈₃	h ₄₈₄	h ₄₈₅	h ₄₈₆	h ₄₈₇	h ₄₈₈	h ₄₈₉	h ₄₉₀	h ₄₉₁	h ₄₉₂	h ₄₉₃	h ₄₉₄	h ₄₉₅	h ₄₉₆	h ₄₉₇	h ₄₉₈	h ₄₉₉	h ₅₀₀	h ₅₀₁	h ₅₀₂	h ₅₀₃	h ₅₀₄	h ₅₀₅	h ₅₀₆	h ₅₀₇	h ₅₀₈	h ₅₀₉	h ₅₁₀	h ₅₁₁	h ₅₁₂	h ₅₁₃	h ₅₁₄	h ₅₁₅	h ₅₁₆	h ₅₁₇	h ₅₁₈	h ₅₁₉	h ₅₂₀	h ₅₂₁	h ₅₂₂	h ₅₂₃	h ₅₂₄	h ₅₂₅	h ₅₂₆	h ₅₂₇	h ₅₂₈	h ₅₂₉	h ₅₃₀	h ₅₃₁	h ₅₃₂	h ₅₃₃	h ₅₃₄	h ₅₃₅	h ₅₃₆	h ₅₃₇	h ₅₃₈	h ₅₃₉	h ₅₄₀	h ₅₄₁	h ₅₄₂	h ₅₄₃	h ₅₄₄	h ₅₄₅	h ₅₄₆	h ₅₄₇	h ₅₄₈	h ₅₄₉	h ₅₅₀	h ₅₅₁	h ₅₅₂	h ₅₅₃	h ₅₅₄	h ₅₅₅	h ₅₅₆	h ₅₅₇	h ₅₅₈	h ₅₅₉	h ₅₆₀	h ₅₆₁	h ₅₆₂	h ₅₆₃	h ₅₆₄	h ₅₆₅	h ₅₆₆	h ₅₆₇	h ₅₆₈	h ₅₆₉	h ₅₇₀	h ₅₇₁	h ₅₇₂	h ₅₇₃	h ₅₇₄	h ₅₇₅	h ₅₇₆	h ₅₇₇	h ₅₇₈	h ₅₇₉	h ₅₈₀	h ₅₈₁	h ₅₈₂	h ₅₈₃	h ₅₈₄	h ₅₈₅	h ₅₈₆	h ₅₈₇	h ₅₈₈	h ₅₈₉	h ₅₉₀	h ₅₉₁	h ₅₉₂	h ₅₉₃	h ₅₉₄	h ₅₉₅	h ₅₉₆	h ₅₉₇	h ₅₉₈	h ₅₉₉	h ₆₀₀	h ₆₀₁	h ₆₀₂	h ₆₀₃	h ₆₀₄	h ₆₀₅	h ₆₀₆	h ₆₀₇	h ₆₀₈	h ₆₀₉	h ₆₁₀	h ₆₁₁	h ₆₁₂	h ₆₁₃	h ₆₁₄	h ₆₁₅	h ₆₁₆	h ₆₁₇	h ₆₁₈	h ₆₁₉	h ₆₂₀	h ₆₂₁	h ₆₂₂	h ₆₂₃	h ₆₂₄	h ₆₂₅	h ₆₂₆	h ₆₂₇	h ₆₂₈	h ₆₂₉	h ₆₃₀	h ₆₃₁	h ₆₃₂	h ₆₃₃	h ₆₃₄	h ₆₃₅	h ₆₃₆	h ₆₃₇	h ₆₃₈	h ₆₃₉	h ₆₄₀	h ₆₄₁	h ₆₄₂	h ₆₄₃	h ₆₄₄	h ₆₄₅	h ₆₄₆	h ₆₄₇	h ₆₄₈	h ₆₄₉	h ₆₅₀	h ₆₅₁	h ₆₅₂	h ₆₅₃	h ₆₅₄	h ₆₅₅	h ₆₅₆	h ₆₅₇	h ₆₅₈	h ₆₅₉	h ₆₆₀	h ₆₆₁	h ₆₆₂	h ₆₆₃	h ₆₆₄	h ₆₆₅	h ₆₆₆	h ₆₆₇	h ₆₆₈	h ₆₆₉	h ₆₇₀	h ₆₇₁	h ₆₇₂	h ₆₇₃	h ₆₇₄	h ₆₇₅	h ₆₇₆	h ₆₇₇	h ₆₇₈	h ₆₇₉	h ₆₈₀	h ₆₈₁	h ₆₈₂	h ₆₈₃	h ₆₈₄	h ₆₈₅	h ₆₈₆	h ₆₈₇	h ₆₈₈	h ₆₈₉	h ₆₉₀	h ₆₉₁	h ₆₉₂	h ₆₉₃	h ₆₉₄	h ₆₉₅	h ₆₉₆	h ₆₉₇	h ₆₉₈	h ₆₉₉	h ₇₀₀	h ₇₀₁	h ₇₀₂	h ₇₀₃	h ₇₀₄	h ₇₀₅	h ₇₀₆	h ₇₀₇	h ₇₀₈	h ₇₀₉	h ₇₁₀	h ₇₁₁	h ₇₁₂	h ₇₁₃	h ₇₁₄	h ₇₁₅	h ₇₁₆	h ₇₁₇	h ₇₁₈	h ₇₁₉	h ₇₂₀	h ₇₂₁	h ₇₂₂	h ₇₂₃	h ₇₂₄	h ₇₂₅	h ₇₂₆	h ₇₂₇	h ₇₂₈	h ₇₂₉	h ₇₃₀	h ₇₃₁	h ₇₃₂	h ₇₃₃	h ₇₃₄	h ₇₃₅	h ₇₃₆	h ₇₃₇	h ₇₃₈	h ₇₃₉	h ₇₄₀	h ₇₄₁	h ₇₄₂	h ₇₄₃	h ₇₄₄	h ₇₄₅	h ₇₄₆	h ₇₄₇	h ₇₄₈	h ₇₄₉	h ₇₅₀	h ₇₅₁	h ₇₅₂	h ₇₅₃	h ₇₅₄	h ₇₅₅	h ₇₅₆	h ₇₅₇	h ₇₅₈	h ₇₅₉	h ₇₆₀	h ₇₆₁	h ₇₆₂	h ₇₆₃	h ₇₆₄	h ₇₆₅	h ₇₆₆	h ₇₆₇	h ₇₆₈	h ₇₆₉	h ₇₇₀	h ₇₇₁	h ₇₇₂	h ₇₇₃	h ₇₇₄	h ₇₇₅	h ₇₇₆	h ₇₇₇	h ₇₇₈	h ₇₇₉	h ₇₈₀	h ₇₈₁	h ₇₈₂	h ₇₈₃	h ₇₈₄	h ₇₈₅	h ₇₈₆	h ₇₈₇	h ₇₈₈	h ₇₈₉	h ₇₉₀	h ₇₉₁	h ₇₉₂	h ₇₉₃	h ₇₉₄	h ₇₉₅	h ₇₉₆	h ₇₉₇	h ₇₉₈	h ₇₉₉	h ₈₀₀	h ₈₀₁	h ₈₀₂	h ₈₀₃	h ₈₀₄	h ₈₀₅	h ₈₀₆	h ₈₀₇	h ₈₀₈	h ₈₀₉	h ₈₁₀	h ₈₁₁	h ₈₁₂	h ₈₁₃	h ₈₁₄	h ₈₁₅	h ₈₁₆	h ₈₁₇	h ₈₁₈	h ₈₁₉	h ₈₂₀	h ₈₂₁	h ₈₂₂	h ₈₂₃	h ₈₂₄	h ₈₂₅	h ₈₂₆	h ₈₂₇	h ₈₂₈	h ₈₂₉	h ₈₃₀	h ₈₃₁	h ₈₃₂	h ₈₃₃	h ₈₃₄	h ₈₃₅	h ₈₃₆	h ₈₃₇	h ₈₃₈	h ₈₃₉	h ₈₄₀	h ₈₄₁	h ₈₄₂	h ₈₄₃	h ₈₄₄	h ₈₄₅	h ₈₄₆	h ₈₄₇	h ₈₄₈	h ₈₄₉	h ₈₅₀	h ₈₅₁	h ₈₅₂	h ₈₅₃	h ₈₅₄	h ₈₅₅	h ₈₅₆	h ₈₅₇	h ₈₅₈	h ₈₅₉	h ₈₆₀	h ₈₆₁	h ₈₆₂	h ₈₆₃	h ₈₆₄	h ₈₆₅	h ₈₆₆	h ₈₆₇	h ₈₆₈	h ₈₆₉	h ₈₇₀	h ₈₇₁	h ₈₇₂	h ₈₇₃	h ₈₇₄

4.2.5 Folgerungen und Empfehlung (aus Schlussbericht EP1)

Empfehlungen für die systematische Massnahmenplanung

Eine systematische und damit auch nachhaltige Massnahmenplanung auf Netzebene mit standardisierten Massnahmen ist die Grundlage für eine bedarfsgerechte und zeitabhängige Finanzplanung. Das ist auch die unabdingbare Grundlage für die politischen Verantwortungsträger. Nur so können die Erhaltung und damit auch die Werterhaltung der Strasseninfrastrukturen längerfristig gesichert werden.

Damit überhaupt eine systematische Massnahmenplanung erfolgen kann, muss der Strasseneigentümer Kenntnisse über den Zustand seines Netzes haben. Das sind im einfachsten Fall die Indices I_1 (visuelle Zustandserhebung nach SN 640 925b [34] und SN 640 926 [38]). Dabei ist es aber zwingend notwendig, dass die Gruppenwerte oder die Spartenindices bestimmt werden (detaillierte Aufnahmen), ansonsten kann eine auf das Schadenbild abgestimmte Massnahmenplanung nicht durchgeführt werden. Daneben besteht die Möglichkeit der weiterführenden messtechnischen Zustandserhebung (Indices I_2 , I_3 , I_4 und I_5), abhängig von den örtlichen und verkehrlichen Verhältnissen und Bedingungen.

Die Bezugseinheit für die Erhebung der Indices I_1 (visuelle Zustandserhebung) ist bei Nationalstrassen der Fahrstreifen (100-m-Abschnitte) und bei allen andern Strassen die ganze Fahrbahn (50-m-Abschnitte). In Einzelfällen, bei stark unterschiedlichem Schadenbild, kann auch beim übrigen Strassennetz ein fahrstreifenweises Beurteilen angezeigt sein, damit auch die Massnahmenplanung entsprechend differenziert gestaltet werden kann.

Die messtechnisch erfassten Indices I_2 und I_5 gelten grundsätzlich für einen Fahrstreifen. Sie können aber auf die gesamte Fahrbahn extrapoliert werden, was aber zu einer verminderten Aussagekraft bzgl. Zustand führt.

Leitfaden

Als Leitfaden kann der nachstehend formulierte Ablauf in Stichworten dienen:

- Strategische Ebene, Planung auf Netzebene (ev. geeignet für Normung)
 - Zustandsaufnahme (I_1 visuell, $I_2 - I_5$ messtechnisch)
 - Massnahmenplanung mit standardisierten Massnahmen und Ausführungszeitpunkt aufgrund Zustandsprognose (Verlaufskurve)
 - Finanzplanung (Zeitraum)
- Objekt-Ebene, konkrete Planung auf Projektebene
 - vertieft Aufnahmen, falls nötig (Aufschlüsse, Deflektions-Messungen)
 - Planung, Projektierung
 - Ausschreibung
 - Realisation
 - Mutation Zustandsplan und Massnahmenplanung

4.3 Schadensprozesse und Zustandsverläufe

4.3.1 Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP2)

Schadensprozesse

Die Verkehrsbelastung führt in der Regel und vereinfacht ausgedrückt zu zwei verschiedenen Grundformen von Schäden: der Rissbildung infolge Ermüdung oder den bleibenden Deformationen (u.a.: Spurrinnenbildung). Die Rissbildung kann alle bitumenhaltigen oder hydraulisch gebundenen Schichten des Oberbaus betreffen, während dem die bleibende Deformation sowohl gebundene als auch ungebundene Materialien des Oberbaus und Untergrundes betrifft.

Die Einwirkung von Verkehrslasten kann auf verschiedene Art und Weise das Verhalten der Strassen beeinflussen und insbesondere auch die Entwicklungsrates der Schadenszunahme beschleunigen. In erster Linie wirkt sich das Gewicht der Verkehrslasten auf die Grösse und den Verlauf der Schadensbildung aus.

Für verschiedene Schäden, insbesondere für die Einzelmerkmale der Gruppe Belagschäden (Index I_{A2}) ist der primäre Schadenauslöser von der Verkehrslast unabhängig (auch wenn diese dann die Wirkung verstärken kann). Dementsprechend treten diese Schäden auf der gesamten Strassenfläche auf, nicht nur in den Radspuren. Nachfolgend werden die wichtigsten Faktoren und ihre Folgen aufgelistet:

- Die belastungsabhängigen und belastungsunabhängigen Einflussfaktoren wirken gleichzeitig auf den Strassenoberbau. Dadurch können diese Faktoren einander stark beeinflussen, was sich in einer erhöhten Zunahmerate der Schäden bei ungünstiger Kombination verschiedener Faktoren äussert.
- Schäden können sich auch aufgrund von Einbaufehlern und Materialmängeln einstellen. Sie ergänzen die vorstehende Beschreibung des „normalen“ Verlaufs der Schadensbildung auf Strassen. Die daraus entstehenden kurzfristigen Folgen lassen sich kaum mit Hilfe von Verhaltensmodellen vorhersagen, sie stellen aber dennoch eine zwar unerwünschte aber tatsächlich vorhandene Realität des Strassenbaus dar.

Das Bewusstsein um diese Problematik hat denn auch bei der Datenanalyse für die Entwicklung von Verhaltensmodellen dazugeführt, dass in einem „Ausreisserfilter“ diejenigen Fälle aus der Auswertung entfernt wurden, bei denen offensichtlich ein Einbau- oder Materialfehler vorlag und nicht ein „natürliches“ Verhalten der betreffenden Strecke.

Verlaufskurven

Das Einzelprojekt 2 „Schadensprozesse und Zustandsverläufe“, welches auch den Zusatzauftrag VSS 2004/716 beinhaltet, liefert für eine Vielzahl von definierten Zustandsmerkmalen der Fahrbahnoberfläche deren Schadensentwicklung in Abhängigkeit der Nutzungsdauer und damit die dazugehörigen Verlaufskurven.

Grundsätzlich liessen sich zu folgenden Schadensmerkmalen (Indices) Modelle herleiten bzw. gelang es nicht, aufgrund der Datenbasis Zusammenhänge zu erkennen (Tab. 1).

Tab. 1 Modellgruppen der Verlaufskurven

Index	Beschreibung	Zustandsgrösse	Modellherleitung
I_{A1}	Oberflächeglätte	I_{A1}	Nur für Schadensmerk. Schwitzen
I_{A2}	Belagsschäden	I_{A2}	Regressionsanalysen
I_{A3}	Belagsverformungen	I_{A3}	Siehe Index I_3
I_{A4}	Strukt. Schäden	I_{A4}	Regressionsanalysen
I_{A5}	Flicke	I_{A5}	Kein Modell
I_2	Längsebenheit	Sw	Regressionsanalysen
I_3	Querebenheit	T	Regressionsanalyse
I_4	Griffigkeit	μ	Regressionsanalyse u. Lit.
I_5	Tragfähigkeit	I_5	Kein Modell

Die Ergebnisse sind gegliedert nach Gemeinde-, Kantons- und Nationalstrassen, und enthalten die Auswertungen der vorhandenen Daten im Hinblick auf die Bestimmung von Verhaltensmodellen mittels Regressionsrechnung. Bei sämtlichen Modellen wird das Belagsalter als Bezugsgrösse verwendet. Die weiteren Variablen sind bei Gemeinde- und Kantonsstrassen die Verkehrslastklassen und die Tragfähigkeit. Bei den Nationalstrassen, welche den Verkehrslastklassen T5 und T6 zugeordnet werden, werden die einzelnen Fahrstreifen als weitere Variable verwendet.

Die weiter enthaltenen Ergänzungen betreffen einerseits alternative Möglichkeiten der Beschaffung von Verhaltensmodellen mittels vereinfachten Verfahren oder durch die Definition theoretisch-empirisch definierter Standardkurven und andererseits praktische

Probleme der konkreten Modellanwendung, bei welchen es darum ging, ein vorhandenes Modell und den tatsächlichen Ausgangswert auf einem Abschnitt in die korrekte Beziehung zueinander zu bringen.

4.3.2 Methodik und Grundlagen von Verhaltensmodellen (aus Schlussbericht EP2)

Ausgangsdaten

Für die Entwicklung der im Schlussbericht EP2 vorgestellten Verhaltensmodelle wurde durchwegs ein deterministischer Ansatz gewählt, bei welchem die Entwicklung eines Parameters in Abhängigkeit des Alters dargestellt wird. Weitere Einflussfaktoren (vor allem die Verkehrslastklasse) wurden ebenfalls berücksichtigt. Die Umsetzung dieses Ansatzes erforderte die Verfügbarkeit von Datensätzen, bei welchen das Alter des Abschnittes bekannt war. Solche Datensätze waren für die hier beschriebene Aufgabe für das Nationalstrassennetz im Gebiet des Kantons Tessin und für das kantonale Strassennetz des Kantons Freiburg vorhanden. Diese Daten sind primär in die Entwicklungsarbeiten eingeflossen. Zusätzlich wurden Erfahrungswerte aus Zustandsdaten der kantonalen Strassennetze von Neuenburg, Schaffhausen, Tessin und Wallis und die aufgrund der Netzaufnahmen von 1999-2001 bekannte Zustandsverteilung auf dem ganzen Nationalstrassennetz mitberücksichtigt.

Datenaggregation

Im Hinblick darauf, dass sich die praktische Verwendung von Verhaltensmodellen auf den Einsatz von Erhaltungsmanagement-Systemen (PMS) fokussiert, bei denen die Art und der optimale Zeitpunkt von Massnahmen für alle Abschnitte in einem untersuchten Netz gesucht wird, wird dieser Bezug auf den „Abschnitt“ auch bei der Herleitung von Verhaltensmodellen berücksichtigt. Dies kommt dadurch zum Ausdruck, dass die als Grundlage für die Regressionsrechnungen verwendeten Daten durchwegs aggregierte Abschnittswerte darstellen. Bezüglich der Datenaggregation wurde das bei PMS - Anwendungen in Verbindung mit STRADA-DB festgelegte Konzept übernommen, wonach sich der massgebende Abschnittswert aller Indices aus der Summe von Mittelwert plus der einfachen Standardabweichung berechnet.

Bezugsgrössen für die Modellbildung

Im Bewusstsein der möglichen periodischen Änderungen der Umwandlungsregeln zwischen der gemessenen Grösse eines Parameters und dem dazugehörigen Indexwert (so geschehen bei der Herausgabe der SN 640 925b [34]) wurde grundsätzlich der gemessene Wert (z.B. Spurtiefe T) als Bezugsgrösse für die Modellbildung verwendet und nicht der Indexwert, dessen Beziehung zum Messwert von der Strassenkategorie abhängig sein kann. Von diesem Vorgehen wurde einzig bei den Oberflächenschäden abgewichen, bei welcher keine eigentliche „Messgrösse“ vorhanden ist (Quantifizierung über das Produkt von Ausmass und Schwere).

Behandlung von Ausreissern

Bei der Auswertung von Datensätze mit einer grösseren Streuung ist es nahe liegend, dass man zumindest den Versuch unternimmt, so genannte „Ausreisser“, d.h. Werte die vollkommen aus dem „normalen“ Bereich fallen (deren Ursache kann unter anderem auf eine fehlerhafte Datenzuordnung, auf falsche Messergebnisse, auf frühe Schadenbildung infolge Baumängel oder andere Zufälligkeiten zurückzuführen sein) von vorne herein auszuschliessen um die Zuverlässigkeit des Ergebnisses zu erhöhen. Bei einem solchen Vorgehen besteht allerdings das Risiko einer über das „normale“ Mass hinaus gehenden Korrektur. Zu diesem Zweck wurde vor der Auswertung festgelegt, welche Werte als Ausreisser zu betrachten waren. Die entsprechende Anwendung wurde für alle Verhaltensmodelle durchgeführt (siehe Schlussbericht EP2 [30]).

4.3.3 Verhaltensmodelle (aus Schlussbericht EP2)

Gliederung nach Strassenkategorie und Schadensmerkmalen

Für die Durchführung der Forschungsarbeit standen Daten aus dem Nationalstrassennetz und dem Kantonsstrassennetz (verschiedene Kantone) zur Verfügung, vereinzelt waren auch die Daten einiger Gemeinden verfügbar.

Aufgrund dieser Ausgangslage wurde für die Auswertung und Zuordnung der Daten folgende Gruppierung vorgenommen:

- Gruppe Gemeindestrassen: die Ortsdurchfahrten von Kantonsstrassen wurden separat ausgewertet und deren Ergebnisse unter dem Titel „Gemeindestrassen“ aufgeführt (Tab. 4)
- Gruppe Kantonsstrassen: Für die Auswertung der Oberflächenschäden wurden nur die Ausserortsbereiche der Kantonsstrassen berücksichtigt (Tab. 5)
- Gruppe Nationalstrassen: alle verfügbaren Daten aus dem Nationalstrassennetz wurden unter dieser Kategorie ausgewertet (Tab. 3)
- Verhaltensmodelle Griffigkeit für alle Strassen (Tab. 6)

Bei der weiteren Unterteilung der Datensätze von Kantonsstrassen nach Verkehrsbelastung standen jeweils nur die DTV-Werte zur Verfügung. Eine Zuteilung zu den Verkehrslastklassen erfolgte aufgrund der Angaben in der folgenden Tabelle (Tab. 2).

Tab. 2 Vereinfachte Gliederung und Zuordnung nach Verkehrslastklassen

Verkehrs- Lastklasse	Bezeichnung	TF Werte- Bereich	Anzahl LW > 3.5 to (ca.)	DTV-Wert	Typische Strassenarten
T1	Sehr leicht	≤	30	25	≤ 1'000 Erschliessungs- Strassen
T2	Leicht	>	30...100	80	≤ 3'000 Sammel-Strassen
T3	Mittel	>	100...300	250	≤ 10'000 Hauptstrassen
T4	schwer	>	300...1'000	700	≤ 20'000 Hauptstrassen
T5	Sehr schwer	>	1'000...3'000	2'000	≤ 60'000 HLS, Autobahnen
T6	Extrem schwer	>	3'000...10'000	>2'000	> 60'000 Autobahnen

Die folgenden Tabellen zeigen die erarbeiteten Verhaltensmodelle:

Tab. 3 Verhaltensmodelle für Nationalstrassen (Autobahnen, HLS),
Indices I_{A1} , I_{A2} , I_{A3} , I_{A4} , I_2 , I_3

Parameter	Bedingung	Modell	R^2
Index I_{A1}	rechter FS	kein Modell	
Oberflächenglätte	linker FS	kein Modell	
Index I_{A2}	rechter FS	$y = 1.3413 \cdot \text{Alter}^{0.2692}$	0.50
Belagschäden	linker FS	$y = 1.2934 \cdot \text{Alter}^{0.3201}$	0.62
Index I_{A3}	rechter FS	kein Modell, siehe I_3	
Belagverformungen	linker FS	kein Modell, siehe I_3	
Index I_{A1}	rechter FS	kein Modell, siehe I_2	
strukturelle Schäden	linker FS	kein Modell, siehe I_2	
s_w -Wert	rechter FS	$y = 0.025 \cdot \text{Alter} + 1.5448$	0.52
(Index I_2)	linker FS	$y = 0.0051 \cdot \text{Alter} + 1.7527$	0.06
Spurtiefe T_{\max}	Kriechspur	$y = 4.9139 \cdot \ln(\text{Alter}) - 1.3569$	0.63
(Index I_3)	rechter FS	$y = 3.09499 \cdot \ln(\text{Alter}) - 1.0249$	0.64
	linker FS	$y = 0.5394 \cdot \ln(\text{Alter}) + 3.0613$	0.29

Tab. 4 Verhaltensmodelle für Gemeindestrassen (innerorts),
Indices I_{A1} , I_{A2} , I_{A3} , I_{A4} , I_2 , I_3

	Bedingung	Modell	R ²
Index I_{A1} Oberflächenglätte	T1, $I_5 \leq 3$	siehe T2	
	T1, $I_5 > 3$		
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.4957 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.0736$	0.51
	T2, $I_5 > 3$		
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 0.3239 \cdot \text{Alter}^{0.5521}$	0.53
	T3, $I_5 > 3$	$y = 0.3095 \cdot \text{Alter}^{0.5496}$	0.58
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 0.2395 \cdot \text{Alter}^{0.6744}$	0.62
	T4, $I_5 > 3$	$y = 0.623 \cdot \text{Alter}^{0.39}$	0.53
Index I_{A2} Belagschäden	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 0.0602 \cdot \text{Alter} + 1.0641$	0.62
	T1, $I_5 > 3$	$y = 0.017 \cdot \text{Alter} + 0.863$	0.05
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.4462 \cdot \text{Alter}^{0.5455}$	0.38
	T2, $I_5 > 3$	$y = 0.0812 \cdot \text{Alter} + 1.1185$	0.95
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 0.4874 \cdot \text{Alter}^{0.4787}$	0.60
	T3, $I_5 > 3$	$y = 0.4249 \cdot \text{Alter}^{0.5306}$	0.49
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 0.2496 \cdot \text{Alter}^{0.749}$	0.63
	T4, $I_5 > 3$		
Index I_{A3} Belagverformungen	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 1.6353 \cdot \ln(\text{Alter}) - 2.085$	0.96
	T1, $I_5 > 3$		
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.8736 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.4793$	0.33
	T2, $I_5 > 3$	$y = 1.0951 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.9477$	0.51
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 1.0583 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.8273$	0.51
	T3, $I_5 > 3$	$y = 1.3686 \cdot \ln(\text{Alter}) - 1.3294$	0.59
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 1.0143 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.587$	0.30
	T4, $I_5 > 3$		
Index I_{A4} strukturelle Schäden	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 0.0615 \cdot \text{Alter} + 0.8573$	0.45
	T1, $I_5 > 3$	$y = 0.4173 \cdot \text{Alter}^{0.4932}$	0.61
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.4593 \cdot \text{Alter}^{0.4496}$	0.71
	T2, $I_5 > 3$	$y = 0.4726 \cdot e^{0.0795 \cdot \text{Alter}}$	0.71
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 0.2767 \cdot \text{Alter}^{0.6062}$	0.40
	T3, $I_5 > 3$	$y = 0.052 \cdot \text{Alter} + 0.9626$	0.45
	T4, $I_5 \leq 3$	siehe T3	
	T4, $I_5 > 3$	siehe T3	
s_w -Wert (Index I_2)	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 0.0352 \cdot \text{Alter} + 1.586$	0.21
	T1, $I_5 > 3$	$y = 0.1077 \cdot \text{Alter} + 0.7466$	0.99
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.0705 \cdot \text{Alter} + 1.3863$	0.58
	T2, $I_5 > 3$	$y = 0.0779 \cdot \text{Alter} + 1.9569$	0.26
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 0.064 \cdot \text{Alter} + 1.3513$	0.62
	T3, $I_5 > 3$	$y = 0.0636 \cdot \text{Alter} + 1.9171$	0.33
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 0.0188 \cdot \text{Alter} + 1.9166$	0.04
	T4, $I_5 > 3$	$y = 0.1085 \cdot \text{Alter} + 1.0584$	0.57
Spurtiefe T_{\max} (Index I_3)	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 2.0267 \cdot \ln(\text{Alter}) + 1.3474$	0.84
	T1, $I_5 > 3$	$y = 2.2192 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.6823$	0.90
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 3.4784 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.3453$	0.67
	T2, $I_5 > 3$	$y = 4.0019 \cdot \ln(\text{Alter}) - 1.1326$	0.61
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 3.8035 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.9682$	0.71
	T3, $I_5 > 3$	$y = 4.0013 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.1573$	0.64
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 5.4493 \cdot \ln(\text{Alter}) - 1.962$	0.66
	T4, $I_5 > 3$	$y = 6.8569 \cdot \ln(\text{Alter}) - 6.364$	0.60

Tab. 5 Verhaltensmodelle für Kantonsstrassen, Indices I_{A1} , I_{A2} , I_{A3} , I_{A4} , I_2 , I_3

	Bedingung	Modell	R ²
Index I_{A1} Oberflächenglätte	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 0.4782 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.1729$	
	T1, $I_5 > 3$	$y = 0.4782 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.1729$	
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.4782 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.1729$	
	T2, $I_5 > 3$	$y = 0.4782 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.1729$	
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 0.4782 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.1729$	0.67
	T3, $I_5 > 3$	$y = 0.4782 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.1729$	
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 0.4782 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.1729$	
	T4, $I_5 > 3$	$y = 0.4782 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.1729$	
Index I_{A2} Belagschäden	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 0.0139 \cdot \text{Alter} + 1.8062$	0.07
	T1, $I_5 > 3$	$y = 0.1005 \cdot \text{Alter} + 0.8093$	0.62
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.3058 \cdot \text{Alter}^{0.675}$	0.68
	T2, $I_5 > 3$	$y = 0.7714 \cdot \text{Alter}^{0.3727}$	0.39
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 0.2785 \cdot \text{Alter}^{0.7008}$	0.74
	T3, $I_5 > 3$	$y = 0.2665 \cdot \text{Alter}^{0.7929}$	0.81
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 0.1435 \cdot \text{Alter}^{0.9957}$	0.77
	T4, $I_5 > 3$		
Index I_{A3} Belagverformungen	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 0.7749 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.3836$	0.34
	T1, $I_5 > 3$	$y = 0.006 \cdot \text{Alter} + 1.6125$	1.00
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.7378 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.1217$	0.49
	T2, $I_5 > 3$	$y = 0.571 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.8056$	0.19
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 1.0202 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.5688$	0.66
	T3, $I_5 > 3$	$y = 1.2854 \cdot \ln(\text{Alter}) - 1.2744$	0.75
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 0.9028 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.3359$	0.36
	T4, $I_5 > 3$		
Index I_{A1} strukturelle Schäden	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 0.2577 \cdot \ln(\text{Alter}) + 1.2161$	0.04
	T1, $I_5 > 3$	$y = 0.0651 \cdot \text{Alter}^{1.2687}$	0.99
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.254 \cdot \text{Alter}^{0.7073}$	0.58
	T2, $I_5 > 3$	$y = 0.2347 \cdot \text{Alter}^{0.8376}$	0.52
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 0.3477 \cdot \text{Alter}^{0.5533}$	0.60
	T3, $I_5 > 3$	$y = 0.3259 \cdot \text{Alter}^{0.6156}$	0.78
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 0.1622 \cdot \text{Alter}^{0.8484}$	0.64
	T4, $I_5 > 3$		
s_w -Wert (Index I_2)	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 0.0623 \cdot \text{Alter} + 1.4822$	0.53
	T1, $I_5 > 3$	$y = 0.0728 \cdot \text{Alter} + 2.0614$	0.26
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 0.056 \cdot \text{Alter} + 1.4276$	0.62
	T2, $I_5 > 3$	$y = 0.0935 \cdot \text{Alter} + 1.2418$	0.80
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 0.0343 \cdot \text{Alter} + 1.538$	0.43
	T3, $I_5 > 3$	$y = 0.0649 \cdot \text{Alter} + 1.4527$	0.45
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 0.0282 \cdot \text{Alter} + 1.7178$	0.21
	T4, $I_5 > 3$	$y = 0.0849 \cdot \text{Alter} + 1.0917$	1.00
Spurtiefe T_{\max} (Index I_3)	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 1.9513 \cdot \ln(\text{Alter}) + 2.3393$	0.46
	T1, $I_5 > 3$	$y = 2.3831 \cdot \ln(\text{Alter}) + 1.1283$	0.53
	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 2.9526 \cdot \ln(\text{Alter}) + 1.2769$	0.67
	T2, $I_5 > 3$	$y = 2.3648 \cdot \ln(\text{Alter}) + 2.2263$	0.59
	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 3.773 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.3538$	0.69
	T3, $I_5 > 3$	$y = 4.9896 \cdot \ln(\text{Alter}) - 3.3237$	0.78
	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 3.5946 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.903$	0.38
	T4, $I_5 > 3$	$y = 3.4898 \cdot \ln(x) + 0.8165$	1.00

Tab. 6 Verhaltensmodelle für die Griffigkeit (Index I₄), alle Strassen

Parameter	Strasstyp	Bedingung	Modell	R ²
Griffigkeit, SRM 40	Gemeinde- strassen	T3	$y = 4.4168 \cdot \ln(\text{Alter}) + 78.604$	
Griffigkeit, SRM 40		T4	$y = 4.4168 \cdot \ln(\text{Alter}) + 73.467$	
Griffigkeit, SRM 40		T5, T6	$y = 4.4168 \cdot \ln(\text{Alter}) + 68.434$	
Griffigkeit, SRM 40			$y = 4.4168 \cdot \ln(\text{Alter}) + 66.358$	
Griffigkeit, SKR 80	Kantons- strassen	T1	$y = -0.0166 \cdot \ln(\text{Alter}) + \text{Anfangswert}$	
Griffigkeit, SKR 80		T2	$y = -0.0166 \cdot \ln(\text{Alter}) + \text{Anfangswert}$	
Griffigkeit, SKR 80		T3	$y = -0.0181 \cdot \ln(\text{Alter}) + \text{Anfangswert}$	
Griffigkeit, SKR 80		T4	$y = -0.0197 \cdot \ln(\text{Alter}) + \text{Anfangswert}$	
Griffigkeit, SKR 80	National- strassen	rechter FS	$y = -0.0213 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.6059$	0.06
Griffigkeit, SKR 80		linker FS	$y = -0.0166 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.7337$	0.04

4.3.4 Folgerungen und Empfehlungen (aus Schlussbericht EP2)

Anwendung der Verhaltensmodelle

Verhaltensmodelle sind eine auf mathematischen Gleichungen beruhende Darstellung des Verlaufs bestimmter Zustandsmerkmale der Strassenoberfläche. Sie stellen eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für die mittel- und langfristige Planung von Erhaltungsmassnahmen dar und erleichtern damit insbesondere den Vergleich verschiedener Massnahmen aus einer Kosten/Nutzen - Betrachtung über längere Zeiträume.

Im Folgenden sind drei Vorgehensweisen zur Anwendung der im Rahmen dieser Untersuchung gefundenen Verhaltensmodelle aufgezeigt. Selbstverständlich lassen sich für hier nicht behandelte Fälle von Schadensgrössen Verhaltenskurven früherer bzw. anderweitig durchgeführter Untersuchungen (aus der Literatur) in ähnlicher Weise anwenden.

- Bei vielen Strassenverwaltungen liegen Ergebnisse aus verschiedenen, teils auch netzweiten Zustandserfassungen vor, ohne dass gleichzeitig das Alter der Beläge bekannt ist. Wenn sich solche Daten für eine ähnliche Auswertung (Regressionsanalyse) nicht eignen, so bestehen doch Möglichkeiten, mit Hilfe von Schätzungen auch diese Daten für die Bestimmung von Verhaltensmodellen zu verwenden. Selbstverständlich werden diese Modelle eine geringere Zuverlässigkeit oder „Trefferquote“ aufweisen, da sie auf deutlich weniger detaillierten Daten beruhen und mit dem Element der Schätzung vorlieb nehmen mussten.
- Eine weitere Alternative für die Anwendung von Verhaltensmodellen ohne gezielte Untersuchungen besteht darin, einen Satz von Verhaltenskurven zu verwenden, welche aufgrund theoretischer Überlegungen sowie praktischer Erfahrungen „konstruiert“ werden. Die nachstehende Abbildung (Abb. 10) zeigt beispielsweise wie ein Satz „Standardkurven“ für die Spurrinnenbildung aussehen könnte, bei welchem die einzelnen Kurven die bekannte Entwicklungstendenz widerspiegeln, wonach die Verformung in einer anfänglichen Phase stark ansteigt um später eher zu verflachen.

Die drei in der folgenden Abbildung (Abb. 10) dargestellten Kurven könnten summarisch mit „geringe Verformbarkeit“, „mittlere Verformbarkeit“ und „starke Verformbarkeit“ benannt werden. Die Wahl der für einen betrachteten Strassenabschnitt zutreffendsten Kurve erfolgt aufgrund des Kriteriums der geringeren Distanz vom Ausgangswert (im Bild durch den grauen Punkt dargestellt) zur näheren Kurve. Dabei muss das Alter des Abschnittes bekannt sein.

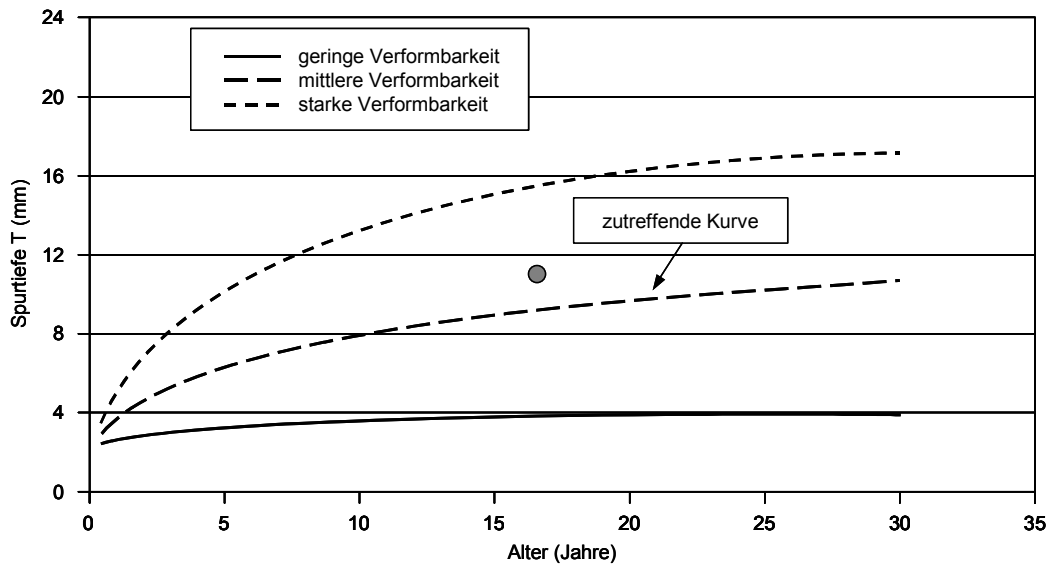


Abb. 10 Beispiel der Anwendung eines Modells (hier Verhaltenskurven für Nationalstrassenfahrbahnen)

- Der Begriff „Anpassung“ der Modelle betrifft einen wesentlichen Aspekt der praktischen Anwendung der Modelle, nämlich die Notwendigkeit, ein vorgegebenes Modell an den vorhandenen Ausgangswert jedes einzelnen Abschnittes anzupassen oder in anderen Worten, die Kurve durch den Ausgangspunkt zu führen. Dabei stehen theoretisch zwei Möglichkeiten zur Verfügung, einerseits diejenige einer vertikalen Verschiebung der Kurve, andererseits die einer horizontalen Verschiebung. Im Falle eines linearen Modells spielt es keine Rolle ob die Verschiebung vertikal oder horizontal erfolgt; in allen anderen Fällen ist das Ergebnis des weiteren Zustandsverlaufs hingegen deutlich unterschiedlich. Es kommt nur die horizontale Verschiebung in Frage, wobei dem betreffenden Abschnitt ein „fiktives Alter“ zugeordnet werden muss. Aus dem Schnittpunkt der horizontalen Linie mit dem Ausgangswert und der Kurve ergibt sich das Alter, welches dem entsprechenden Kurvenwert entspricht (Abb. 11).

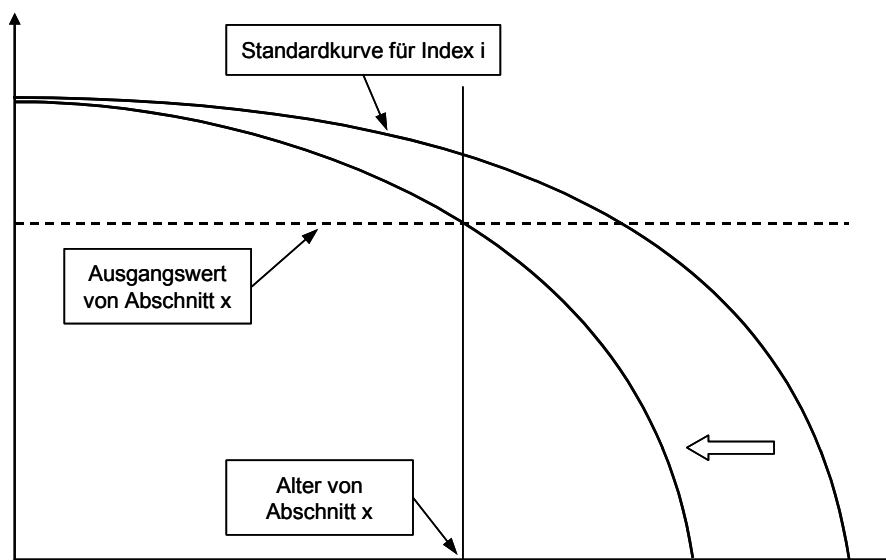


Abb. 11 Verfahren der Modellanpassung (horizontale Verschiebung)

Umsetzung der Ergebnisse in Normen

Verhaltensmodelle lassen sich nur schwer in das erwähnte Verständnis von Normen eingliedern. Weder kann auf eine längere Anwendungsphase der in diesem Bericht ausgearbeiteten Modelle hingewiesen werden, noch auf eine möglichst lange Gültigkeitsdauer

gezählt werden, zumindest nicht in genereller Hinsicht über sämtliche betrachteten Parameter hinweg.

Die Entwicklung von Verhaltensmodellen ist viel eher als einen kontinuierlichen Prozess zu verstehen, bei welchem mit jeder Erweiterungsstufe der Verfügbarkeit von detaillierten Daten zur Charakterisierung der Strassen (Aufbau, Materialeigenschaften), der Belastung (Verkehrslasten, TF-Werte) und externer Einflussfaktoren (Klima, Exposition usw.) eine höhere Zuverlässigkeit der Modelle erreicht werden kann. Bei all dem sei auch auf den Aspekt der Qualität der für diese Untersuchung verfügbaren Daten hingewiesen.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte wird deshalb vorgeschlagen, auf die konkrete Angabe von Verhaltensmodellen in einer entsprechenden Norm zu verzichten und allenfalls einige Modellgleichungen als Beispiele aufzuführen. Diese sollten explizit als solche deklariert werden. Hingegen sollte die Norm dem Anwender konkrete Hinweise dazu liefern, wie er zu Modellen kommen kann, die auf die jeweiligen lokalen Bedingungen anwendbar sind und auf welche Details bei der Wahl eines Modells geachtet werden soll.

4.4 Einfluss und Bedeutung von Oberflächenschaden auf die Tragfähigkeit

4.4.1 Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP3)

Das Einzelprojekt 3 VSS 2004/713 „Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert“ liefert einen zusätzlichen neuen Ansatz zur Quantifizierung der Strukturwertverbesserung bezüglich Tragfähigkeit für die verschiedenen standardisierten Erhaltungsmassnahmen.

Nach dem mageren Ergebnis der Literaturlauswertung wurden in der ersten Phase des Einzelprojektes 3 Überlegungen zu den Mechanismen der Schadensentwicklung und zu den entsprechenden Verlauf des sichtbaren Schadenbildes an der Fahrbahnoberfläche gemacht. Die potentiellen Wechselwirkungen zwischen Tragfähigkeit und Schadensentwicklung wurden für die einzelnen Schadenbilder gemäss SN 640 925b [34] analysiert und beschrieben. Die Zuordnung der einzelnen Schadensmerkmale und ihre Einflüsse auf die indexierte Gesamtbewertung mittels Gebrauchswert und Substanzwert wurde ebenfalls dargestellt (siehe dazu Schlussbericht EP3 [31]).

In einer zweiten Phase wurden mögliche Korrelationen zwischen den einzelnen Schaden- gruppen aus dem visuellen Zustand und der Tragfähigkeit, unter Berücksichtigung der einzelnen Verkehrslastklassen, untersucht. Die dafür verwendeten Daten stammen vorwiegend aus dem Agglomerationsstrassennetz der Stadt und des Kantons Genf ohne Autobahnen. Es wurden die kompletten Datensätze der Messkampagnen 1995 und 2005 verwendet. Erwartungsgemäss konnte keine brauchbare Korrelation zwischen der Tragfähigkeit und den verschiedenen Einzelindices des visuellen Zustandes gefunden werden. Es konnte bloss eine leichte Verbesserung des Bestimmtheitsmasses für den Einzelindex der Belagsschäden (I_{A1}) bei zunehmender Lastklasse festgestellt werden.

Als weiteren Schritt wurden neue Ansätze zur möglichen Kopplung von Tragfähigkeit und visuellem Zustand untersucht. Die Wahl fiel auf eine gezielte Verwendung des Strukturwertes SN (Structural Number), welcher als Dimensionierungsgrundlage der schweizerischen Oberbaunormen in bituminöser Bauweise dient [27]. Dabei wurde einerseits der Substanzwertverlust des Oberbaus für die verschiedenen Schadensmerkmale und seine Bandbreite für unterschiedliche Schadensschweren berechnet. Andererseits wurde die resultierende Zunahme des SN-Wertes durch Anwendung der im Einzelprojekt 1 VSS 2004/711 definierten standardisierten Erhaltungsmassnahmen bestimmt.

Das Endziel der SN-Verlust- resp. Gewinnmethodik bestand darin, unter Berücksichtigung von praktischen und wirtschaftlichen Randbedingungen der möglichen Sanierungs-

methoden, den schadenbedingten SN-Verlust durch eine optimale und gezielte Erhaltungsmassnahme wettzumachen. Die Einbindung des Tragfähigkeitsindex I_5 in diese SN-Beurteilung wurde ebenfalls berücksichtigt.

Eine Überprüfung der vorhandenen Berechnungsgrundlagen (Anhang SN 640 904 [35]) für den Gebrauchswert und den Substanzwert hat grundsätzliche Probleme der aktuellen Indizierung zum Vorschein gebracht (ungenügende Empfindlichkeit). Als Vorstufe zur Einführung der neuen Einzelindices I_{A1} bis I_{A5} der SN 640 926 [38] wurde eine Überprüfung der Transformationsgrundlagen mit dem Index I_1 vorgenommen. Dazu wurde eine neue Berechnungsformel entwickelt, deren Anwendung weiter geprüft werden sollte.

4.4.2 Strukturwertverluste (SN) durch Oberflächenschäden (aus Schlussbericht EP3)

Bewertung SN-Verlust für leichte Schäden

Die Grundlagen für die nachfolgenden Tabellen (Tab. 7, Tab. 8, Tab. 9) beruhen auf der SN 640 324a [27]. Als Standardaufbau wurde für die Bewertung eine Kiessand-Fundationsschicht von 50 cm Stärke und eine Belagsstärke von insgesamt 16 cm angenommen.

Gemäss den Normangaben beträgt der a-Wert für einen neuen Oberbau mit bituminösen Belägen 4.0, während ein alter Belag mit leichten Belagsschäden noch mit einem a-Wert von 3.4 berücksichtigt werden kann. Die Differenz von 0.6 der beiden a-Werte (4.0 – 3.4) ergibt somit einen SN-Verlust, sofern die ganze Schichtstärke vom Verlust betroffen ist. Je nach Schadensbild ist eine ganze Belagsschicht betroffen, was bei den meisten strukturellen Schäden der Fall ist. In diesem Fall kann der SN-Verlust bei der gesamten Belagsstärke von 16 cm mit 0.6 multipliziert werden und beträgt 9.6.

Der SN-Wert einer einwandfreien Fundationsschicht mit Kiessand hat einen a-Wert von 1.0. Die Schadensmerkmale Oberflächenglätte, Belagsschäden und Belagsverformungen bewirken in der Fundationsschicht keinen SN-Verlust. Bei strukturellen Schäden hingegen sind je nach Schadensmerkmal 10 bis 25 cm der Fundationsschicht betroffen. Schätzungen ergaben, dass vom gesamten a-Wert der Fundationsschicht durch Wassereindringung und/oder Auflockerung der Gesteinskörner eine Reduktion des Substanzwertes von 25 % im oberen Bereich der Fundationsschicht berücksichtigt werden muss. Wenn z.B. Belagsrandrisse vorhanden sind, wird der SN-Verlust durch Multiplikation der betroffenen Dicke (10 cm) mit 0.25 berechnet.

Zur Berechnung des definitiven Substanzwertverlustes wurden beide Einzelresultate (Fundationsschicht und Belag) addiert, sodass sich daraus der gesamte SN-Verlust für den Oberbau ergab. Es zeigte sich, dass der SN-Verlust schon bei leichten strukturellen Schäden einen mittleren bis starken Einfluss auf den Substanzwert hat, während leichte Belagsschäden und Belagsverformungen den Substanzwert leicht bis mittel beeinträchtigen.

Bewertung SN-Verlust für schwere Schäden

Bei der Bewertung des SN-Verlustes bei schweren Schäden ergeben sich im Gegensatz zur vorhergehenden Tabelle einige Anpassungen im Bereich der Multiplikationsfaktoren.

Der a-Wert für Belag bei schweren strukturellen Schäden wird noch mit 2.4 beziffert. Das ergibt für die meisten Schadenbilder einen SN-Verlust von 1.6 mal die Schichtdicke. Einige Ausnahmen bilden die Kornausbrüche und offenen Nähte sowie die Spurrinnen mit einem a-Wert von 0.6 und die abgedrückten Ränder und Frosthebungen mit einem a-Wert von 1.2. Diese Reduktionen des a-Wertes sind darauf zurückzuführen, dass bei diesen Schadensbildern nicht das volle Zerstörungspotenzial in Bezug auf den Substanzwert berücksichtigt wird.

Der SN-Verlust für die Fundationsschicht wurde bei allen Schadenbildern mit einem a-

Wert-Verlust von 0.5 berechnet, das heisst, dass in diesen Bereichen der SN-Verlust ca. 50 % beträgt. Die Erhöhung von 25 % auf 50 % gegenüber den leichten Belagsschäden ist damit begründet, dass durch die häufigere und stärkere Rissbildung bei schweren strukturellen Schäden wesentlich mehr Wasser in die Fundationsschicht eindringen kann. Die betroffenen Dicken variieren auch hier von 10 cm bis 25 cm Stärke.

Die Berechnung des gesamten Substanzwertverlustes erfolgte ebenfalls durch Addition der Einzelresultate der Fundationsschicht und der Belagsschichten.

Dadurch dass bei den schweren strukturellen Schäden in den meisten Fällen die vollständige Belagsschicht betroffen ist, wird der SN-Verlust gegenüber dem leichten Belagsschäden massiv höher beziffert. Mit einem totalen SN-Verlust von 50.6 Punkten werden bei den Schadenbildern Setzungen/Einsenkungen, Anrisse von Setzungen, Längsrissen und Netzzissen die höchsten Werte erreicht.

Bandbreite des Substanzverlustes

In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 7) wurde der Vergleich des SN-Verlustes zwischen leichten Belagsschäden und schweren strukturellen Schäden zusammengestellt. Die Bandbreite reicht von 1.2 bei Kornausbrüchen, Ablösungen und offenen Nähten bis zu 50.6 bei Setzungen/Einsenkungen, Anrissen von Setzungen, Längs- und Netzzissen.

Es fällt auf, dass der gesamte SN-Verlust nicht bei allen Schadenbildern im gleichen Ausmass ansteigt. So wird bei Kornausbrüchen und Ablösungen mit der Verdoppelung des SN-Verlustes der kleinste Anstieg registriert, im Gegensatz zu den Schlaglöchern, wo der Anstieg von 2.4 auf 30.6 beinahe den 13-fachen Wert erreicht.

Tab. 7 Bandbreite der SN-Verluste zwischen leichter und schwerer Schadensentwicklung

Schadensmerkmale	Schwer	Leicht	Mittelwert
	Oberbau	Oberbau	Oberbau
	Total SN-Verlust	Total SN-Verlust	Total SN-Verlust
Polieren	0.0	0.0	0.0
Schwitzen	0.0	0.0	0.0
Abrieb	0.0	0.0	0.0
Ausmagerungen	0.0	0.0	0.0
Kornausbrüche	2.4	1.2	1.8
Ablösungen	12.8	1.2	7.0
Schlaglöcher	30.6	2.4	16.5
Offene Nähte	2.4	1.2	1.8
Querrisse	12.8	2.4	7.6
Wilde Risse	12.8	2.4	7.6
Spurrinnen im Deckbelag	2.4	0.0	1.2
Spurrinnen im gesamten Belag	9.6	0.0	4.8
Aufwölbungen	17.8	4.8	11.3
Wellblechverformungen	12.8	4.8	8.8
Schubverformungen	28.1	4.8	16.5
Setzungen / Einsenkungen	50.6	9.6	30.1
Anrisse von Setzungen	50.6	12.1	31.4
Abgedrückte Ränder	31.7	9.6	20.7
Belagsrandrisse	38.1	7.3	22.7
Frosthebungen	44.2	22.1	33.2
Längsrisse	50.6	15.9	33.2
Netzzisse	50.6	15.9	33.2
Flicke	0.0	0.0	0.0

4.4.3 Strukturwertgewinne (SN) durch Standardmassnahmen (aus Schlussbericht EP3)

Genauso wie ein Substanzwertverlust bei Belagsschäden und strukturellen Schäden berechnet werden kann, lässt sich im umgekehrten Fall eine Substanzwertzunahme quantifizieren. In der nachstehenden Tabelle sind die möglichen Standardmassnahmen aufgeführt und die jeweils dazugehörigen Zunahmefaktoren für die SN-Bewertung.

Die Tabelle ist prinzipiell analog der Substanzwertverlust-Tabellen aufgebaut. An Stelle der betroffenen Schichten sind es hier die Schichtstärken der Standardmassnahmen, die mit dem Faktor der SN-Zunahme multipliziert werden, um die gesamte Substanzwertzunahme zu erhalten.

Das Ausmass des Wertes der SN-Zunahme ist abhängig von der Art der Verbesserungsmassnahme. So kann eine Oberflächenbehandlung maximal eine Erhöhung des SN-Wertes um 1.5 bewirken. Ein Dünnschichtbelag (Heissmicro/Kaltmicro) vermag eine Zunahme um 2.5 zu generieren, falls die Schicht nicht vorgängig abgefräst wurde. Beim Hocheinbau kommt die gesamte Schichtstärke mit der SN-Erhöhung um 4.0 zum tragen, da bei dieser Variante eine zusätzliche Belagsschicht eingebaut wird. Wird eine Sanierung im Tiefeinbau vorgenommen, kann lediglich die Verbesserung des SN-Wertes des alten und defekten Belages ($a = 2.4$) zu einem neuen und qualitative hochwertigen Belag ($a = 4.0$) für die Berechnung der Substanzzunahme angerechnet werden. Das ergibt eine Erhöhung des SN-Wertes von 1.6. Bei Hoch- und Tiefeinbau wird jeweils nicht unterschieden zwischen Tragschichten und Deckschichten. Die Erhöhung der SN-Werte ist für alle Belagsschichten identisch.

Als Verbesserungsmöglichkeiten bieten sich auch Asphaltarmierungen an, wenn z.B. eine Verstärkung notwendig wird, aber ausführungstechnisch kein Hocheinbau möglich ist. Es stehen dafür diverse Materialien zur Auswahl. Sie reichen von Glasfaserarmierungen über Stahlnetze bis zu Carbonarmierungen. Aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsweisen sind jedoch nicht alle Materialien gleich gut für eine vernünftige Belagsverstärkung geeignet. Die beste Wirkung wird mit der Carbonarmierung erzielt, da diese durch die sehr hohe Reissfestigkeit von Beginn an wirkt und keine Korrosionsgefahr besteht. Zudem können bei einem späteren Belagsersatz Fräsen eingesetzt und der Belag dem Recycling zugeführt werden, was bei den anderen Armierungen nicht der Fall ist. Ein wichtiger Faktor ist die Lage des Carbonnetzes. Es sollte so tief wie möglich zwischen zwei Belagsschichten appliziert werden, damit von der Belagsoberfläche bis zur Armierung eine möglichst grosse statische Höhe erreicht wird. Ob die Armierung zwischen einer neuen und alten Belagsschicht liegt oder zwischen zwei neuen Belägen ist nicht relevant. Voraussetzung für ein einwandfreies Funktionieren ist eine optimale Verbindung mit beiden Schichten. Mittels Versuchen konnte die Verstärkungswirkung in Bezug auf Asphaltbelag ermittelt werden. Der Einbau einer Carbonarmierung entspricht demnach einer Belagsverstärkung von 3 cm. Somit bewirkt sie bei optimalem Einbau eine SN-Erhöhung von 12 ($3 \text{ cm} * 4.0$).

Tab. 8 Berechnung des Substanzwertgewinnes (SN) durch Standardmassnahmen (Beispiele)

Berechnungsbeispiele:	Substanzwertzunahme		
Kaltmicro ohne Fräsen	$1.5 * 2.5 =$	3.0	(Total SN-Erhöhung)
Hocheinbau, 40 mm, Vorfräsen + Armierung	$4 * 4.0 =$	16.0	(+ 0.8 Armierung)
Hocheinbau, 100 mm, Vorfräsen + Armierung	$10 * 4.0 =$	40.0	(+ 12.0 Armierung)
Tiefeinbau, 40 mm mit Armierung	$4 * 1.6 =$	6.4	(+ 8.0 Armierung)
Tiefeinbau, 100 mm ohne Armierung	$10 * 1.6 =$	16.0	

Tab. 9 Berechnung der SN-Erhöhung (Substanzerhöhung) durch standardisierte Massnahmen (Belag)

Massnahmen	Spezifikationen	KS-Fundationsschicht		Belagsschichten		Oberbau Total SN- Erhöhung
		Beitragende Dicke [cm]	Erhöhung SN Wert	Beitragende Dicke [cm]	Erhöhung SN Wert	
1.	Reparatur					
1.1	Riss - Instandsetzung	50	0.0	2	0.9	1.8
1.2	Flächenflick, kleine Einzelflächen	50	0.0	4	1.2	4.8
1.3	Flächenflick, grosse Einzelflächen	50	0.0	4	1.2	4.8
1.4	Grabenflicke Instand stellen	50	0.0	2	0.6	1.2
1.5	Fugen RA ausgiessen	50	0.0	2	0.9	1.8
2.	Instandsetzung und Verstärkung					
2.1	Oberflächenverbesserungen					
2.1.1	OB fein	50	0.0	1	1.5	1.5
2.1.2	OB grob	50	0.0	1.5	1.5	2.3
2.1.3	OB doppelt	50	0.0	2	1.5	3
2.2	Dünnschichtbelag					
2.2.1	Kaltmicro (DSK), 15mm, ohne Fräsen	50	0.0	1.5	2.5	3.8
2.2.2	Kaltmicro (DSK), 15 mm, mit Fräsen	50	0.0	1.5	0.1	0.2
2.2.3	Heissmicro (DSH), 20 mm, ohne Fräsen	50	0.0	2	2.5	5
2.2.4	Heissmicro (DSH), 20 mm, mit Fräsen	50	0.0	2	0.1	0.2
2.3	Hocheinbau (Deckschicht)					
2.3.1	40 mm, ohne Vorfräsen	50	0.0	4	4.0	16
2.3.2	40 mm, mit Vorfräsen	50	0.0	4	4.0	16
2.3.3	40 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	50	0.0	4	4.0	16 (+8)
2.4	Hocheinbau (Deck- und Binderschicht)					
2.4.1	100 mm, ohne Vorfräsen	50	0.0	10	4.0	40
2.4.2	100 mm, mit Vorfräsen	50	0.0	10	4.0	40
2.4.3	100 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	50	0.0	10	4.0	40 (+12)
2.5	Tiefereinbau (Deckschicht)					
2.5.1	20 mm (Gehweg)	50	0.0	2	1.6	3.2
2.5.2	40 mm	50	0.0	4	1.6	6.4
2.5.3	40 mm mit Asphaltarmierung	50	0.0	4	1.6	6.4 (+8)
2.6	Tiefereinbau (Deck- und Binderschicht)					
2.6.1	100 mm	50	0.0	10	1.6	16
2.6.2	100 mm mit Asphaltarmierung	50	0.0	10	1.6	16 (+12)
2.7	Spurrinnen – Instandsetzung (Fräsen, Belag)					
2.7.1	2 Radspuren	50	0.0	4	0.4	1.6
2.7.2	4 Radspuren	50	0.0	4	0.8	3.2

Tab. 10 Berechnung des Substanzwertgewinnes (SN) durch Standardmassnahmen (Beispiele)

Berechnungsbeispiele:	Substanzwertzunahme		
Gesamt-Erneuerungen			
250 mm, Fund. AC F, Trag- u. Deckschicht	$10 * 2.5 + 15 * 1.6$	=	48.5 (Total Zunahme)
600 mm (400 mm Foundation Kiessand)	$40 * 0.75 + 20 * 1.6$	=	62.0
Bankett-Erneuerungen			
Einseitig, ohne Belagserneuerung	$20 * 0.3 + 0 * 0.0$	=	5.0
Beidseitig, mit Belagserneuerung	$20 * 0.5 + 4 * 1.6$	=	16.4

Tab. 11 Berechnung der SN-Erhöhung (Substanzerhöhung) durch standardisierte Massnahmen (Foundation und Belag)

Spezifikationen		KS-Fundationsschicht		Belagsschichten		Oberbau
		Beitragende Dicke [cm]	Erhöhung SN Wert	Beitragende Dicke [cm]	Erhöhung SN Wert	
3.	Erneuerung					
3.1	Gesamt-Erneuerung					
3.1.1	200 mm (Deck-, Binder- und Tragschicht)	50	0.0	20	1.6	32
3.1.2	250 mm (Foundation AC F, Deck- und Tragschicht)	10	2.5	15	1.6	48.5
3.1.3	400 mm (300 mm Foundation Kiessand)	30	0.75	10	1.6	38.5
3.1.4	600 mm (400 mm Foundation Kiessand)	40	0.75	20	1.6	62
3.2	Bankett-Erneuerungen					
3.2.1	Einseitig, ohne Belagserneuerung	20	0.3	0	0.0	5
3.2.2	Einseitig, mit Belagserneuerung	20	0.3	4	1.6	11.4
3.2.3	Beidseitig, ohne Belagserneuerung	20	0.5	0	0.0	10
3.2.4	Beidseitig, mit Belagserneuerung	20	0.5	4	1.6	16.4

4.4.4 Anwendung und Normung

Anwendungsmöglichkeiten bei der Massnahmenplanung

Die SN-Abnahme durch zunehmende Schadensbildung sowie die SN-Zunahme durch standardisierte Massnahmen sind aufgrund der Untersuchungen im Einzelprojekt 3 in ihren Ausmassen bekannt. Es geht nun darum, die geeigneten Massnahmen für die jeweiligen Schadensbilder zu definieren. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass als Minimalziel bei den Massnahmen ein Ausgleich der SN-Abnahme und der SN-Zunahme erreicht werden sollte. Das heisst, dass das Ausmass der SN-Zunahme durch die getroffene Massnahme mindestens den gleichen Wert erreichen soll, wie das Ausmass der SN-Abnahme durch das entsprechende Schadensbild. Idealerweise kann auch ein Zunahme-Überschuss entstehen und somit den Strassenkörper längerfristig vor weiteren Schadenfolgen bewahren. Übertrifft jedoch die Substanzwertzunahme den Substanzwertverlust um ein Mehrfaches, so ist das in der Regel eine unverhältnismässige Massnahme und kann aus ökonomischer Sicht nicht mehr als sinnvoll bezeichnet werden.

Erkenntnisse bzgl. Normung (VSS)

Die in den SN 640 904 [35] enthaltenen Verfahren zur Bestimmung von Substanz- und Gebrauchswerten mittels Indexbewertungen des Oberflächenzustandes müssen infolge der hier gewonnen Erkenntnisse überarbeitet und angepasst werden. Erste konkrete Vorschläge (Tab. 12) lassen sich aufgrund des vorliegenden Forschungsauftrages wie

folgt machen:

Tab. 12 Substanz- und Gebrauchswerte gemäss SN 640 904 und erste Vorschläge für Anpassungen (1) und (2)

Strasstyp	Relevante Indices	Substanzwert SW_i	Gebrauchswert GW_i
HLS 120/100	I_0, I_2, I_3, I_4, I_5	$SW_1 = 0,4I_0 + 0,2I_3 + 0,4I_5$ (1)	$GW_1 = 0,2I_0 + 0,1I_2 + 0,2I_3 + 0,5I_4$
HLS 80	I_0, I_2, I_3, I_4, I_5	$SW_2 = 0,3I_0 + 0,2I_3 + 0,5I_5$	$GW_2 = 0,2I_0 + 0,3I_3 + 0,5I_4$
HVS a.o.	I_0, I_3, I_4, I_5	$SW_3 = 0,3I_0 + 0,2I_3 + 0,5I_5$	$GW_3 = 0,3I_0 + 0,2I_3 + 0,5I_4$
VS a.o.	I_0, I_4, I_5	$SW_4 = 0,5I_0 + 0,5I_5$	$GW_4 = 0,5I_0 + 0,5I_4$
SS, ES a.o.	I_0	$SW_5 = I_0$ (2)	$GW_5 = I_0$
HVS i.o.	I_0, I_4, I_5	$SW_6 = 0,5I_0 + 0,5I_5$	$GW_6 = 0,5I_0 + 0,5I_4$
SS, ES i.o.	I_0	$SW_7 = I_0$	$GW_7 = I_0$

$$(1) \quad SW = 0.5 \cdot I_{A2} + 0.1 \cdot I_3 + 0.4 \cdot I_5 \quad \text{oder}$$

$$SW = 0.5 \cdot I_{A2} + 0.4 \cdot I_{A4} + 0.1 \cdot I_3$$

$$(2) \quad SW = 0.2 \cdot I_{A2} + 0.2 \cdot I_{A3} + 0.6 \cdot I_{A4}$$

4.5 Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnisse von standardisierten Erhaltungsmassnahmen

4.5.1 Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP4)

Das Einzelprojekt 4 VSS 2004/714 „Gesamtnutzen – Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen“ liefert die Grundlagen zur Bestimmung des Gesamtnutzens von standardisierten Erhaltungsmassnahmen via Differenz zum Referenzfall und damit das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme.

Der durch Indices beschriebene Strassenzustand beschreibt die gegenwärtige Verfassung der baulichen Substanz einer Strassenanlage. Er wird aus verschiedenen Zustandswerten oder -indices nach festgelegten Regeln zusammengesetzt (SN 640 904 [35], SN 640 925b [34]). Der Verzicht auf eine Erhaltungsmassnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt bedeutet, dass eine andere Erhaltungsmassnahme zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen muss. Bis dahin verschlechtert sich der Strassenzustand weiter.

Je schlechter der Zustand, desto häufiger muss die Strasse mit kleinen, lokalen Reparaturen (z.B. Risse ausgiessen, Auffüllen von Schlaglöchern) ausgebessert werden. Diese Unterhaltsmassnahmen dienen der Sicherheit und Prävention von weiteren Schäden und nicht primär der Verbesserung des Fahrbahnzustandes, weshalb sie eigentlich nicht erwünscht sind. Schliesslich werden umfangreiche, teure Massnahmen nötig, um den angestrebten Strassenzustand wiederherzustellen.

Ein Hauptnutzen der rechtzeitig ausgeführten Erhaltungsmassnahmen besteht folglich in der Vermeidung von zusätzlichen und teureren Massnahmen in der Zukunft, d.h. in der Vermeidung einer teureren Erhaltungsstrategie. Das Ziel der Strassenbetreiber ist, eine möglichst (kosten-)günstige Erhaltungsstrategie zu finden und umzusetzen. Indem die Substanz der Strassenanlage rechtzeitig wiederhergestellt wird, werden besondere, im Laufe der Zeit zunehmende Unterhaltsaufwendungen für den Betreiber der Strassenanlage vermieden, und es wird aufwändigeren Erhaltungsmassnahmen vorgebeugt. Dafür entstehen während der Ausführung „heute“ Kosten und gewisse Einschränkungen für die Nutzer der Strassenanlage und die Gesellschaft.

Während Reparaturmassnahmen lokale Erhaltungsmassnahmen sind, gehören Instandsetzungen zu den grossflächigen Erhaltungsmassnahmen, die der Verbesserung der Be-

fahrbarkeit und der Bausubstanz dienen. Dazu gehören beispielsweise die Sanierung der Deckschicht oder Verstärkungen. In der Regel beanspruchen diese Massnahmen eine längere Planungs- und Umsetzungsdauer und werden von beauftragten Unternehmen ausgeführt.

Eine etablierte Methode zur Bestimmung von Kosten und Nutzen für Infrastrukturausbauten ist die Kosten-Nutzen-Analyse (in der Schweiz NISTRA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte) bzw. Normen SN 641 820 ff [39]). Die KNA-Methodik diente als Grundlage für einen Vergleich einer Massnahme mit einem Referenzfall. Dabei beschreibt ein Mengengerüst die Veränderung einer physikalischen Einheit (z.B. „Benzinverbrauch: x Liter“ oder „Verkehrsaufkommen: y Fahrzeuge/Tag“), während das Wertgerüst die Kostensätze zur monetären Bewertung dieser physikalischen Grössen umfasst.

In dieser Forschungsarbeit wurden nicht die monetären Zusammenhänge untersucht, sondern fast ausschliesslich die physikalischen. Bei der Erarbeitung des Mengengerüsts wurden neue Ansätze zur Bestimmung des Nutzens von Erhaltungsmassnahmen eingeführt. Insbesondere wurden funktionale Abhängigkeiten im Mengengerüst aufgrund von Zustandsveränderungen bestimmt.

Es ist ohne weiteres möglich, die vorliegenden Resultate mit einem anderen als dem NISTRA-Wertgerüst zu kombinieren. Zudem können die dargestellten Ergebnisse und Zusammenhänge nicht nur innerhalb einer Kosten-Nutzen-Analyse verwendet werden, sondern auch mit anderen Bewertungsverfahren, z.B. mit Verfahren basierend auf Szenarien. Aus Gründen der Einfachheit wurden für monetäre Bewertungen in den Beispielberechnungen die aktuellen NISTRA-Werte verwendet. Grundsätzlich können Erhaltungsmassnahmen analog zu Aus- und Neubauten behandelt und bewertet werden. Der Unterschied bei der Bewertung von Erhaltungsmassnahmen liegt darin, dass nicht die einzelne Massnahme an sich nützlich sein muss, sondern die gesamte Erhaltungsstrategie. In der Praxis sollte anschliessend die Erhaltungsstrategie mit dem grössten Gesamtnutzen durchgeführt werden. Die Forschungsarbeit konzentrierte sich hier aber darauf, das Verfahren zur Bewertung einzelner Massnahmen zu erläutern.

Unabhängig vom Umfang der Erhaltungsmassnahme wird die Durchführung nur dann als sinnvoll erachtet, wenn sich der Zustand der Strasse soweit verschlechtert hat, dass mit der Ausführung der Massnahme ein genereller Nutzen entsteht. Um den Nutzen einer Erhaltungsmassnahme bestimmen zu können, müssen die Art und der Ort der Massnahme, sowie der Zeitpunkt der Ausführung fixiert werden. Mit diesen Festlegungen werden ebenfalls indirekt Dauer, Kosten und Strassenzustand nach der Erhaltungsmassnahme festgesetzt. Diese Parameter wurden für die Bewertung und Bestimmung des Gesamtnutzens von standardisierten Erhaltungsmassnahmen als gegeben angenommen.

In einem ersten Schritt wurde zunächst eine Liste von möglichem Nutzen erstellt, die sich bei der Durchführung einer Erhaltungsmassnahme ergeben. Darüber hinaus wurde die Differenzierung nach den drei Nutzniessergruppen „Betreiber“, „Verkehrsteilnehmer“ und „Gesellschaft“ diskutiert. Die jeweiligen Nutzen der drei Gruppen wurden anschliessend im Hauptteil detailliert ausgearbeitet. Dabei galt es, die Nutzenkomponenten mit dem Strassenzustand in Zusammenhang zu bringen, und funktionale, quantitative Zusammenhänge zwischen den einzelnen Nutzenkomponenten und dem Strassenzustand herzustellen. Internationale Studien zeigen Vergleichswerte für das Mengen- und Wertgerüst auf, und wurden für die Herleitung solcher quantitativer Zusammenhänge analysiert, da solche Zusammenhänge bislang in der Schweiz nicht untersucht worden sind (siehe Schlussbericht EP4 [32]).

Während die Unterhaltskosten aus Sicht der Betreiber eine zentrale Rolle spielen, stehen für die Benutzer die Verkehrssicherheit, Fahrzeit, die Fahrzeugbetriebskosten und der Fahrkomfort im Vordergrund. Die Bewertung externer Kosten, die die gesamte Gesellschaft zu tragen hat, bildete den Abschluss des Bewertungsteils.

Rahmenbedingungen, wie beispielsweise die Verwendung von Alternativrouten, der Einfluss der unterschiedlichen Fahrzeug- und Strassentypen oder Strassenbeläge, wurden

ebenfalls eingehend diskutiert, da diese Themen für die verschiedenen zeitlichen Phasen bei der Realisierung einer Erhaltungsmassnahme zentral sind. Beispielsweise konzentriert sich während der Bauphase im Erhaltungsabschnitt die gleiche Verkehrsmenge auf die reduzierten Fahrbahnen (z.B. Autobahn) oder auf Umleitungen von gesperrten Strassen (z.B. innerorts). Die Folgen sind Reisezeitverluste durch Geschwindigkeitsabnahme, Umwegefahrten im untergeordneten Strassennetz und Staus.

4.5.2 Bestimmung der Nutzenfaktoren (aus Schlussbericht EP4)

Um die Wirkung und den Nutzen einer Erhaltungsmassnahme beurteilen zu können, müssen Planungs- und Referenzfall einander gegenübergestellt werden. Die KNA-Grundnorm (SN 641 820 [28]) postuliert, dass „als Referenzfall die Veränderung heranzuziehen ist, die auftreten würde, wenn im konkreten Fall keine Massnahme getroffen wird“. Diese Festlegung ist für die Beurteilung von umfassenden Erhaltungsmassnahmen nicht realistisch (v.a auf stark frequentierten Hauptverkehrsstrassen), da ein echter „Nullfall“, bei dem früher oder später die Strasse gesperrt werden muss, nicht praktikabel und daher zu realitätsfremd ist. Ein Referenzfall soll die Situation zeigen, in der nur das Notwendigste zur Strassenerhaltung (z.B. Risse ausgiessen oder Flächenflicke) bewerkstelligt wird. Deshalb wird eine Mindesttauglichkeit der Strassenanlage vorausgesetzt, die mit baulichen Reparaturmassnahmen eingehalten wird. Die Mindesttauglichkeit wird durch einen Schwellenwert der fünf Zustandsindices (I_1, I_2, I_3, I_4, I_5) definiert, durch die der Strassenzustand in der Schweiz beschrieben wird (SN 640 925b [34]).

Bis nach einer gewissen Zeit eine grössere, aufwändige und teure Erhaltungsmassnahme fällig ist, wird im Referenzfall die Fahrbahn mit kleinen, aber häufigen Reparaturmassnahmen in diesem kontinuierlich mässigen Zustand gehalten. Der Planungsfall unterscheidet sich vom Referenzfall in der Hinsicht, dass eine aufwändigere und kostenintensivere Massnahme zeitlich deutlich vor dem Erreichen des Schwellenwertes der Mindesttauglichkeit stattfindet. Damit wird der verbesserte Zustand der Fahrbahn früher erreicht, und damit kann eine deutlich höhere Qualität der Fahrbahn länger aufrecht erhalten werden. Es ist sinnvoll, die „Bauphase (Erhaltungsmassnahme)“, und die Phase „nach der Massnahme“ hinsichtlich Kosten und Nutzen getrennt voneinander zu betrachten, weil jeweils unterschiedliche Verkehrs- und Belastungssituationen zu berücksichtigen sind (siehe Abb. 12).

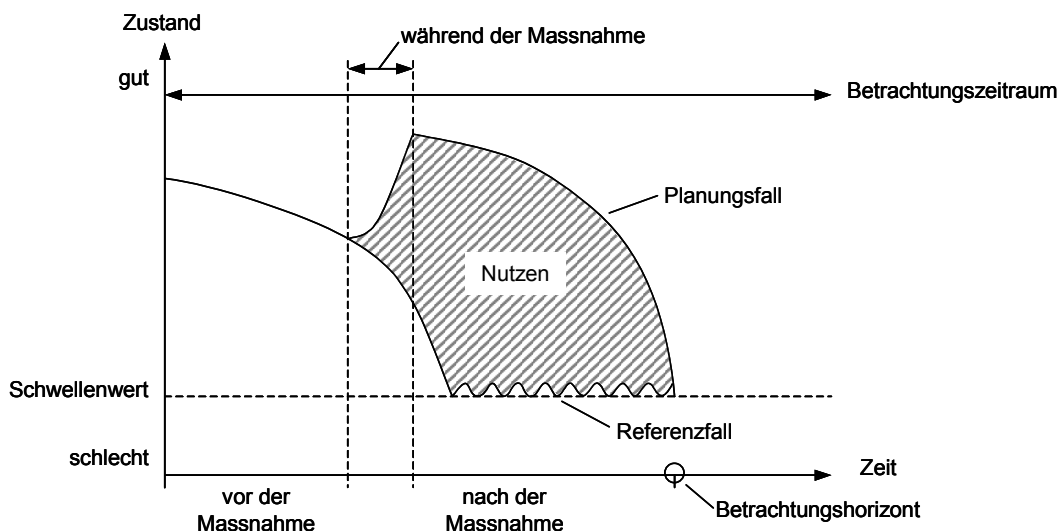


Abb. 12 Bestimmung der Nutzen von Erhaltungsmassnahmen (Massnahmenplanung)

Nutzen und Kosten lassen sich in drei verschiedene Nutzniessergruppen, wie in der folgenden Abbildung (Abb. 13) aufgeführt, unterteilen. Die erste Gruppe beurteilt Kosten und Nutzen aus Sicht der 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 weiter unterscheiden.

Gruppe	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	Kosten des Fahrzeugunterhalts: Personal- und Materialkosten (Reifen, Bremsen, Treibstoff, etc.)
	Besserer Fahrkomfort	Körperliche und mentale Beschwerden
Gesellschaft	Weniger Unfallkosten	Sachschäden, Personenschäden und Todesfälle durch Reduzierung von Unfallhäufigkeiten bzw. Verminderung der Konsequenzen im Schadenfall
	Geringere Umweltkosten	Lärm
		Luftverschmutzung
Klima		

Abb. 13 Nutznießergruppen und zugehörige Nutzenkomponenten

Fahrbahnerhaltungsmassnahmen können nicht nur werterhaltend sondern auch wertvermehrend sein. Werterhaltend sind Massnahmen, wenn sie den Zustand der Fahrbahn wie bei Inbetriebnahme bzw. nach der letzten Instandsetzung wiederherstellen. Wertvermehrend im Zusammenhang mit der Fahrbahnerhaltung kann zum Beispiel der Einbau eines Drainasphalts sein, eine verbesserte Entwässerung, Massnahmen zur Erneuerung oder Verbesserung von Strassenelementen jenseits der eigentlichen Fahrbahn, Massnahmen zur Erleichterung des betrieblichen Unterhalts sowie alle Massnahmen zur Verbesserung der verkehrlichen Leistungsfähigkeit.

Wertvermehrnde Massnahmen schaffen für den Strassenbetreiber zusätzlich einen monetären Nutzen durch eine Verlängerung der Lebensdauer (was sich z.B. in einer KNA durch einen niedrigeren Gegenwartswert bzw. eine niedrigere Annuität [40] zukünftiger Erhaltungsmassnahmen niederschlägt) oder durch weitere Senkung der Kosten für den betrieblichen Unterhalt. Der Betreibernutzen der Erhaltungsmassnahme im Planungsfall könnte also den Einsparungen gegenüber dem Referenzfall entsprechen. Diese Einsparungen sind in einer KNA mit einem geeigneten Diskontsatz auf einen Gegenwartswert bzw. in Annuitäten umzurechnen. In diesem Zusammenhang sind vor allem die in den genannten Massnahmenkatalogen dokumentierten Verhaltensmodelle von Interesse.

Wertvermehrnd sind aus Sicht der Verkehrsteilnehmer Massnahmen, die die Leistungsfähigkeit einer Verkehrsanlage erhöhen (Kapazität), Massnahmen, die in besonderem Masse zur Verkehrssicherheit beitragen, und schliesslich Massnahmen, die die Abnutzungsrate der Anlage und damit die Häufigkeit von Erhaltungseingriffen in besonderem Masse vermindern, wodurch baustellenbedingte Stau- und Unfallrisiken vermieden werden. Der entsprechende Nutzen lässt sich aus Fahrzeugbetriebskostensparnissen und geringeren Unfallrisiken ableiten. Nutzen von allfälligem Mehrverkehr kann als Konsumentenrentenzuwachs monetarisiert werden.

Wertvermehrnd im Sinne der Gesellschaft sind Massnahmen, welche beispielsweise den Verkehrslärm oder die Luftverschmutzung in besonderem Masse verringern. Im Zug von Massnahmen zur Fahrbahnerhaltung kann beispielsweise auch die Fahrbahnenentwässerung auf den neuesten Stand gebracht werden, was die Umweltbelastung verringert. Schliesslich tragen alle Massnahmen zur Wertvermehrung bei, die die Lebensdauer der Anlage in besonderem Masse erhöhen und damit die Belastung der Gesellschaft durch Baumassnahmen verringern. Zur Monetarisierung all dieser Nutzenfaktoren sind dieselben Bewertungsansätze heranziehen, wie sie sonst zur Bewertung von exter-

nen Effekten verwendet werden.

Im Rahmen des Einzelprojektes 4 wurden wertvermehrende Massnahmen ausgeschlossen. Deshalb beziehen sich die nachstehenden Angaben nur auf werterhaltende Massnahmen.

4.5.3 Bestimmung der Kostenfaktoren (aus Schlussbericht EP4)

Nebst den Investitionskosten für die Umsetzung von Erhaltungsmassnahmen fallen für den Betreiber einer Strassenanlage jährlich stets Aufwendungen für den Unterhalt und den Betrieb an.

Damit eine Strassenanlage den Rahmenbedingungen (z.B. bzgl. Sicherheit) stets genügt, müssen unterschiedliche, zum Teil bauliche, Massnahmen getroffen werden. Dabei wird zwischen Unterhalt und Erhaltung unterschieden:

- Unterhalt: Massnahmen zur Aufrechterhaltung der dauernden Betriebsbereitschaft der Strassenanlage
- Erhaltung: Massnahmen zur Substanzerhaltung der Anlagen und technischen Einrichtungen (Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen) bis hin zur Erstellung einer vollständig neuen Strassenanlage oder Teilen davon (Erneuerungs- und Ersatzmassnahmen).

Die Durchführung von Massnahmen an Strassenverkehrsanlagen hat den Zweck, die Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Strassenanlage zu gewährleisten. „Unterhaltungsmassnahmen“ werden hier als notwendige, kurzfristige Massnahmen betrachtet („Flickmassnahmen“), die Reparaturcharakter haben und die das Funktionieren der Strassenanlage gewährleisten sollen.

Die Kosten für die Erhaltungsmassnahmen liefern die Ergebnisse des Einzelprojektes 1 „Standardisierte Erhaltungsmassnahmen“ (vgl. 4.2.3 und 4.2.4). Die Kosten sind unabhängig vom Zustand der Strassenanlage, vom Schwerverkehrsanteil und von der geographischen Lage. Während Unterhaltungsmassnahmen teilweise auch als Erhaltungsmassnahmen verwendet werden, haben sie dennoch keinen Einfluss auf den Zustandsverlauf und damit auch nicht auf die Lebensdauer. Somit lassen sich die Kosten gemäss den Angaben, die im Einzelprojekt vorliegen und als optimale Anwendungsbereiche definiert sind, verwenden.

Im Rahmen des Einzelprojektes 4 galt es als zentralen Teil die weiteren Kostenanteile zur Bestimmung der Kosten des kleinen baulichen Unterhalts, der Nutzerkosten und der Kosten Dritter zu definieren und entsprechende Berechnungsalgorithmen zu formulieren.

Im Folgenden (Tab. 13, Tab. 14) sind die weiteren relevanten Kostenfaktoren für die Bestellung der jährlichen Kostenanteile zusammengestellt, nämlich für die:

- Kosten des baulichen Unterhalts
- Reisezeitkosten
- Fahrzeugbetriebskosten
- Unfallkosten
- Lärmkosten
- Kosten der Luftverschmutzung und
- Klimakosten

Tab. 13 Relevante Kostenfaktoren zur Berechnung der Kostenanteile

Kosten der Unterhaltmassnahmen pro Jahr		
$K_{\text{Unterhalt}} = s \cdot (NK(I_1) \cdot K_{\text{StrKat}} + K_{\text{Wert}})$	s	= Länge des Strassenabschnitts
	NK	= normalisierte Kosten
$NK(I_1) = \begin{cases} \frac{1}{3} & \text{für } I_1 \in [0,1) \\ \frac{1}{3} I_1 & \text{für } I_1 \in [0,3) \\ \frac{25}{12} I_1^2 - \frac{73}{6} I_1 + \frac{75}{4} & \text{für } I_1 \in [3,5) \end{cases}$	K_{StrKat}	= durchschnittliche Kosten pro Strassenkategorie
	K_{Wert}	= Kosten für Unterhaltmassnahmen mit Erhaltungscharakter als $I_1 \geq 4.5$
	I_1	= Oberflächenschäden
Reisezeitkosten pro Jahr		
	t	= Reisezeit auf dem Abschnitt pro Fahrzeug
	DTV	= durchschnittlicher täglicher Verkehr
$K_{\text{Reise}} = 365 \cdot t \cdot DTV \cdot K_{\text{Zeit}}$	K_{Zeit}	= Kosten pro Zeiteinheit und Fahrzeug
	s	= Länge des Strassenabschnitts
	v_{tech}	= Technische Geschwindigkeit
$t = \frac{s}{v_{\text{tech}}} \cdot \left(1 + \alpha \left(\frac{u}{\text{cap}} \right)^\beta \right)$	u	= Verkehrsaufkommen pro Stunde
	cap	= Kapazität in Fahrzeugen pro Stunde
	α, β	= Parameter der Reisezeitberechnung
	a, b, c	= Parameter zur Bestimmung der max. Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Unebenheiten
$v_{\text{Rough}} = v_{\text{Signal}} - a \frac{I_2 - b}{c} \quad \text{falls } I_2 \geq b$	v_{Signal}	= Signalisierte Geschwindigkeit
	v_{Rough}	= Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Unebenheiten
	I_2	= Ebenheit in Längsrichtung
Fahrzeugbetriebskosten pro Jahr		
$K_{\text{FBK}} = 365 \cdot DTV \cdot t \cdot K_{\text{Std}}$	DTV	= durchschnittlicher täglicher Verkehr
	t	= Reisezeit auf dem Abschnitt pro Fahrzeug
$+ 365 \cdot DTV \cdot \left(\frac{13I_2}{800} + \frac{787}{800} \right) \cdot s \cdot K_{\text{Fzkm}}$	K_{Std}	= Kosten pro Fahrstunde
	s	= Länge des Strassenabschnitts
	K_{Fzkm}	= Kosten pro Fahrzeugkilometer
$+ 365 \cdot DTV \cdot \left(\frac{13I_2}{800} + \frac{787}{800} \right) \cdot s \cdot T_v \cdot K_T$	T_v	= geschwindigkeitsabhängiger Treibstoffverbrauch
	K_T	= Treibstoffkosten
Unfallkosten pro Jahr		
$K_{\text{Unfall}} = A_{\text{Sachschaden}} K_{\text{Sachschaden}} + A_{\text{Verletzte}} K_{\text{Verletzte}} + A_{\text{Getötete}} K_{\text{Getötete}}$	K_x	= Kosten für Sachschäden, verletzte und getötete Personen
	A_x	= Anzahl der Unfälle, verletzter und getöteter Personen
	θ	= Unfallraten in Abhängigkeit von Griffigkeit und Strassenkategorie
$A_i = 365 \cdot DTV \cdot s \cdot \theta(I_4) \cdot \psi$	ψ	= erhöhter Unfallratenfaktor aufgrund Durchführung der Erhaltungs-massnahme unter Verkehr
	I_4	= Griffigkeit

Tab. 14 Relevante Kostenfaktoren zur Berechnung der Kostenanteile

Lärmkosten pro Jahr		
$K_{Lärm} = p \cdot K_{dBA} \cdot L_{eq}$	p	= Anzahl betroffener Personen
$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{cap} (Fz_{PW} 10^{0.1L_{PW}} + Fz_{LKW} 10^{0.1L_{LKW}}) \right)$	K_{dBA}	= Lärmkosten/dB(A)/Person
$L_{PW} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{PWA} + \Delta L_s}{10}} + 10^{\frac{L_{PWR} + \Delta L_B}{10}} \right)$	L_{eq}	= Mittelungspegel
$L_{LKW} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{LKWA} + \Delta L_s}{10}} + 10^{\frac{L_{LKWR} + \Delta L_B}{10}} \right)$	Fz_x	= Anzahl der Personenwagen und Lastwagen
$L_{PWR} = 9.5 + 35 \log(v)$	cap	= Kapazität in Fahrzeugen pro Stunde
$L_{LKWR} = 18.5 + 35 \log(v)$	ΔL_s	= Lärmkorrekturwert für die Steigung
$L_{PWA} = 62.7 + 10 \log \left(1 + \left(\frac{v}{44} \right)^{3.5} \right)$	ΔL_B	= Lärmkorrekturwert für den Strassenbelag
$L_{LKWA} = 76.9 + 10 \log \left(1 + \left(\frac{v}{56} \right)^{3.5} \right)$	v	= Effektiv gefahrene Geschwindigkeit (abhängig von der Reisezeit, vgl. oben)
Kosten der Luftverschmutzung pro Jahr		
$K_{Luft} = s \cdot 365 \cdot DTV \cdot \frac{\mu T_v^{LKW}}{29.1} K_{LKW}$	s	= Länge des Strassenabschnitts
$+ s \cdot 365 \cdot DTV \cdot \frac{(1-\mu)\lambda T_v^{PWD}}{7.7} K_{PW}$	DTV	= durchschnittlicher täglicher Verkehr
$+ s \cdot 365 \cdot DTV \cdot \frac{(1-\mu)(1-\lambda) T_v^{PWB}}{8.6} K_{PW}$	T_v^{LKW}	= Geschwindigkeits- und somit reisezeitabhängiger Treibstoffverbrauch für Lastwagen [l/100km]
$+ K_M$	T_v^{PWD}	= dito dieselbetriebene Personenwagen (PW)
	T_v^{PWB}	= dito benzinbetriebene PW
	K_{LKW}	= Kosten der Luftverschmutzung pro Fzkm Güterverkehr
	K_{PW}	= dito Personenverkehr
	K_M	= Kosten der Luftverschmutzung der baulichen Massnahme
	μ	= Schwerverkehrsanteil
	λ	= Anteil der dieselbetriebenen PW
Klimakosten pro Jahr		
$K_{Klima} = s \cdot 365 \cdot DTV \cdot K_{CO_2}$	s	= Länge des Strassenabschnitts
$\cdot \left(\frac{\mu T_v^{LKW}}{100} \gamma_D + \frac{(1-\mu)\lambda T_v^{PWD}}{100} \gamma_D \right)$	DTV	= durchschnittlicher täglicher Verkehr
$+ \frac{(1-\mu)(1-\lambda) T_v^{PWB}}{100} \gamma_B \Big)$	K_{CO_2}	= Kosten pro Tonne CO ₂
	T_v^{LKW}	= Geschwindigkeits- und somit reisezeitabhängiger Treibstoffverbrauch für Lastwagen [l/100km]
	T_v^{PWD}	= dito dieselbetriebene Personenwagen (PW)
	T_v^{PWB}	= dito benzinbetriebene PW
	μ	= Schwerverkehrsanteil
	λ	= Anteil der dieselbetriebenen PW
	γ_B	= CO ₂ -Ausstoss pro Liter Benzin
	γ_D	= CO ₂ -Ausstoss pro Liter Diesel

4.5.4 Bestimmung des Gesamtnutzens (aus Schlussbericht EP4)

Um den Gesamtnutzen von Erhaltungsmaßnahmen zu berechnen, werden die Kosten- und Nutzenfaktoren addiert. Bei der Berechnung der einzelnen Faktoren muss stets berücksichtigt werden, dass sowohl im Planungsfall als auch im Referenzfall der Erhaltungsabschnitt und fallweise auch die Alternativroute bewertet werden müssen. Im Planungsfall ist zudem zu beachten, dass sich nach der Erhaltungsmaßnahme der Zustand verbessert hat. Entsprechend müssen die Zustandsindizes nach erfolgter Erhaltungsmaßnahme angepasst werden.

Die folgende Abbildung (Abb. 14) zeigt eine Übersicht über alle Faktoren zur Berechnung des Gesamtnutzens von Fahrbahnerhaltungsmaßnahmen.

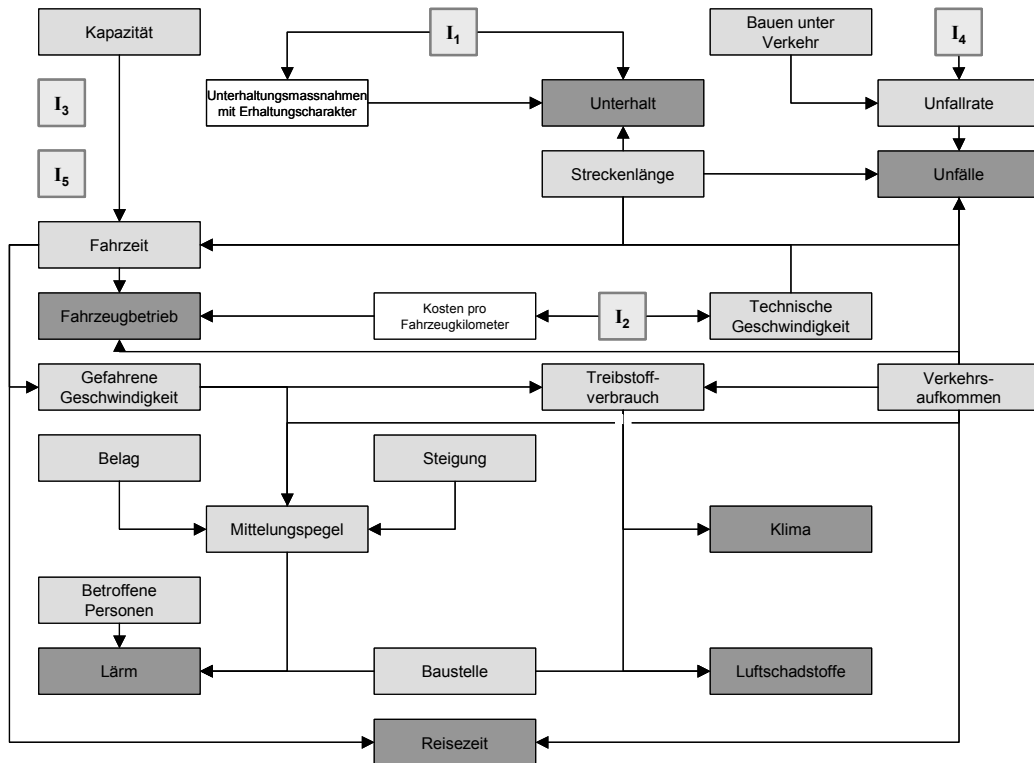


Abb. 14 Faktoren und Einflüsse zur Berechnung des Gesamtnutzens

Das Ergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse wird als Netto-Barwert der Massnahme dargestellt. Der Barwert (oder Gegenwartswert) ist derjenige Wert, den eine zukünftig anfallende Zahlungsreihe (positiv und negativ) in der Gegenwart besitzt. Um den Barwert der Investition der Erhaltungsmaßnahme zu bestimmen, müssen die Kosten- und Nutzenwerte mit einem geeigneten Faktor diskontiert werden. In Kosten-Nutzen-Analysen für Projekte im schweizerischen Strassenverkehr gilt ein Diskontsatz von 2 %; für Sensitivitätsanalysen ein Diskontsatz von 3 % (SN 641 821 [40]).

Um die in der internationalen Literatur angegebenen Kostensätze mit einander vergleichen zu können, müssen einerseits die Angaben aus ausländischen Studien in Schweizer Franken transformiert und andererseits die Preisbasisjahre einander angeglichen werden. Die Wechselkurse wurden mit OANDA ermittelt, um einheitliche Währungen zu erhalten (OANDA [41]). Um die Kostensätze zu vereinheitlichen, wurden die Preise mit Hilfe der historischen Sätze des Landesindex der Konsumentenpreise einander angeglichen (Bundesamt für Statistik (Bfs) [42]).

Die Anwendung der ermittelten Nutzen und Kosten in der Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement erlauben die Evaluation von wirtschaftlich optimalen Erhaltungsmaßnahmen in einem längeren Betrachtungszeitraum. Dies bedeutet die Ermittlung der in einem bestimmten Zeitpunkt zweckmässigerweise auszuführenden geeigneten Erhaltungsmaßnahme. Dabei wird das beste Nutzen-Kosten-Verhältnis und

damit die grösste Wirksamkeit erreicht. Die folgende Abbildung (Abb. 15) zeigt diesen Sachverhalt schematisch auf.

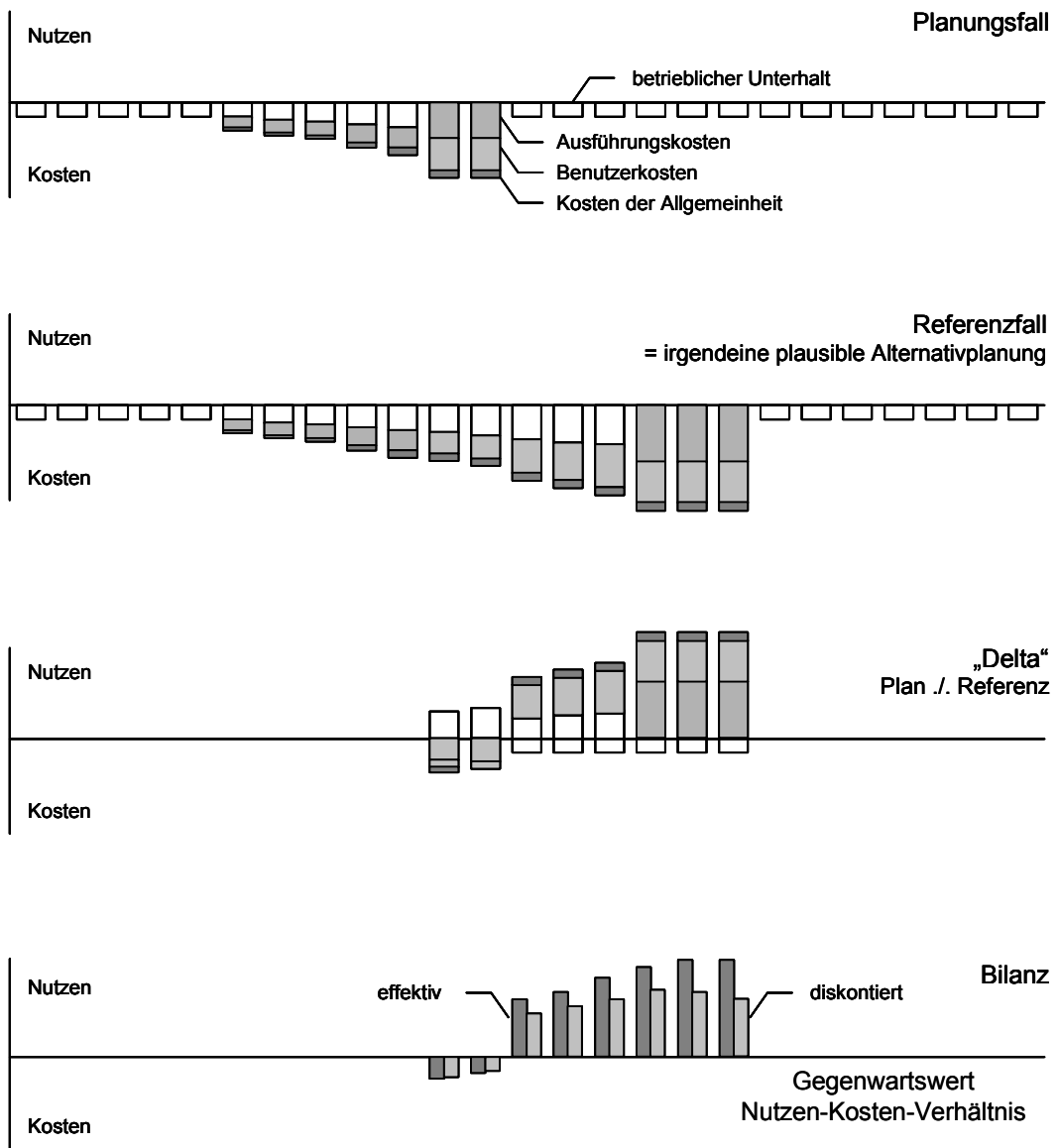


Abb. 15 Bewertungsprinzip: Bestimmung des effektiven u. diskontierten Gesamtnutzens

4.5.5 Erkenntnisse und Folgerungen (aus Schlussbericht EP4)

Erkenntnisse und Zusammenhänge

Die Ziele jeder Durchführung einer Erhaltungsmassnahme sind vielschichtig und nicht immer gleich ausgeprägt. Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass mit der Realisierung einer Erhaltungsmassnahme und der daraus folgenden Verbesserung des Zustands der Gesamtnutzen der Verkehrsteilnehmer, Strassenbetreiber und der Gesellschaft insgesamt vergrössert wird.

Ausser zur Bewertung von vordefinierten Erhaltungsmassnahmen durch Vergleich mit dem Referenzfall kann eine KNA auch für strategische Optimierungen herangezogen werden. In der Praxis werden oft Kombinationen verschiedener Massnahmen, die nicht alle baulicher Natur sein müssen, durchgeführt. Die Massnahmenkombination ist nicht durch die Summe der Einzelmassnahmen gegeben, sondern die Massnahmen und ihre Auswirkungen sind korreliert.

Dabei geht es nicht nur um die Definition eines geeigneten Referenzfalles, sondern auch um die Festlegung einer optimalen über den Lebenszyklus gesamtkostenminimalen Massnahmenstrategie; d.h. eines optimalen Erhaltungsprogrammes selbst. Die Herausforderung besteht darin, den anzustrebenden Fahrbahnzustand, die optimale Massnahme und den optimalen Massnahmenzeitpunkt „gleichzeitig“ zu bestimmen.

Erhaltungsstrategien bestehend aus Massnahmenkombinationen und den entsprechenden Massnahmenzeitpunkten bestimmen die Lebensdauer der Strassenanlagen. Eine kurzfristige, budgetorientierte Sicht kann sich langfristig negativ auswirken. Deshalb ist es umso wichtiger, dass mit den vorhandenen, beschränkten Budgetmitteln eine optimale Erhaltungsstrategie realisiert wird, die einen möglichst grossen Nutzen erzielt.

Die Berechnung des Gesamtnutzens einer Erhaltungsmassnahme stellt dabei einen wichtigen Teil bei der Entwicklung solcher Strategien dar, indem verschiedene Teilaspekte zu berücksichtigen sind. Ein zentraler Aspekt hinsichtlich der Bewertung der Erhaltungsmassnahme ist das Gedankenmodell zur Bestimmung der Kosten und Nutzen zu einem festgelegten Zeitpunkt. Es stellt sich die Frage inwieweit es sinnvoll ist, die Massnahme „so und so lange“ vor dem eigentlichen, geplanten Durchführungszeitpunkt vorzunehmen; bzw. inwieweit sie sich zeitlich gesehen nach hinten verschieben lässt, in einen Zeitraum, indem sie längst hätte durchgeführt werden sollen.

Für einen bestimmten Strassenzustand existieren möglicherweise mehrere geeignete Massnahmen (aus dem Katalog aus Einzelprojekt 1) um die Strassen zu erhalten. Deshalb gehören zu Erhaltungsstrategien nicht nur die Ausführungszeitpunkte der Arbeiten, sondern auch die Wahl der geeigneten Erhaltungsmassnahmen. Erschwerend kommt hinzu, dass die zu einem bestimmten Zeitpunkt zulässigen Arbeiten nicht die gleiche Wirkung aufweisen müssen. Je nach Erhaltungsprogramm ergibt sich ein unterschiedlicher langfristiger Nutzen.

Folgerungen und weiterer Forschungsbedarf

Aus den vorliegenden Resultaten können wichtige Einflussfaktoren nationaler Verkehrsinfrastrukturstrategien abgeleitet werden – trotz mancher Unschärfen. Eingehende Untersuchungen zu diesem Thema können die Modelle weiter präzisieren mit dem Ziel die Effizienz und Effektivität der Infrastrukturinvestitionen zu steigern.

Während sich die vorliegende Forschungsarbeit zum Einzelprojekt 4 auf die Bewertung einer Einzelmassnahme konzentriert hat, müssen für praxishere Bewertungen Massnahmenkombinationen aus Sicht der Betreiber, Verkehrsteilnehmer und Gesellschaft weiter thematisiert werden. Die Erarbeitung von Erhaltungsstrategien muss sich in erster Linie an Rahmenbedingungen der Strasseninfrastrukturpolitik, die eine rationale, langfristig orientierte, konsistente und strategische Ausrichtung ermittelt, orientieren. Dazu gehören Elemente wie z.B. quantitative Zielvorgaben und die konsequente Anwendung von ex-post-Evaluationen von Strassenbaumassnahmen. Die Entwicklung von Strategien, die einerseits die Restriktionen der Betreiber bezüglich Kosten und Verfügbarkeit von Mitarbeitern und Ressourcen und andererseits die Nutzen von Verkehrsteilnehmern und Gesellschaft berücksichtigen, ist in der Zukunft voranzutreiben. Tiefgreifende Untersuchungen von Lebenszykluskosten und Wirkung von Erhaltungsmassnahmen sind nötig um den Nutzen der Betreiber besser quantifizieren zu können. Allerdings bleibt festzuhalten, dass in einer solchen Untersuchung insbesondere der Einfluss von Erhaltungsmassnahmen auf die Verlaufskurven des Strassenzustands analysiert werden muss. Hier ist zu überlegen, ob die heute gültige Zustandserfassung zweckmässig ist, bzw. ob die Verlaufskurven mit genügender Genauigkeit bestimmt werden können. Allenfalls ist zu überlegen, ob ein probabilistisches Modell eingeführt werden könnte, um den Unsicherheiten zu begegnen und ein realitätsnahes Bild zu schaffen.

Im Rahmen der Analyse der Einflüsse von Erhaltungsmassnahmen auf die Umwelt bestehen weiterhin in erster Linie Lücken in der Quantifizierung der Einflüsse der Bauverfahren und den verwendeten Materialien auf die Umwelt. Deshalb sind umweltverträgliche Bauverfahren, Materialien und eine umsichtige Ressourcenplanung von grosser Bedeutung und sollten weiter erforscht werden.

Forschungsbedarf ist aber auch in Bezug auf die Methodik und das Wertgerüst vorhanden. Vor allem langfristige Umweltnutzen und Umweltkosten sind heute aufgrund des sehr komplexen Themas mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Die Vernetzung der Lebensräume, die Artenvielfalt und der Verbrauch der Ressource „Boden“ stehen in engem Zusammenhang, weshalb der Bewertung dieser Sachverhalte in Zukunft eine höhere Bedeutung beigegeben werden sollte.

Die im Rahmen des Einzelprojektes 4 erarbeiteten Ansätze bieten einerseits eine statische Zustandsbeschreibung, und andererseits elementare Ansätze für Verbesserungen im Strasseninfrastrukturbereitstellungsprozess, mit dem die bedarfsgerechte Mobilität in der Zukunft gewährleistet werden kann. Die dabei verwendeten Methoden und Ansätze können weder alle Aspekte umfassen, noch sind sie vollends ausgestaltet. Die vorliegenden Kosten- und Nutzenmodelle bilden darum nur einen begrenzten Ausschnitt der Realität ab.

Bei der Erstellung der Modelle wurde darauf geachtet, dass die funktionalen Zusammenhänge zwischen Strassenzustand und Kosten- bzw. Nutzenfaktor und das Wertgerüst voneinander getrennt sind. Somit ist auch in Zukunft gewährleistet, dass neue Erkenntnisse im Mengen- oder Wertgerüst einfach aufgenommen werden können, ohne dass die Methodik grundlegend angepasst werden müsste. Die Methodik ist auch nicht auf Kosten-Nutzen-Analysen beschränkt, sondern kann auch innerhalb von anderen Bewertungsansätzen verwendet werden.

4.6 Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen

4.6.1 Zusammenfassung (aus Schlussbericht EP5)

Das Einzelprojekt 5 VSS 2004/715 „Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen“ liefert ein Verfahren zur Ermittlung der Zusatzkosten und Zusatznutzen von Erhaltungsmaßnahmen bei vorgezogener bzw. verzögerter Ausführung der Massnahmen gegenüber dem optimalen Realisierungszeitpunkt. Dieses dient als Grundlage für die Optimierung in der Massnahmenplanung.

Das Verfahren Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell ist so ausgestaltet, dass alle Kostengruppen der Kostenträger Strassenbetreiber, Strassenutzer und Dritte bei der monetären Quantifizierung berücksichtigt werden können. Die für Berechnungen mit dem Modell benötigten Kostensätze liefern die Ergebnisse aus den Einzelprojekten 1 und 4. Die ebenfalls für die Schadensentwicklung (Zustandsentwicklung) erforderlichen Grundlagen können aus dem Einzelprojekt 2 entnommen und verwendet werden.

Das Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell kann sowohl für die Bestimmung der Zusatzkosten bei Vor- oder Nachschiebung von Realisierungszeitpunkten von Erhaltungsmaßnahmen als auch grundsätzlich zur Evaluation wirtschaftlich optimaler Massnahmenfolgen verwendet werden (vgl. Schlussbericht EP5 [33]). Die erarbeiteten Resultate sollten einer intensiven praktischen Erprobung unterworfen werden um die Relevanz der verschiedenen Kostenanteile bei Massnahmenverschiebungen erkennen zu können.

Die Betrachtung der einzelnen Kostengruppen und der Mechanismen der Zusatzkostenentstehung (siehe Kapitel 4.6.4) zeigt, dass je nach Ausgangssituation und je nach betrachteter Massnahme deutlich unterschiedliche Auswirkungen einer Verschiebung zu beobachten sind. Es gibt jeweils Kostengruppen, bei denen durch eine Verschiebung Zusatzkosten entstehen, Kostengruppen, die unbeeinflusst bleiben aber auch Kostengruppen bei denen es zu einer Verringerung der Kosten kommt (negative Zusatzkosten). Welcher Einfluss überwiegt hängt daher stark vom betrachteten Einzelfall ab.

Die Grösse des Einflusses einer Verschiebung auf die Entwicklung der Kosten in einer Kostengruppe hängt zum einen von der Entwicklung der für die Kostenentwicklung aus-

schlaggebenden Zustandsindizes, zum anderen von der Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit von den einzelnen Zustandsindizes ab (Abb. 16). Eine exponentielle Entwicklung des Strassenzustands sowie eine exponentielle Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit vom Strassenzustand führt zu einer sehr grossen Erhöhung der Kosten im Falle eines Aufschubs einer Massnahme, da in beiden die kostenbeeinflussenden Parameter überproportional ansteigen. Umgekehrt führt in diesem Fall ein Vorschub zu einer sehr geringen Verringerung der Kosten, da hier beide Parameter in einen Bereich mit sehr geringer Steigung kommen und sich daher zunehmend langsamer verändern. Die übrigen in Abb. 16 dargestellten Fälle einer linearen Entwicklung sowie einer logarithmischen Entwicklung und deren mögliche Kombinationen ergeben sich analog hierzu.

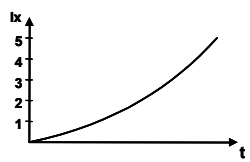
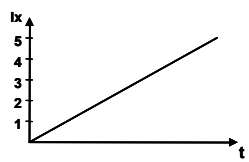
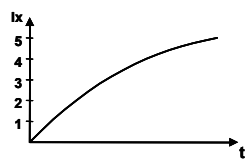
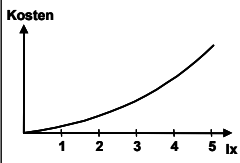
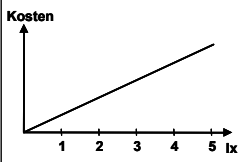
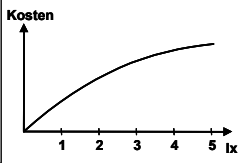
		Zustandsentwicklung		
				
Kostenentwicklung		Sehr grosse Änderung der Kosten bei Aufschub, sehr geringe Änderung der Kosten bei Vorschub	Grosse Änderung der Kosten bei Aufschub, geringe Änderung der Kosten bei Vorschub	Mittlere Änderung der Kosten bei Aufschub, mittlere Änderung der Kosten bei Vorschub
		Grosse Änderung der Kosten bei Aufschub, geringe Änderung der Kosten bei Vorschub	Mittlere Änderung der Kosten bei Aufschub, mittlere Änderung der Kosten bei Vorschub	Geringe Änderung der Kosten bei Aufschub, grosse Änderung der Kosten bei Vorschub
		Mittlere Änderung der Kosten bei Aufschub, mittlere Änderung der Kosten bei Vorschub	Geringe Änderung der Kosten bei Aufschub, grosse Änderung der Kosten bei Vorschub	Sehr geringe Änderung der Kosten bei Aufschub, sehr grosse Änderung der Kosten bei Vorschub

Abb. 16 Grössenordnung der zu erwartenden Änderung der Kosten in einer Kostengruppe in Abhängigkeit von der Entwicklung der massgeblichen Zustandsindizes sowie der Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit von diesen Indizes

Die Tatsache, dass sich die einzelnen Kostengruppen sehr unterschiedlich entwickeln können, zeigt auch, dass eine Aussage allein aufgrund der Gesamtsumme der Zusatzkosten wenig aussagekräftig ist. Eine Differenzierung zumindest auf Stakeholderebene liefert hier wichtige Zusatzinformationen (siehe Schlussbericht EP5, Anhang: Beispiel 1).

Allgemein kann gesagt werden, dass es für den Strassenbetreiber meist ideal ist, die Massnahmen so spät wie möglich innerhalb ihres Anwendungsbereichs auszuführen, während dies bei den Nutzern und Dritten zu erhöhten Kosten führt. Welcher Einfluss überwiegt ist im Einzelfall zu prüfen. In diesem Zusammenhang muss der Strassenbetreiber auch entscheiden, wie stark er die Kosten der Nutzer und der Dritten in einer Wirtschaftlichkeitsanalyse gewichten will (siehe Schlussbericht EP5).

Die erarbeiteten Resultate sollten einer intensiven praktischen Erprobung unterworfen werden um die Relevanz der verschiedenen Kostenanteile bei Massnahmenverschiebungen erkennen zu können.

4.6.2 Bestimmung der Zusatzkosten mittels Kosten-Barwert-Entscheidungsbaum

dungs-Modell (aus Schlussbericht EP5)

Grundlagen

Das Erhaltungsmanagementmodell zur Entwicklung und Definition von Erhaltungsstrategien und Erhaltungsvarianten und das darauf aufbauende Kosten-Barwert-Entscheidungs-Modell zur finanziellen Bewertung der unterschiedlichen Erhaltungsvarianten sind auf demselben System mit denselben Systemgrenzen aufgebaut.

Für die Entwicklung und Bewertung verschiedener Erhaltungsstrategien und Erhaltungsvarianten müssen nicht alle Parameter des Systems Strassennetz bzw. der untergeordneten Teilsysteme berücksichtigt werden. So können der Nutzen der Bereitstellung der Strasse, sowie sämtliche Kostenanteile, die unabhängig vom Strassenzustand und damit von der Erhaltungsvariante sind, im Erhaltungsmanagement- und Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell vernachlässigt werden. Dennoch sind diese Parameter Teil des betrachteten Systems und müssen somit in die Systemdefinition einbezogen werden.

Das Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell dient als Grundlage für die finanzielle Bewertung zuvor definierter Erhaltungsvarianten innerhalb einer gewählten Erhaltungsstrategie und bildet daher die Grundlage für die Berechnung der Zusatzkosten, die sich durch Veränderungen in der Massnahmenplanung ergeben.

Die Bewertung erfolgt auf der Grundlage einer Kostenbetrachtung, d.h. es wird der Werteverzehr bei den einzelnen Stakeholdergruppen bewertet. Entscheidungskriterium zwischen den verschiedenen Erhaltungsvarianten ist der Kosten-Barwert der Erhaltungsvarianten, d.h. die diskontierte Summe der einzelnen Kostenanteile über den Betrachtungszeitraum.

Gemäss der Systemdefinition werden nicht die Gesamtkosten einer Erhaltungsvariante berechnet, sondern nur die vom Strassenzustand beeinflussten bzw. durch Erhaltungsmassnahmen hervorgerufenen Kostenanteile betrachtet. Die konstanten Grundkosten des Strassenunterhalts, die immer in gleicher Höhe anfallen, können beim Vergleich verschiedener Erhaltungsvarianten vernachlässigt werden. Es werden also nur

- die Kosten infolge Erhaltungsmassnahmen K_t^{Massn, m_i^x} sowie
- die erhöhten Kosten infolge schlechten Strassenzustands ΔK_t

berücksichtigt. Als Referenz für die nicht betrachteten Grundkosten dienen die Kosten, die beim Betrieb einer Strasse im Neuzustand für die Stakeholdergruppen anfallen.

Es ergibt sich die folgende Struktur der zu berücksichtigenden Kostengruppen der drei Stakeholdergruppen (Kostenträger):

- Kostenträger Strassenbetreiber
 - Kostengruppe – Unterhaltsmassnahmen
 - Kostengruppe – Erhöhter Unterhalt
- Kostenträger Strassennutzer
 - Kostengruppe – Reisezeitverlängerung
 - Kostengruppe – Erhöhte Fahrzeugbetriebskosten
 - Kostengruppe – Erhöhte Unfallkosten
- Kostenträger Dritte
 - Kostengruppe – Erhöhte Umweltkosten (Lärm, Schadstoffe, Klima)
 - Kostengruppe – Erhöhte Unfallkosten

Die Summe der Betreiberkosten im Jahr t ergibt sich aus den Kosten des laufenden Be-

triebs und Unterhalts sowie den periodisch auftretenden Kosten der Erhaltungs-massnahmen.

$$K_t^B = K_t^{B,Betrieb}(I_x) + K_t^{B,Massn}$$

Die Betreiberkosten hängen also von zwei hauptsächlichlichen Einflussfaktoren ab:

- Strassenzustand im Jahr t in den Einzelindices $I_x = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5\}$
- Art und Umfang der im Jahr t durchgeführten Erhaltungs-massnahmen

Die Nutzerkosten stellen in fast allen Fällen keine direkten Geldflüsse, sondern einen Werteverzehr z.B. in Form von Zeitverlusten oder erhöhten Wertverlusten der Fahrzeuge dar. Analog zu den Betreiberkosten wird unterschieden in Kosten während des normalen Betriebs und Kosten während einer Erhaltungs-massnahme. Die Kosten unterscheiden sich in diesen beiden Fällen allerdings nur in ihrer Höhe, die auftretenden Kostenarten bleiben dieselben. Wie bei allen Kostengruppen, werden jeweils nur die Anteile der Gesamtkosten berücksichtigt, die mit einem verschlechterten Strassenzustand in Zusammenhang stehen. Die konstanten Grundkosten bei optimalem Strassenzustand bleiben unberücksichtigt.

Die erhöhten Nutzerkosten setzen sich zusammen aus:

- Erhöhten Zeitkosten
- Erhöhten Fahrzeugbetriebskosten
- Erhöhten Unfallkosten

Daraus ergeben sich die erhöhten Nutzerkosten zu:

$$\Delta K_t^N = \Delta K_t^{N,Zeit} + \Delta K_t^{N,FB} + \Delta K_t^{N,Unfall}$$

mit $\Delta K_t^{N,Zeit}$ = Erhöhte Zeitkosten der Nutzer im Jahr t

$\Delta K_t^{N,FB}$ = Erhöhte Fahrzeugbetriebskosten der Nutzer im Jahr t

$\Delta K_t^{N,Unfall}$ = Erhöhte Unfallkosten der Nutzer im Jahr t

Bei der Berechnung muss jeweils unterschieden werden zwischen den Kosten während des normalen Betriebs, die nur vom Strassenzustand abhängen und den Kosten während einer Erhaltungs-massnahme, bei denen zusätzliche Effekte wie z.B. erhöhte Staubbildung eine Rolle spielen.

Die Kosten Dritter setzen sich zusammen aus den Umweltkosten, d.h. die Bewertung der Belastung der Umwelt sowie dem von der Gesellschaft zu tragenden Anteil der Unfallkosten. Die Belastung der Umwelt setzt sich insbesondere aus den folgenden Punkten zusammen:

- Lärmbelastung
- Luftverschmutzung
- Klimaeffekte

Die von der Gesellschaft zu tragenden Unfallkosten setzen sich vor allem aus den Teilen der Kosten zusammen, die von Versicherungen (z.B. Krankenversicherung, AHV etc.) getragen werden. Ausserdem werden die Arbeitgeber der vom Unfall Betroffenen und damit die gesamte Wirtschaft belastet.

Die Kostenansätze für die einzelnen Kostengruppen der drei Stakeholdergruppen wurden in den Einzelprojekten 1 und 4 erarbeitet. Im Einzelprojekt 1 (Standardisierte Erhaltungsmassnahmen) wurden die Massnahmenkosten der einzelnen standardisierten Erhaltungsmassnahmen differenziert nach fixen und variablen Kosten definiert. Die Kostenansätze für die Betriebskosten, die Nutzerkosten und die Kosten Dritter wurden im Einzelprojekt 4 (Gesamtnutzen und Kosten-Nutzenverhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen) zusammengestellt (vgl. auch 4.5.3).

Kosten-Barwert Berechnung

Die Bewertung verschiedener Erhaltungsvarianten in einer Wirtschaftlichkeitsanalyse beinhaltet Kosten, die über eine grosse Zeitspanne (Betrachtungszeitraum) anfallen. Für derartige langfristige strategische Betrachtungen ist es erforderlich, sowohl die Kostensteigerung, als auch die Verzinsung des Kapitals zu berücksichtigen. Daher wird die Bewertung der verschiedenen Verfahren mit Hilfe der Kosten-Barwert-Methode vorgenommen. Als dynamische Wirtschaftlichkeitsanalysemethode erfüllt diese die Anforderungen an eine langfristige Wirtschaftlichkeitsanalyse. Aus den Kosten der einzelnen Jahre des Betrachtungszeitraums wird durch Diskontierung der Kosten-Barwert der jeweiligen Erhaltungsvariante berechnet.

Die Berücksichtigung der Kostenentwicklung kann global für alle Kosten oder bei einer genaueren Betrachtung differenziert für einzelne Kostenarten oder Kostengruppen erfolgen.

Der schweizerische Baumeisterverband veröffentlicht jährlich den Produktionskosten-Index für elf Bausparten (schweizerischer Baumeisterverband 2006 [43]). Im Speziellen wird die Preisentwicklung in der Strassenerneuerung und im Belagsbau erhoben.

Im einfachsten Fall wird nur ein globaler Kostenentwicklungsindex *GlobalKI* für alle berücksichtigten Kosten verwendet. In diesem Fall ergeben sich die Kosten im Jahr t wie folgt aus den bekannten Kosten des Jahres $t = 0$:

$$K_i^{B/N/D} = K_{t,0}^{B/N/D} \cdot (1 + \text{GlobalKI})^t$$

mit $K_t^{B/N/D}$ = Kosten der Betreiber, Nutzer oder Dritter im Jahr t

$K_{t,0}^{B/N/D}$ = Kosten der Betreiber, Nutzer oder Dritter im Jahr t mit den Kostenansätzen des Jahres $t = 0$

GlobalKI = Globaler Kostenentwicklungsindex

In diesem Fall sollte die allgemeine Preisentwicklung (Inflation / Deflation) als Grundlage für die Ermittlung des globalen Kostensteigungsindex herangezogen werden. Das Vorgehen hat den Vorteil der Einfachheit, beinhaltet aber eventuell Ungenauigkeiten bzgl. der tatsächlichen Preisentwicklung in den einzelnen Kostenarten und Kostengruppen.

Eine genauere Prognose der zukünftigen Kostenentwicklung erhält man mit differenzierten Kostenentwicklungsindices. Bei den zu untersuchenden Fällen im Erhaltungsmanagement von Strassen bietet sich die Einteilung in folgende Kostenarten, analog der Kostenanteile der drei Stakeholdergruppen, an: Baukosten, Strasseninfrastrukturkosten, Zeitkosten, Fahrzeugkosten, Unfallkosten und Drittkosten.

Die Kosten im Jahr t berechnen sich dann aus den Kosten des Jahres $t = 0$ für die verschiedenen Kostenarten wie folgt:

$$K_t^\mu = K_{t,0}^\mu \cdot (1 + \mu I)^t$$

- mit K_t^μ = Kosten der Kostenart μ im Jahr t
- $K_{t,0}^\mu$ = Kosten der Kostenart μ im Jahr t mit den Kostenansätzen aus dem Jahr $t=0$
- μI = Kostenentwicklungsindex der Kostenart μ
- μ = Baukosten / Strassenbetriebskosten / Zeitkosten / Fahrzeugkosten / Unfallkosten

Prinzipiell ist auch die Einteilung in die oben genannten Kostenarten nur dann sinnvoll, wenn aufgrund verlässlicher Vorhersagen differenzierte Werte für die Kostensteigerungsindices festgelegt werden können, andernfalls sollte vereinfacht mit einem globalen Kostensteigerungsindex gerechnet werden.

Die Wahl des Diskontierungszinssatzes zur Berechnung der Barwerte der Kosten ist von entscheidender Bedeutung für das Ergebnis der Untersuchungen. Eine Erhaltungsvariante kann allein durch die Wahl des Diskontierungszinssatzes besser oder schlechter bewertet werden als andere. Je höher der Diskontierungszinssatz gewählt wird, desto geringer wird die Gewichtung von zukünftigen Kosten im Vergleich zu aktuellen Kosten und umgekehrt. Da bei verschiedenen Erhaltungsvarianten die Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen können, führt eine Veränderung der Verzinsung zu Verschiebungen in der Bewertung der Erhaltungsvarianten. Daher muss die Bestimmung eines sinnvollen und wirtschaftlich gerechtfertigten Diskontierungszinssatzes mit grosser Sorgfalt erfolgen.

Die Definition des Diskontierungszinssatzes kann auf der Grundlage zweier unterschiedlicher Konzepte erfolgen:

- Bestimmung der sozialen Zeitpräferenzrate
- Bestimmung der sozialen Opportunitätskostenrate

Bei der konkreten Berechnung der sozialen Zeitpräferenzrate für die Schweiz kommt Abay ([44]) auf ein Intervall zwischen 2 % und 3.1 %. Er schlägt 2 %, also einen Wert am unteren Ende des Intervalls, zur Beurteilung von Infrastrukturbauten vor. Dieser Wert wird für die im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführten Untersuchungen als soziale Zeitpräferenzrate übernommen.

Aus den Daten SNB 2008 [45] ergibt sich ein Mittelwert über die letzten zehn Jahre von 2.94 %. Dieser Zinssatz wird für die im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführten Untersuchungen für die sozialen Opportunitätskosten übernommen.

Für die Bewertung unterschiedlicher Erhaltungsvarianten mit dem Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell wird empfohlen die soziale Zeitpräferenzrate als Grundlage für die Diskontierung heranzuziehen, da die Strassen üblicherweise von der öffentlichen Hand betrieben werden. Auch die Kostenanteile der Nutzer und Dritter, die zumeist keine direkten Cash-Flows darstellen, werden besser durch die volkswirtschaftlich orientierte Betrachtungsweise der sozialen Zeitpräferenzrate abgebildet.

Der Kosten-Barwert $KBW_{t_B}^x$ einer Erhaltungsvariante x ist die diskontierte Summe aller Kosten der drei Stakeholdergruppen über den gesamten Betrachtungszeitraum.

Die Berechnung erfolgt in zwei Schritten:

- Berechnung der jährlichen Kosten der Erhaltungsvariante aus der Summe der Kosten der einzelnen Stakeholdergruppen

- Diskontierung der jährlichen Kosten auf den Betrachtungszeitpunkt

Zunächst werden die jährlichen Kosten K_t^x der Erhaltungsvariante für jedes Jahr t des Betrachtungszeitraums berechnet. Dazu werden die Kosten der drei Stakeholdergruppen mit Hilfe der Kostenentwicklungsindices aus den aktuellen Kostensätzen abgeleitet und über das jeweilige Jahr t aufsummiert.

$$K_t^x = K_t^{B,x} + K_t^{N,x} + K_t^{D,x}$$

mit $K_t^{B,x}$ = Kosten des Strassenbetreibers im Jahr t

$K_t^{N,x}$ = Kosten der Strassennutzer im Jahr t

$K_t^{D,x}$ = Kosten Dritter im Jahr t

Im zweiten Schritt werden die aufsummierten jährlichen Kosten mit Hilfe des Diskontierungszinssatzes q auf den Bezugszeitpunkt t_B diskontiert und durch Summation über den Betrachtungszeitraum der Kosten-Barwert der Erhaltungsvariante berechnet. Zusätzlich wird der Kostenanteil aus der Systemabgrenzung im Endzeitpunkt der Betrachtung berücksichtigt.

Der Kosten-Barwert einer Erhaltungsmassnahme χ ergibt sich zu:

$$KBW_{t_B}^\chi = \sum_{t=1}^{t_e} \frac{K_t^\chi}{(1+q)^{(t-t_B)}} + \frac{K_{t_e}^{\chi, Abgr}}{(1+q)^{(t_e-t_B)}}$$

mit $KBW_{t_B}^\chi$ = Kosten-Barwert der Erhaltungsvariante χ bezogen auf das Jahr t_B

$K_{t_e}^{\chi, Abgr}$ = Kostenanteil aus der Systemabgrenzung im Endzeitpunkt t_e

q = Diskontierungszinssatz

t_B = Bezugszeitpunkt

t_e = Ende des Betrachtungszeitpunktes

Zusatzkosten

Die Berechnung der Zusatzkosten durch die Verschiebung einer oder mehrerer Erhaltungsmassnahmen einer Erhaltungsvariante erfolgt durch den Vergleich der Basisvariante χ (ursprüngliche Planung) mit der Alternativvariante $\tilde{\chi}$ (mit Berücksichtigung der Verschiebung).

In der Zusatzkostenberechnung werden die Kosten der Alternativvariante $KBW_{t_B}^{\tilde{\chi}}$ von den Kosten der Basisvariante $KBW_{t_B}^\chi$ subtrahiert (Abb. 17).

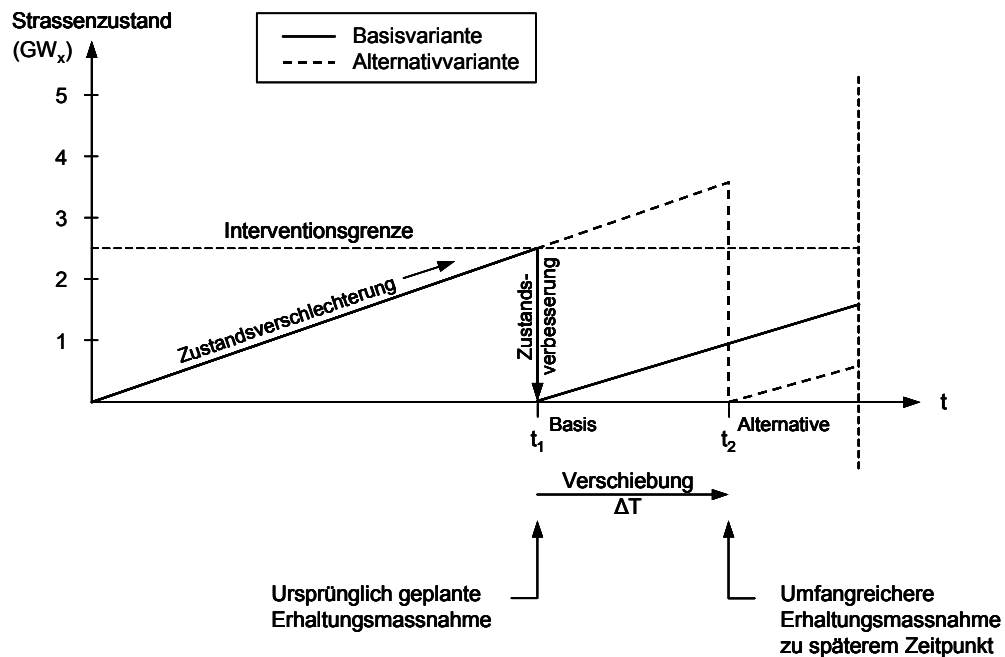


Abb. 17 Strassenzustandsverlauf bei der geplanten Basisvariante bzw. bei der Verschiebung einer Erhaltungsmaßnahme um den Zeitraum ΔT (Alternativvariante)

Für die Zusatzkosten aus der Verschiebung einer oder mehrerer Massnahmen ergibt sich dann:

$$\Delta KBW_{t_B}^{\tilde{\chi}-\chi} = KBW_{t_B}^{\tilde{\chi}} - KBW_{t_B}^{\chi}$$

mit $\Delta KBW_{t_B}^{\tilde{\chi}-\chi}$ = Barwert der Zusatzkosten durch die Verschiebung der Erhaltungsmaßnahme(n)

$KBW_{t_B}^{\chi}$ = Kosten-Barwert der Basisvariante (ursprüngliche Planung)

$KBW_{t_B}^{\tilde{\chi}}$ = Kosten-Barwert der Alternativvariante (mit Berücksichtigung der Verschiebung)

Wird lediglich die isolierte Verschiebung einer einzelnen Erhaltungsmaßnahme über einen kurzen Betrachtungszeitraum durchgeführt, so müssen zusätzlich die zukünftigen, über den Betrachtungszeitraum hinausgehenden Diskontierungseffekte einer solchen Verschiebung in der Berechnung der Zusatzkosten berücksichtigt werden. Die Zusatzkosten ergeben sich dann zu:

$$\Delta KBW_{t_B}^{\tilde{\chi}-\chi} = KBW_{t_B}^{\tilde{\chi}} - KBW_{t_B}^{\chi} + \Delta KBW_{t_B}^{B,Massn,Disk}$$

mit $\Delta KBW_{t_B}^{B,Massn,Disk}$ = Diskontierungseffekt aus der Verschiebung einer Massnahme um ΔT

Die zeitliche Verschiebung einer Massnahme hat in einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsanalyse nicht nur Einfluss auf die Höhe der einzelnen Kostenanteile, sondern bringt auch Diskontierungseffekte mit sich. Eine Verschiebung nach hinten führt durch die Diskontierung (im Normalfall) zu einer Verringerung, eine Verschiebung nach vorne (im

Normalfall) zu einer Erhöhung der Kosten. Für die Massnahmen, die in den Betrachtungszeitraum fallen, werden diese Effekte automatisch in der Kosten-Barwert-Berechnung berücksichtigt. Allerdings können die Auswirkungen einer Verschiebung einer Massnahme auch über den Betrachtungszeitraum hinaus wirksam werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn nur relativ kurze Betrachtungszeiträume untersucht werden. Die Verschiebung einer einzelnen Massnahme hat zur Folge, dass sämtliche Folge-massnahmen ebenfalls später anfallen.

Es werden hier bei der Berechnung der zukünftigen Diskontierungseffekte vereinfachend nur die direkten Massnahmenkosten des Strassenbetreibers betrachtet.

Es lassen sich die zukünftigen Diskontierungseffekte in geschlossener Form wie folgt darstellen:

$$\Delta KBW_{t_B}^{B, Massn, Disk} = \left(1 - (NDF)^{\Delta T}\right) \cdot K_0^{B, Massn, M^i} \cdot \frac{1}{(NDF)^{-t^*} - 1}$$

mit NDF = Nettodiskontierungsfaktor

$K_0^{B, Massn, M^i}$ = Betreiberkosten der Massnahme M_i zum Zeitpunkt $t=0$

t^* = Intervall in dem die Erhaltungsmassnahmen M ausgeführt werden

ΔT = Zeitintervall um das die Massnahme M^i verschoben wird

Dieser Term sollte bei kurzen Betrachtungszeiträumen als zusätzlicher Kostenanteil bei der Berechnung des Kosten-Barwerts einer Erhaltungsvariante berücksichtigt werden.

4.6.3 Bestimmung der Zusatzkosten mittels probabilistischer Simulation (aus Schlussbericht EP5)

Grundsatz

Sämtliche Eingangsgrössen der betrachteten Untersuchungen sind gewissen Unsicherheiten unterworfen. Dies gilt einerseits schon für die Parameter, die die Definition der Erhaltungsvariante betreffen (Entwicklungen auf die Strasse, Strassenzustandsentwicklung, etc.), andererseits auch für die Kostenanteile in der Bewertung der verschiedenen Erhaltungsvarianten. In einer deterministischen Betrachtung der Parameter werden diese Unsicherheiten nicht betrachtet. Somit stellt das Ergebnis lediglich den Erwartungswert dar, sagt aber nichts über die mögliche Streubreite und die Verteilung der möglichen Ergebnisse aus. Die Aussagekraft einer solchen deterministischen Betrachtung kann durch eine Sensitivitätsanalyse verbessert werden. Alternativ bietet die probabilistische Betrachtung die Möglichkeit, schon bei der Bestimmung der Ausprägungen der einzelnen Parameter die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Eingangswerte in die Berechnung einzubeziehen und somit auch eine Verteilungsfunktion der möglichen Ergebnisse als Output zu erhalten (vgl. Ang and Tang [46]).

Grundsätzlich können alle Parameter der Berechnung probabilistisch betrachtet werden. Bezüglich der Beeinflussung der Ergebnisse und der Komplexität der Betrachtung sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- Probabilistische Kostenermittlung
- Probabilistische Definition der Erhaltungsvarianten

Probabilistische Kostenermittlung

Bei der probabilistischen Kostenermittlung werden sämtlich Kostenanteile sowie deren Entwicklungsfaktoren im Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeitsverteilung zufallsverteilt betrachtet. Die einzelnen Kostenanteile werden dann durch Dichtefunktionen der Kosten dargestellt.

Grundlage für eine probabilistische Kostenermittlung ist, dass die einzelnen Kostenanteile nicht nur als fixe Kosten in Höhe ihres Erwartungswertes, sondern mit einer Streubreite (zwischen Minimum und Maximum) und einer Dichtefunktion der Wahrscheinlichkeitsverteilung betrachtet werden. Diese Angaben können entweder aus statistischen Erhebungen in der Vergangenheit oder durch Expertenschätzungen gewonnen werden.

In jedem Simulationslauf wird dann, je nachdem ob mit einem Monte Carlo Sampling oder einem Latin Hypercube Sampling gearbeitet wird, mit Hilfe einer oder zweier Zufallszahlen (Z bzw. Z_1 und Z_2) eine mögliche Ausprägung der einzelnen Kostenanteile bzw. Kostenentwicklungsindices sowie des Diskontierungszinssatzes bestimmt. Mit diesen Werten wird mittels des Kosten-Barwert-Entscheidungsmodells der Kosten-Barwert der betrachteten Erhaltungsvariante bestimmt. Dieses Ergebnis stellt ein Szenario innerhalb der Simulation dar. Mit jedem weiteren Simulationsdurchlauf wird ein weiteres Szenario entwickelt und der zugehörige Kosten-Barwert bestimmt.

Aus der Menge der Ergebnisse der Kosten-Barwertberechnung in den einzelnen Simulationsläufen ergibt sich eine Dichte und Verteilungsfunktion für den Kosten-Barwert als Gesamtergebnis der probabilistischen Simulation.

Dichtefunktion des Kosten-Barwerts nach n Simulationsdurchläufen.

$$f(KBW_{t_B, \delta}^{\chi}) = f\left(KBW_{t_B, EW}^{\chi}; \sigma_{KBW}^{\chi 2}\right) \Big|_{\delta < \infty}$$

mit $KBW_{t_B}^{\chi}$ = Kosten-Barwert der Erhaltungsvariante χ bezogen auf den Zeitpunkt t_B

$KBW_{t_B, EW}^{\chi}$ = Erwartungswert des Kosten-Barwerts der Erhaltungsvariante χ bezogen auf den Zeitpunkt t_B

$\sigma_{KBW}^{\chi 2}$ = Standardabweichung des Kosten-Barwerts der Erhaltungsvariante χ

Verteilungsfunktion des Kosten-Barwerts nach n Simulationsdurchläufen:

$$F(KBW_{t_B, \delta}^{\chi}) = \int_{KBW_{t_B, \min}^{\chi}}^{KBW_{t_B, \max}^{\chi}} f(KBW_{t_B, EW}^{\chi}; \sigma_{KBW}^{\chi 2}) dKBW_{t_B}^{\chi} \Big|_{\delta < \infty}$$

Probabilistische Definition der Erhaltungsvarianten

Bei der probabilistischen Definition einer Erhaltungsvariante werden bereits die Inputparameter des Erhaltungsmanagementmodells variabel, entsprechend einer zu erwarten-

den Dichtefunktion angesetzt. Damit erfolgt nicht nur die kostenmässige Bewertung der Erhaltungsvarianten, sondern auch deren Entwicklung auf einer probabilistischen Basis. Bei der Simulation der verschiedenen Szenarien wird dann in jedem Simulationsdurchlauf eine neue Variante der betrachteten Erhaltungsvariante entwickelt, die sich nicht nur hinsichtlich der Kosten, sondern auch hinsichtlich des Zeitpunkts und der Auswahl der Erhaltungsmassnahmen unterscheiden kann.

Folgende Inputparameter des betrachteten Systems haben Einfluss auf die Entwicklung der Erhaltungsvarianten und sind gleichzeitig hinsichtlich ihrer Ausprägung gewissen Unsicherheiten unterworfen:

- Verkehrsbelastung
- Umwelteinflüsse

Zusätzlich unterliegen auch die prognostizierten Zustandsverläufe des Strassenzustands sowie die angenommenen Auswirkungen der einzelnen Erhaltungsmassnahmen gewissen Unsicherheiten bezüglich ihrer Übereinstimmung mit der Realität.

Aus diesen Problemen bei der Abbildung der vorhandenen Unsicherheiten in Form von probabilistischen Parametern folgt, dass eine direkte Berücksichtigung dieser Einflüsse nicht möglich ist. Daher werden sämtliche die Zustandsentwicklung betreffende Unsicherheiten indirekt in den Verlaufskurven des Strassenzustands berücksichtigt. Die schon in der Definition der Verlaufskurven implizit vorhandenen Unsicherheiten, werden um die Anteile, die sich aus der Verkehrsbelastung und den Umwelteinflüssen ergeben, erhöht. Es wird also mit einer grösseren Streubreite der Verlaufskurven gerechnet und damit die Unsicherheiten bezüglich aller Systemparameter mit einkalkuliert.

Auf diese Weise werden die Einflussparameter auf den Strassenzustand, die sich nicht direkt in eine probabilistische Betrachtung integrieren lassen, indirekt berücksichtigt. Die Unsicherheiten werden dabei nicht bei ihrer Entstehung, d.h. beim Input auf das System, sondern bei ihren Auswirkungen, d.h. beim Zustandsverlauf berücksichtigt.

4.6.4 Folgerungen und Empfehlungen (aus Schlussbericht EP5)

Mechanismen der Entstehung von Zusatzkosten

Die durch eine Verschiebung einer oder mehrerer Massnahmen hervorgerufenen Zusatzkosten bestehen aus mehreren Komponenten, denen jeweils andere Mechanismen der Kostenentstehung zugrunde liegen. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass durch die Verschiebung einer Erhaltungsmassnahme, die ja zum optimalen Zeitpunkt eingeplant sein sollte, erhöhte Kosten entstehen. Dies gilt allerdings nur für die Summe der Kosten und muss nicht für alle Kostenanteile zutreffen. Einzelne Kostenanteile können durch eine Verschiebung einer Erhaltungsmassnahme durchaus geringer werden, so dass in diesem Fall negative Zusatzkosten entstehen.

Im Folgenden werden die Zusatzkosten getrennt nach den Kostenanteilen der einzelnen Stakeholdergruppen betrachtet, ausserdem wird differenziert nach Kosten im normalen Betrieb und Kosten während einer Erhaltungsmassnahme.

Betreiberkosten

Die Betreiberkosten teilen sich auf in die Massnahmekosten der durchgeführten Erhaltungsmassnahmen und die Betriebskosten des Strassenunterhalts. Eine Verschiebung einer Massnahme beeinflusst beide Kostengruppen.

Massnahmekosten

Bezüglich der Auswirkungen einer Verschiebung einer Massnahme sind drei grundsätzliche Fälle zu unterscheiden:

- Zum verschobenen Zeitpunkt kann dieselbe Massnahme, eventuell in anderem Umfang, ausgeführt werden.

- Durch die Verschiebung wird eine umfangreichere Massnahme notwendig.
- Durch die Verschiebung kann eine geringfügigere Massnahme gewählt werden.

Die Anwendbarkeit einer Massnahme wird durch den im Projekt Standardisierte Erhaltungsmassnahmen (siehe Abb. 8 und Abb. 9) festgelegten Anwendungsbereich vorgegeben. Zusammen mit dem prognostizierten Verlauf des Strassenzustands ergibt sich daraus das Zeitfenster, in dem mit einer bestimmten Erhaltungsmassnahme m_i^x gearbeitet werden kann (siehe Schlussbericht EP5). Eine weitere Verschiebung der Erhaltungsmassnahme m_i^x über die Grenzen dieses Zeitfensters macht entweder eine umfangreichere oder eine geringfügigere Erhaltungsmassnahme erforderlich.

Da sich die Anwendungsbereiche verschiedener standardisierter Erhaltungsmassnahmen überschneiden, kann es aber sein, dass die ursprünglich geplante Erhaltungsmassnahme bei einer Verschiebung innerhalb des möglichen Zeitfensters zwar noch anwendbar wäre, eine andere Erhaltungsmassnahme dann aber einen grösseren Nettonutzen hat. Es sollten also jeweils alle anwendbaren Erhaltungsmassnahmen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit im konkreten Fall überprüft werden.

Betriebskosten

Die Betriebskosten des Strassenbetreibers hängen direkt vom Strassenzustand ab, wobei sich bei zunehmender Verschlechterung des Strassenzustands eine überproportionale Zunahme der Betriebskosten ergibt (siehe Schlussbericht EP5). Dementsprechend führt jeder Aufschub einer Massnahme zu Zusatzkosten bei den Betriebskosten, da mit dem sich verschlechternden Strassenzustand die Kosten entsprechend ansteigen. Umgekehrt führt ein Vorschub zu einer Reduktion der Betriebskosten.

Die Höhe der Zusatzkosten hängt von dem Zustandsniveau ab, bei dem die Massnahme eingeplant war. Je schlechter das Zustandsniveau ist, desto grösser sind die Änderungen der Betriebskosten bei einer Verschiebung.

Nutzerkosten

Die Nutzerkosten setzen sich aus den Kostengruppen Zeitkosten, Fahrzeugbetriebskosten und Unfallkosten zusammen. Diese hängen alle vom Strassenzustand ab und steigen mit schlechter werdendem Strassenzustand an, so dass sich jeweils bei einem Aufschub einer Massnahme höhere Nutzerkosten einstellen, bei einem Vorschub verringern sich die Nutzerkosten.

Im Folgenden wird auf die einzelnen Kostengruppen der Nutzerkosten eingegangen.

Zeitkosten

Bei den Zeitkosten der Nutzer ist zu unterscheiden zwischen Zeitverlusten infolge eines schlechten Strassenzustands und damit geringerer gefahrener Geschwindigkeit und den Zeitverlusten infolge Stau im Baustellenbereich.

Im zugrunde liegenden Kostenmodell hängt die gefahrene Geschwindigkeit und damit auch die Zeitkosten von der Längsebenheit (I_2) ab. Eine Auswirkung auf die Zeitkosten ergibt sich bei der Verschiebung einer Massnahme also nur dann, wenn diese eine Änderung des Index I_2 bewirkt. Ansonsten bleiben die Zeitkosten vom Zeitpunkt der Ausführung unbeeinflusst. Die gefahrene Geschwindigkeit hängt im Modell linear vom Index I_2 ab, d.h. mit dem Aufschub einer Massnahme entstehen proportional zur Entwicklung des Index I_2 Zusatzkosten für die Nutzer, ein Vorschub hat den umgekehrten Effekt. Allerdings ist zu beachten, dass ein Einfluss des Strassenzustands auf die gefahrene Geschwindigkeit, insbesondere bei der gegebenen Geschwindigkeitsbeschränkung in der Schweiz, erst bei sehr schlechtem Strassenzustand auftritt und die Verschiebung einer Massnahme damit in den meisten Fällen keinen Einfluss auf die Gesamtkosten einer Erhaltungsvariante hat.

Die Zeitverluste infolge Stau verändern sich nur unwesentlich durch eine Verschiebung einer Massnahme, da sich lediglich der Zeitpunkt der Verkehrsbehinderung ändert. Aller-

dings kann eine sehr viel umfangreichere oder eine weniger umfangreiche Massnahme zu einer Änderung der Behinderungsdauer und damit zu einer Änderung der Zeitkosten führen.

Fahrzeugbetriebskosten

Bei den Fahrzeugbetriebskosten spielen drei Einflüsse eine Rolle, die zu entgegengesetzten Wirkungen auf die Nutzerkosten führen können. Mit einer Verschlechterung des Strassenzustands entstehen:

- Verringerte Treibstoffkosten aufgrund der geringeren gefahrenen Geschwindigkeit
- Erhöhte leistungsabhängige Fahrzeugbetriebskosten aufgrund der höheren Belastung der Fahrzeuge
- Erhöhte zeitabhängige Fahrzeugbetriebskosten aufgrund der erhöhten Reisezeit infolge geringerer Geschwindigkeit

Die Entwicklung der Treibstoffkosten und der zeitabhängigen Fahrzeugbetriebskosten hängt von der gefahrenen Geschwindigkeit ab. Zu beachten ist allerdings, dass diese beiden Kostengruppen stets gegensätzlich wirken. Eine geringere Geschwindigkeit führt auf der einen Seite zu einer Verringerung der Treibstoffkosten, auf der anderen Seite zu einer Erhöhung der zeitabhängigen Fahrzeugbetriebskosten.

Für die Entwicklung der gefahrenen Geschwindigkeit in Abhängigkeit von einer Verschiebung einer Massnahme gelten dieselben Mechanismen wie sie bei den Zeitkosten beschrieben wurden, d.h. sie ist abhängig vom Index I_2 , ein Einfluss tritt aber erst bei sehr schlechten Zustandswerten auf.

Die leistungsabhängigen Fahrzeugbetriebskosten hängen ebenfalls linear von der Längsebenheit (I_2) ab. Allerdings liegt hier direkt ab dem Neuzustand ein linearer Verlauf vor, der dazu führt, dass jede Veränderung des Index I_2 auch zu einer Veränderung der Fahrzeugbetriebskosten führt.

Insgesamt überwiegen bei den Fahrzeugbetriebskosten bei einer Verschlechterung des Strassenzustands immer die kostenerhöhenden Faktoren. Die Einsparungen bei den Treibstoffkosten wirken dem nur geringfügig entgegen. Daher entstehen bei einem Aufschub einer Massnahme immer Zusatzkosten für die Nutzer, bei einem Vorschub fallen geringere Kosten an.

Unfallkosten

Die Unfallkosten hängen im gewählten Modell ausschliesslich von der Griffigkeit (I_4) ab. Es ist also auch hier zunächst zu unterscheiden in Massnahmen, die den Index I_4 beeinflussen und solche, die keinen Einfluss auf diesen Index haben.

Da die Unfallkosten bei einer Verschlechterung des Strassenzustands überproportional ansteigen, führt ein Aufschub einer Massnahme immer zu einer deutlichen Erhöhung der Unfallkosten. Umgekehrt führt Vorschub zur Verringerung der Unfallkosten. Dieser Effekt wird im vorliegenden Modell durch den extrem flachen Verlauf der Griffigkeitsentwicklung abgeschwächt, da sich der Index I_4 innerhalb kurzer Zeitspannen kaum verändert. Dennoch haben die Unfallkosten in den durchgeführten Beispielrechnungen einen deutlichen Einfluss auf die Zusatzkosten einer Massnahmenverschiebung (siehe Schlussbericht EP5).

Kosten Dritter

Die Kosten Dritter setzen sich aus Umweltkosten (Lärmbelastung, Luftverschmutzung und Klimaeffekten) und Unfallkosten zusammen.

Sämtliche Komponenten der Umweltkosten hängen von der Fahrzeuggeschwindigkeit ab. Eine Verschlechterung des Strassenzustands führt zu einer Verringerung der möglichen Geschwindigkeit und damit auch zu einer Verringerung der Umweltkosten.

Die von Dritten zu tragenden Unfallkosten stellen einen Anteil der gesamten Unfallkosten dar. Sie verhalten sich also bei einem Vor- oder Aufschub einer Massnahme analog zu

den Unfallkosten der Nutzer (siehe oben).

Insgesamt wirken also bei den Kosten Dritter zwei Effekte einander entgegen. Bei einem Aufschub einer Massnahme erhöhen sich die Unfallkosten, was zu Zusatzkosten führt, während sich die Umweltkosten verringern. Bei einem Vorschub einer Massnahme ändern sich jeweils die Vorzeichen.

5 Erkenntnisse und Folgerungen

5.1 Grundsätzliches

5.1.1 Allgemeines

Seit Inkraftsetzung der Grundnorm SN 640 900a [1] „Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen“ sind auf den unterschiedlichsten Planungsebenen Bestrebungen zur Systematisierung, insbesondere der Zustandserfassung und -bewertung, sowie der Massnahmenplanung und -evaluation im Gange. Während die Verfahren und Vorgehensweisen bei der Zustandserhebung gemäss VSS-Normen (SN 640 925b [34], Schadenkatalog und SN 640 926 [38]) heute weitgehend systematisch und breit angewendet werden, bestehen bei den Vorgehensweisen zur Planung von Erhaltungsmassnahmen grosse Unterschiede und ebensolche Unsicherheiten. Sowohl für den Planungsablauf als auch die Bearbeitung der einzelnen Schritte fehlten bisher Grundlagen und auch Normen. Die Ergebnisse der hier vorliegenden Forschungsarbeiten liefern wesentliche und konkrete Erkenntnisse bzw. Grundlagen zur zumindest teilweisen Schliessung dieses Mankos. Weil bei diesem Forschungspaket fünf Einzelprojekte koordiniert und zeitlich parallel behandelt werden konnten, liessen sich Ergebnisse erarbeiten, die aufeinander abgestimmt in einem systematischen Planungsprozess verwendet werden können.

5.1.2 Ergebnisse aus den Einzelprojekten

Im Folgenden stichwortartig zusammengefasst ergab das Forschungspaket die sechs grundlegenden Ergebnisse:

1. Beschreibung des systematischen Prozessablaufs der Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen (vgl. 4.1) mit Hinweisen bzgl. Einschränkungen in der Anwendung (vgl. 5.1.4)
2. 75 Varianten standardisierter Erhaltungsmassnahmen für Reparatur, Instandsetzung und Erneuerung von Fahrbahnen mit Beschrieb der Anwendungseignung, quantifizierte Angaben zum Einsatz (Zustand) und zur Wirkung (Rücksetzwert) sowie zu den Kosten (vgl. 4.2)
3. Über 130 funktionale Zusammenhänge von Verhaltensmodellen zur Schadensentwicklung bestimmter Schadensmerkmale für verschiedene Strassenkategorien, Schwerverkehrsbelastungen und Ortslagen mit Hinweisen zur Anwendbarkeit mit ihren Grenzen bei der Prognose von Zustandsentwicklungen (vgl. 4.3)
4. 23 quantifizierte Substanzverlust-SN-Werte für alle Schadensmerkmale (SN 640 925b [34]) und 25 quantifizierte Substanzgewinn-SN-Werte für standardisierte Erhaltungsmassnahmen bitumenhaltiger Beläge für einen Standardoberbau von 50 cm Stärke Fundationsschicht .
5. Definition eines allgemein gültigen Referenzfalles zur Verwendung bei der monetären Bestimmung von Nutzen und Kosten von Erhaltungsmassnahmen im langen Betrachtungszeitraum.

Sieben quantifizierte Zusammenhänge für die Berechnung von Nutzen-Kosten-Verhältnissen von Folgen von Erhaltungsmassnahmen mit Kosten des baulichen Unterhalts, Reisezeit, Fahrzeugbetrieb, Unfall, Lärm, Luftverschmutzung und Klimabeeinträchtigung.

6. Definition eines Kosten-Barwert-Entscheidungsmodells zur monetären Bewertung unterschiedlicher Erhaltungsmassnahmenvarianten für einen langen Betrachtungszeitraum. Berechnungen mit diesem Modell erlauben die quantifizierte Bestimmung von Kosten bei Vor- oder Aufschieb von Erhaltungsmassnahmen.

5.1.3 Einsatz der Grundlagen im Prozessablauf der Massnahmenplanung

Die praktische Anwendung der in 5.1.2. zusammengefasst beschriebenen, im Rahmen des vorliegenden Forschungspaketes erarbeiteten Grundlagen (1. bis 6.) kann direkt in allen heute im Einsatz stehenden Prozessabläufen zur langfristigen Planung und Evaluation von Erhaltungsmassnahmen für längere Betrachtungszeiträume verwendet werden.

Innerhalb des formalisierten systematischen Prozessablaufs der Massnahmenplanung (vgl. 4.1) bilden die Grundlagen die Basis für das konkrete quantifizierte Bearbeiten und Lösen der einzelnen Planungsschritte. Die folgende Abbildung (Abb. 18) zeigt die Einsatzstellen auf.

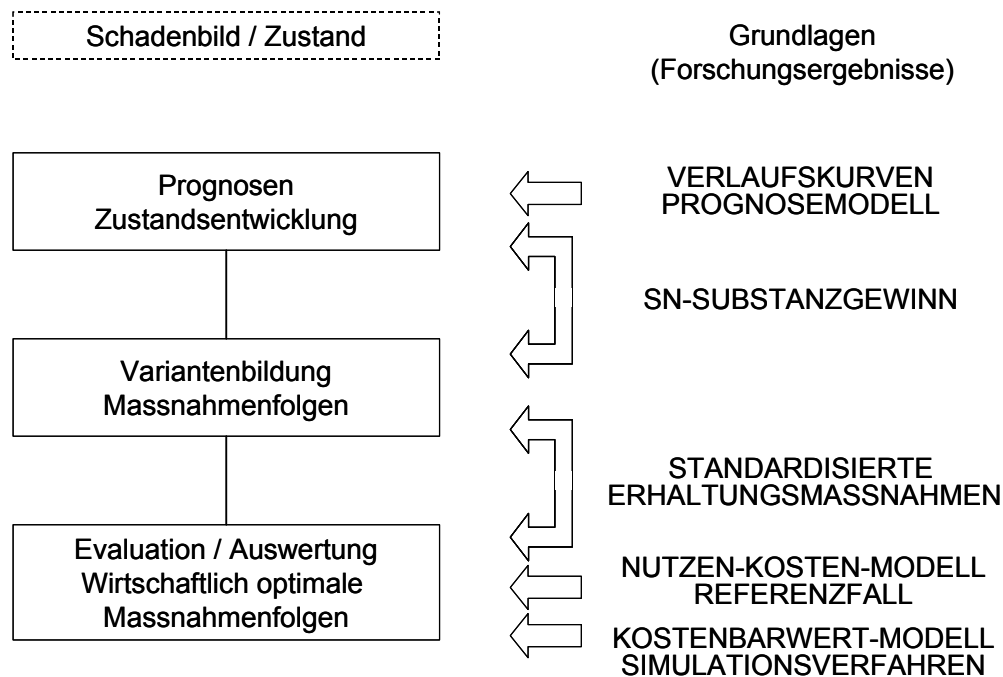


Abb. 18 Einsatz der in den Einzelprojekten 1 – 5 erarbeiteten Grundlagen im Prozessablauf der Massnahmenplanung Fahrbahnen

Während bisher die Massnahmenplanung in der Regel für kurze Betrachtungszeiträume (z.B. 2-5 Jahre) mittels Bewertung und Beurteilung des Schadensbildes und einer Schadensanalyse und der Wahl individuell auf diese Bewertung zugeschnittener Reparaturen oder Instandsetzungsmassnahmen aufgrund persönlicher Ingenieurerfahrung erfolgte, stehen jetzt fundierte Grundlagen zur Erarbeitung wirtschaftlich optimaler Lösungen zur Verfügung. Diese müssen zur Erzielung einer maximalen Wirksamkeit der finanziell einsetzbaren Mittel (Budgets bei der Planung) angewendet werden. Dies erfordert zwar einen etwas grösseren Planungsaufwand, welcher aber gemessen am finanziellen Gewinn durch die Optimierung unbedeutend ist. Im Ablauf der Bearbeitung des Forschungspaketes deutete sich indessen an, dass die Durchführung des entwickelten, formalisierten systematischen Prozessablaufs der Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement nicht in jedem Fall für alle Strassentypen, Verkehrsbelastungen und Ortslagen in der gleichen Vollständigkeit erforderlich ist. D.h. es ergeben sich möglicherweise unter bestimmten Voraussetzungen Vereinfachungen im Prozessablauf und der Anwendung der Grundlagen (vgl. 5.1.4).

5.1.4 Anwendung des systematischen Prozessablaufs

Die Forschungsergebnisse zeigen an, dass der umfassende und vollständige Einsatz der Grundlagen in den einzelnen Schritten des Prozessablaufs der Massnahmenplanung

noch nicht ganz vollständig ist. Infolge der vielen Einflüsse auf die Bestimmung wirtschaftlich optimaler Lösungen bei bedeutenden Strassen mit grossen Verkehrsbelastungen und bei ungleichförmig verlaufenden Zustandsentwicklungen der Schäden ist der vollständige Prozessablauf unter Verwendung aller Grundlagen zwingend notwendig. Bei untergeordneten Strassen mit geringen Verkehrsbelastungen und wenig Schwerverkehr lassen sich Vereinfachungen anwenden, welche anstelle der Verlaufskurven die Annahme von jährlich durchschnittlichen Substanzverlusten als Prognoseinstrument der Schadensentwicklung verwenden. Schliesslich gilt es sich zu überlegen, ob für untergeordnete Strassen, praktisch ohne Schwerverkehr, anstelle der Verwendung des systematischen Prozessablaufs nicht eine strategische Planung mit konstanten (noch zu ermittelnden) Interventionsintervallen (Zyklen) und Nivellierung eines Zustandsstandards eine noch effizientere Lösung wäre. Damit ergäben sich folgende Modelle für Prozessabläufe (Tab. 15):

Tab. 15 Mögliche Prozessabläufe in Abhängigkeit zur Bedeutung der Strassenverkehrsanlage

	Prozessablaufmodell	Anwendung
α	Prozessablauf mit vollständigem Dreischrittverfahren	Hochleistungsstrassen mit Verkehrslastklasse T4-T6 Hauptverkehrsstrasse mit Verkehrslastklasse T5-T4
β	Vereinfachter Prozessablauf mit Zweischrittverfahren	Hauptverkehrsstrassen und Verbindungsstrassen mit Verkehrslastklassen T3-T1 Innerortsstrassen mit Verkehrslastklassen T3-T1
γ	Prozessablauf mit konstanten Interventionszyklen	Verbindungsstrassen Verkehrslastklasse T1 sehr gering Sammel- und Erschliessungsstrassen innerorts

Zur Beurteilung der Einbussen an Aussagekraft und damit der quantifizierten Grössen der Verluste und Abweichungen von den wirtschaftlich optimalen Lösungen fehlen heute die Grundlagen. Sie können durch umfassende Simulationsrechnungen und Vergleich der Ergebnisse der Berechnungen mit den drei Modellarten ermittelt werden. Damit erst liessen sich fundiert abgestützte Entscheidungsgrundlagen bzgl. Einsatz vereinfachter Verfahren des Prozessablaufs der Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement finden. Da gerade diese Fragestellung heute in der Praxis häufig zu Diskussionen und Spekulationen führt, wäre eine weiterführende Untersuchung dazu nötig und dringlich.

5.2 Zustandsniveau der Fahrbahn und Schadensentwicklung bzgl. Oberfläche und Tragfähigkeit

5.2.1 Heutiges Zustandsniveau

Wie bereits bei den netzweiten Untersuchungen zum Fahrbahnzustand der Nationalstrassen in den Jahren 1999-2001 (ZEB-NS [47]) festgestellt wurde, waren die an den Zustandsmerkmalen Oberflächenschäden, Längs- und Querebenheit und Griffigkeit beurteilten Fahrbahnzustände mit überwiegender Mehrheit als gut bis sehr gut zu bewerten. Die auf Stichprobendatenmaterialien basierenden Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeiten zeigen auch für Staatsstrassen der Kantone ein recht gutes Bild, in dem die indexierten Zustandswerte für die gleichen Zustandsmerkmale im Durchschnitt bei 2 bis 2.5, also ebenfalls zumindest mittlere bis häufig gute Bewertungen aufweisen. Allerdings konnte im Rahmen der Untersuchung auch erkannt werden, dass bei den Kantonsstrassen deutlich grössere Streuungen der Werte vorliegen. Die Gründe dafür liessen sich im Rahmen dieser Studie nicht aufschlüsseln. Sie dürften aber zumindest teilweise in den fehlenden Empfehlungen (Normen) bzgl. Eingreifgrenzen bzw. -zeitpunkten liegen, welche zu grossen Unsicherheiten führen können.

Aus den durchgeführten Untersuchungen, insbesondere im Einzelprojekt 2 Verlaufskurven, zeigte sich die wichtige Erkenntnis, dass generell die Schadensentwicklungen langsamer als angenommen fortschreiten. Damit ergeben sich für viele Schadens- resp.

Zustandsverläufe flachere Abhängigkeiten zur Nutzungsdauer als erwartet.

Die in verschiedenen anderweitig durchgeführten Untersuchungen festgestellte hohe und langlebige Tragfähigkeit vor allem bei den wichtigen und damit mittel bis stark belasteten Strassen, liess sich hier bestätigen. Zurzeit scheint die Tragfähigkeit dieser Strassen keine Probleme hinsichtlich Zustandsentwicklung zu stellen. Offensichtlich wurden und werden die Strassenneubauten sowie die Instandstellungen und Erneuerungen ausreichend bis eher mehr als ausreichend dimensioniert. Die für die Schadensprognose und -entwicklung unerlässlichen Verlaufskurven, wie sie in der durchgeführten Forschungsarbeit entwickelt wurden, stellen wichtige, neue Grundlagen für die Evaluation von wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen dar. Auch wenn über 130 Verlaufskurven für die Anwendung konkreter Planungsfälle jetzt vorliegen, muss festgehalten werden, dass die Aussagekraft und -genauigkeit unterschiedlich ist. Dies zeigt sich einerseits in stark unterschiedlich erhärteten Zusammenhängen (Korrelationskoeffizienten), andererseits aber auch an der Differenzierung von Zusammenhängen z.B. bezüglich Verkehrslastklassen (T). Die Verwendung der Verlaufskurven für die Prognose der Schadens- resp. Zustandsentwicklung muss diesen Unterschied in jedem Einzelfall berücksichtigen. D.h. man kann nicht immer einen differenzierten deterministischen Zusammenhang als Modell betrachten, sondern oft muss mit einer gewissen Bandbreite (Bereich) der Entwicklung prognostiziert werden.

5.2.2 Zustandserhebung und -bewertung

Die Auswertungen in den beiden Einzelforschungsprojekten Verlaufskurven (EP2) und Zusatzauftrag Datenaufbereitung innerorts (EP2) haben erkennen lassen, dass die Fülle der zu berücksichtigenden Schadensmerkmale verbunden mit dem Ermessen der Bewertung je Merkmal häufig zu grossen Unterschieden im Gesamtergebnis des visuell erfassten Oberflächenschadens (I_1) führt. Zwei Ursachen spielten dabei eine wesentliche Rolle: Zum einen werden die Einzelschäden, bewertet mit Ausmass und Schwere, nach stark variierenden Methoden erfasst (Begehung auf Strassenoberfläche, Befahren und visuelle Schätzung aus dem Fahrzeug). Zum anderen bestehen, wenn auch nicht sehr grosse, Ermessensunterschiede je nach Aufnahmeexperte, welche sich in der grossen Anzahl von Einzelmerkmalen als Summe beträchtlich auswirken können. Sie zeigen also nicht immer in die gleiche Richtung, so dass keine Gesetzmässigkeiten erkennbar sind. Dabei bestehen offensichtliche Mängel in der Objektivität der Erhebungsergebnisse des I_1 . Bereits bei den netzweiten Untersuchungen der Oberflächenschäden auf Nationalstrassen (ZEBNS) liessen sich anhand einer speziellen Untersuchung zum I_1 ähnliche Mängel feststellen [47]. In Kenntnis dieser Mängel wurden in den letzten Jahren im In- und Ausland Verfahren entwickelt und erprobt die zwar ebenfalls auf einer visuellen Beurteilung basieren, aber systematische Bildauswertungen mit vorgegebenen Bewertungsmassstäben verwenden. Erfahrungen mit diesem Verfahren zeigen zumindest kleinere Schwankungen der Bewertungsergebnisse und stellen eine deutlich bessere Reproduzierbarkeit und damit eine höhere Objektivität dar.

Die Untersuchungen führen zur Erkenntnis, dass der Globalindex I_1 für Zustandsbewertungen welche zur Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement verwendet werden, ungeeignet ja unbrauchbar ist. Dies gilt immer dann, wenn Entwicklungen von Oberflächenschäden mittels Verlaufskurven prognostiziert werden sollen. Als geeignet für die Bewertung können jedoch die Spartenindices, wie sie in der VSS-Norm SN 640 926 [38] definiert sind, erachtet werden. Hinsichtlich Zweckmässigkeit der verschiedenen Erhaltungsmassnahmen konnten in dieser Forschungsarbeiten keine Erkenntnisse gewonnen werden. Die weitere Verwendung des Index I_1 (SN 640 925b [34]) hat ihr Berechtigung hingegen bei den untergeordneten Strassen (Gruppe γ vgl.5.1.4), insbesondere dann, wenn dieser Index als alleiniger Bewertungsmassstab verwendet wird und auf messtechnische Zustandserfassung und -bewertung verzichtet wird.

Seit Erlass der Norm zur Bestimmung von globalen Substanz- und Gebrauchswerten (SN 640 904 [35]) werden verschiedene Bewertungen als Grundlage zum Festhalten der vorhandenen Substanz resp. Gebrauchstauglichkeit von Strassenverkehrsanlagen an-

gewendet. In Rahmen der Untersuchungen des Einzelprojektes Tragfähigkeit / Oberflächenschäden (EP3) konnte via das neu entwickelte und formalisierte Verfahren der Strukturwertverluste infolge von Oberflächenschäden eine neue Quantifizierung mittels Spartenindices plus messtechnisch erfasster Zustandsgrössen, ausgedrückt in den entsprechenden Indices $I_2 - I_4$, abgeleitet werden. Es liegen dabei erste Bewertungsalgorithmen vor, allerdings noch unvollständig, so dass zuerst indexierte Gesamtauswertungen für Substanz- und Gebrauchswerte verfrüht wären. In diesem Zusammenhang bestätigt sich ebenfalls, dass der Globalindex I_1 keine Anwendung mehr findet. Diese Erkenntnisse führen zur Empfehlung, ab sofort auf die Bestimmung indexierter Substanz- und Gebrauchswerte nach dem Verfahren der SN 640 904 [35] zu verzichten bis die neuen Erkenntnisse genormt sind resp. die vorhandene Norm revidiert wurde.

5.2.3 Planung Massnahmeart und Realisierungszeitpunkt

Grundsätzlich sind Massnahmeart und Realisierungszeitpunkt in der Massnahmenplanung zwei Variablen, welche direkt miteinander verbunden sind. Wirtschaftlich optimale Massnahmenfolgen zeigen, zu welchen Zeitpunkten welche Massnahmearten am günstigsten sind, d.h. für längere Betrachtungszeiträume den grössten Nutzen bei geringsten Kosten erbringen.

Für längere Betrachtungszeiträume und grössere Strassenabschnitte (Planung auf Stufe Netzebene) lassen sich wirtschaftlich optimale Massnahmenfolgen unter Anwendung des Prozessablaufs wie er in 4.1. resp. 5.1.3. beschrieben ist, erarbeiten. Dazu werden die konkreten Grundlagen standardisierter Erhaltungsmassnahmen, Verlaufskurven, Referenzfälle, Nutzen-Kosten-Modell und Optimierungswerkzeuge zur Bestimmung aller im Einzelfall relevanten Kostenelemente sowie die Evaluationsverfahren der Kosten-Barwert-Entscheidungsmodelle gemeinsam benötigt resp. angewendet. Die im Rahmen des vorliegenden Forschungspaketes erarbeiteten diesbezüglichen Grundlagen können ab sofort direkt bei entsprechenden Massnahmeplanungen angewendet werden. Im Einzelnen sind sie konsistent, ihre Wirkung theoretisch bekannt, hingegen fehlen im Moment weitgehend entsprechende Erfahrungen bzgl. Qualität und Stabilität von unter Verwendung aller hier erarbeiteten Grundlagen bestimmten resp. berechneten Gesamtergebnissen. Sie müssen anhand von Nachrechnungen ausgeführter Erhaltungstätigkeiten sowie einfacher Simulationsanwendungen erst gewonnen werden. In erster Linie betrifft es Strassen der Gruppe α und β (gemäss 5.1.4). Hier sind auch die grössten Optimierungspotentiale vorhanden, so dass sich die Erfahrungssammlung deutlich aufdrängt.

5.2.4 Aussagekraft und Validität der Ergebnisse

Grundsätzlich führte die Forschungsarbeit zu konkreten Ergebnissen, welche einerseits direkt in der Praxis verwendet werden können und andererseits die Basis für die Schaffung von technischen Normen (VSS) im Bereich Erhaltungsmanagement (FK7) darstellen. Im Einzelnen kann die Aussagekraft und Validität wie folgt bewertet werden:

- Die erarbeiteten Kataloge der standardisierten Erhaltungsmassnahmen stammen, was die eigentlichen, technischen Massnahmen betrifft, aus der gängigen, heutigen Praxis. Sie stellen zweckmässige Erhaltungsmassnahmen zur Reparatur, Instandsetzung und Erneuerung dar (Angaben zur Eignung). Für die mittel- bis langfristige Planung der Erhaltungsmassnahmen liefern die im Rahmen des Forschungspaketes erarbeiteten Rücksetzwerte grundlegend neue, bisher unbekannte, konkrete Werte bzgl. Wirkung der Massnahmen innerhalb des Indexmassstabes des Qualitätszustandes der Anlage. Sie stellen zusammen mit den Verlaufskurven (Ergebnisse Einzelprojekt 2) die entscheidenden Grundlagen für die Variantenbildung der Erhaltung für grössere Zeiträume dar. Eine Verfeinerung der Rücksetzwerte sollte aufgrund systematischer Auswertungen von geplanten / ausgeführten Massnahmen der Praxis in der Zukunft ermöglicht werden.
- Die grosse Zahl differenzierter Verlaufskurven stellt ebenfalls ein konkretes Ergebnis dar, das bei der Beurteilung und Prognose von Schadensentwicklungen verwendet

werden kann. Damit bilden sie eine entscheidende Grundlage für die Bildung von Varianten der Massnahmenfolgen in der mittel- bis längerfristigen Erhaltungsplanung.

Die Aussagekraft der durch mathematische Zusammenhänge zwischen Schadensausmasse (Zustandsgrössen) und Alter abgebildeten Verlaufskurven gelten zwar exakt nur für die in dieser Untersuchung verwendeten Datengruppen, liefern aber durch die quantifizierte Angabe die entscheidenden zu erwartenden Arten der Schadensermittlungen für bestimmte Schadensmerkmale. Im konkreten Einzelfall stellen sie zusammen mit örtlich festgestellten Schadensentwicklungen die entscheidenden Grössen zur Prognose der zukünftigen Entwicklung bestimmter Schäden dar.

Die im Forschungsprojekt „Verlaufskurven“ abgeleiteten Verlaufskurven können aufgrund z.T. fehlender Daten nicht das ganze Feld der Schäden resp. Schadensmerkmale abdecken. Sie liefern jedoch für einen Grossteil vor allem der wichtigen Schadensmerkmale neue, bisher unbekannte, Grundlagen für die Planung von Massnahmenfolgen der Erhaltung. Die Listen der Verlaufskurven sollten in der Zukunft systematisch weiter ergänzt und die vorhandenen Verlaufskurven unter weiterem Einbezug neuer Daten verifiziert bzw. verfeinert werden.

- Die Ergebnisse hinsichtlich konkreten Verlusten an Tragfähigkeit (SN-Wert) bei bestimmten Schäden am Belag der Fahrbahnen resp. die Gewinne bei Anwendung zugehöriger Massnahmen zu bestimmten Schäden sind eine völlig neue und wertvolle Hilfe bei der Massnahmenplanung. Im Falle festgestellter Mängel der Tragfähigkeit bei schadhafte Fahrbahnen lassen sich bei der Planung der Erhaltungsmassnahmen durch Anwendung dieser neuen Grundlagen die Probleme fehlender Verlaufskurven für die Tragfähigkeit quantifiziert ersatzweise lösen. Sie stellen damit ebenfalls mit entscheidende Werkzeuge für die Massnahmenplanung dar.

Da im Rahmen des Einzelprojektes „Oberflächenschäden Tragfähigkeit“ der Einfluss der Erkenntnisse auf Substanz- und Gebrauchswert (SN 640 904 [35]) erst beispielhaft ermittelt werden konnte, sollte das in seiner Grundform entwickelte Verfahren der Quantifizierung der Substanzwertanteile weiter bearbeitet werden, so dass die Grundlagen für die Revision der SN 640 904 [35] vervollständigt werden können.

- Die im Forschungsprojekt „Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnisse“ entwickelten Definitionen für die Referenzfälle und Verfahren für die Bewertung von Nutzen stellen neue, konkret bei der Massnahmenplanung der Erhaltung von Fahrbahnen einsetzbare Grundlagen dar. Sie sind auf die bereits eingeführte neue Norm Kosten / Nutzen (SN 641 820 [28]) abgestützt und koordiniert. Die konkreten Ergebnisse zu den Kostenelementen Kosten des kleinen, baulichen Unterhalts, Reisezeitverhalten, Fahrzeugbetriebskosten, Unfallkosten, Lärmkosten, Kosten der Luftverschmutzung und klimatischen Einflüssen sind das vollständige zu berücksichtigende Paket der Kostenelemente für die monetäre Quantifizierung der Kosten und damit der Nutzen von Folgen von Erhaltungsmassnahmen einer mittel- bis längerfristigen Erhaltungsplanung. Die Aussagekraft der verschiedenen Quantifizierungswerkzeuge ist indessen sehr unterschiedlich, was bei der praktischen Anwendung mit Vorsicht zu berücksichtigen ist. Immerhin liegen, wenn auch teilweise noch mit eher theoretischem Hintergrund, für alle relevanten Kostenelemente konkrete Grundlagen vor. Sie sind auch unabdingbare Voraussetzungen für den Einsatz in den Berechnungs- und Simulationsverfahren des Einzelprojektes 5 zur Evaluation von Massnahmenfolgen. Im Bereich der noch wenig resp. ungenügend erhärteten Grundlagen Kostenelemente sind weitere vertiefte Anstrengungen (Forschung) nötig, um bzgl. Aussagekraft, Konsistenz und bzgl. Güte vergleichbare Grundlagen zu erhalten.
- Die im Forschungsprojekt erarbeiteten Grundlagen des Kosten-Barwert-Modells zeigen einen neuen Ansatz zur objektiv quantifizierten Bestimmung von Vor- oder Aufschub des Realisierungszeitpunktes von Erhaltungsmassnahmen in einer Massnahmenfolge. Auf diese Weise lassen sich die Konsequenzen resp. die Kostenfolgen im Einzelnen mit deren Auswirkungen im gesamten Kontext quantifiziert bestimmen. Hiermit wurde eine Basis zur Beurteilung von oft aus unterschiedlichen Gründen in Betracht gezogenen Verschiebungen von Erhaltungsmassnahmen vorgelegt. Die erarbeiteten Grundlagen stellen grundsätzlich den theoretischen Ansatz dar (Methodik und Verfahrensablauf). Sie müssen anhand von Fallbeispielen vertieft analysiert und verifiziert werden, was mit einem, wie Vorabklärungen ergaben, nicht zu unterschätzenden Aufwand verbunden sein dürfte. Dabei ist vor allem bei der Datenbeschaffung und -bereitstellung mit erhöhten Aufwendungen zu rechnen.

6 Empfehlungen

6.1 Grundsatz

Die in den folgenden Abschnitten konkretisierten Empfehlungen sind die eigentlichen Folgerungen aus der Bearbeitung des Forschungspaketes, der im Kapitel 5 zusammengestellten Erkenntnissen sowie den im Verlauf der Bearbeitung intensiv geführten gegenseitigen Besprechungen in der Projektleitung mit den Forschungsstellen. Sie gliedern sich aufgrund der unterschiedlich betroffenen Akteure wie folgt in Empfehlungen:

- für die direkte Praxisanwendung
- für das Normungswesen (VSS)
- für die Durchführung weiterer Abklärungen und
- bzgl. erforderlicher weiterer Forschung.

6.2 Empfehlungen für die direkte Praxisanwendung

6.2.1 Planungsprozess

Aus der Forschungsarbeit geht hervor, dass die Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement auf Netzebene grundsätzlich nach drei verschiedenen Prozessabläufen durchgeführt werden kann. Die drei Vorgehensweisen α , β und γ bei der Erhaltungsplanung (vgl. 5.1.4) bezwecken, nur die beim entsprechenden Planungsprozess notwendigen und hinreichenden Verfahren und Grundlagen aus ökonomischer Sicht einzusetzen resp. zu verwenden. Diese Differenzierung trägt der Relevanz bestimmter Grössen und Grundlagen sowie der Anforderungen an die Aussagekraft und Genauigkeit des gesuchten Ergebnisses vollumfänglich Rechnung. Dabei sind die Bedürfnisse und Randbedingungen der Nachhaltigkeit und Verkehrssicherheit mit berücksichtigt.

Planungsprozess α für Hochleistungs- und Hauptverkehrsstrassen

Massnahmenplanung mit Verlaufskurven der Schadensentwicklung und Evaluation wirtschaftlicher Massnahmenfolgen (vgl. 4.1 und 5.1.4)

Planungsprozess β für Nebenstrassen a.o. und i.o.

Massnahmenplanung mit vereinfachter Zustandserfassung, Wertverzehr und Standardmassnahmen (vgl. SN 640 986 [48])

Planungsprozess γ für untergeordnete Sammel- und Erschliessungsstrassen

Massnahmenplanung mit „festen“ Erhaltungszyklen und Standardmassnahmen (Bedarfs- resp. Strategieplanung)

Die Umsetzung und Anwendung der drei Verfahren bzw. deren Kombinationen auf realen Strassennetzen von Kantonen, Gemeinden, Städten und Dörfern bedarf noch einer näheren, detaillierteren Abklärung.

6.2.2 Zustandsbewertung mit Indices

Der in der VSS-Norm SN 640 925b [34] (und SN 640 904 [35]) definierte Globalindex für Oberflächenschäden ist für die Festlegung von Massnahmen ungeeignet und sollte in Zukunft für diese Aufgabe nicht mehr verwendet werden. Neu sollten nur noch die Spartenindices des Index I_1 zur Festlegung (Wahl) von technischen Erhaltungsmassnahmen eingesetzt werden. Ebenso verliert I_0 damit seine Bedeutung und soll ersatzlos gestrichen werden.

Der Globalindex I_1 eignet sich höchstens noch zur Darstellung grober netzweise aufgezeigter Zustandsniveaus als Übersicht.

6.2.3 Verlaufskurven der Schadensprozesse

Die Durchführung der deterministisch mit Verlaufskurven definierten Schadensprognose erfolgt mit mathematisch formulierten Modellen der Schadensentwicklung. Wo möglich sind die vorliegenden konkreten Verlaufskurven zu verwenden, mit dem Anspruch, dass alle im Einzelfall vorliegenden Zustandswerte zusammen mit der entsprechenden Verlaufskurve für die Prognose zu berücksichtigen sind. Die z.T. unterschiedliche Aussagekraft der Verlaufskurven ist bei der praktischen Anwendung einzubeziehen (vgl. 4.2 und 5.5.2).

6.2.4 Indexwerte Substanz- und Gebrauchswert

Die in der SN 640 904 [35] festgelegten Berechnungsverfahren für den indexierten Substanz- und Gebrauchswert gelten durch die Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit als überholt und sollten nicht mehr angewendet werden. Sie müssen aufgrund der Erkenntnisse dieser Forschungsarbeit sowie zusätzlicher Abklärungen (ev. weitere Forschungsarbeit) neu definiert werden (Revision SN 640 904 [35]).

6.3 Empfehlungen für das Normungswesen (VSS)

6.3.1 Grundsätzliches

Die Normung im Bereich Erhaltungsmanagement ist einerseits noch im Aufbau, obwohl heute ein guter Grundstock an Normen vorhanden ist. Andererseits steht das Erhaltungsmanagement in der Praxis vielerorts (z.B. in Verwaltungen und Tiefbau- und Bauämtern) in einer fachlichen Entwicklungsphase und ist damit einem laufenden Wandel unterworfen.

Während im Bereich Fahrbahnen die Entwicklung und der Erlass von Normen einen guten Zwischenstand erreicht haben, sind die Bestrebungen in den Bereichen Kunstbauten und Technische Ausrüstungen noch in der Anfangsphase (vgl. Normungskonzept FK7, Anhang). Für Tätigkeiten im Bereich Fahrbahnen stehen Normen zu den folgenden Normgruppen zur Verfügung:

- Zustandserhebung und -bewertung: SN 640 925b, SN 640 926, SN 640 904, SN 640 510, SN 640 511
- Technische Massnahmen der Reparatur, Instandsetzung, Erneuerung und Verstärkung: SN 640 730b bis SN 640 736
- Einzelnormen zur Erhaltungsstrategie, Kosten und zur Werterhaltung: SN 640 931, SN 640 907, SN 640 986.

Es fehlen bis heute insbesondere Normen zum Bereich Massnahmenplanung Fahrbahnen inkl. der Bewertung und Evaluation von Massnahmen (wirtschaftlich optimale Massnahmenfolgen). Das hier abgeschlossene Forschungspaket Massnahmenplanung Fahrbahnen liefert neue, praxisnahe Grundlagen welche eine Basis für entsprechende Normungen darstellen. Das Forschungspaket hat aber zudem zu wesentlichen Erkenntnissen geführt, welche Ansätze und Bedürfnisse zur Revision von bestehenden Normen zeigen. Die folgenden Abschnitte zeigen im Sinne von Empfehlungen die Möglichkeiten und Bedürfnisse für die Normung im Bereich der Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement in der nahen Zukunft auf.

6.3.2 Neue Norm: Prozessablauf Massnahmenplanung Fahrbahnen

Die zurzeit in Entwicklung und Ausarbeitung stehende Grundnorm SN 640 920 [49], Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement sollte in ihrer weiteren Bearbeitung im Lichte der neuen Erkenntnisse des vorliegenden Forschungsauftrages über-

prüft und wo nötig angepasst werden. Es betrifft dies, die

- Differenzierung des Prozessablaufes der Massnahmenplanung; möglicherweise Einführung der Fälle α , β und γ (vgl. 5.1.4.), d.h. von Erhaltungsstrategien.

Gleichzeitig ist zu prüfen, ob diese Prozessabläufe in einem Anhang zu SN 640 920 oder in einer neuen Norm beschrieben und definiert werden sollen.

6.3.3 Neue Norm: Standardmassnahmen

Anhand der erarbeiteten Grundlagen zum Einsatz und zur Verwendung standardisierter Erhaltungsmassnahmen der Reparatur, Instandsetzung und Erneuerung bei der Massnahmenplanung wird empfohlen, eine vollständig neue Norm mit Standardmassnahmen für bitumenhaltige Oberbauten und für Betonoberbauten zu entwickeln (vgl. auch 4.2 und 5.1.2). Ihr möglicher Platz wäre SN 640 921. Dabei bedarf es noch einer sorgfältigen Abstimmung mit den Normen SN 640 731, 732, 735 und 736 [13].

6.3.4 Neue Norm: Zustandsprognose

Aufgrund der Ergebnisse im Einzelforschungsprojekt „Schadensprozesse“ und der dortigen Erkenntnisse bzgl. Verwendung von Verlaufskurven wird empfohlen eine neue Norm „Zustandsprognosen“ zu entwickeln. Sie soll einerseits die quantifiziert formulierten Zusammenhänge zwischen Schadensmerkmal und Alter mitsamt Anwendungsbereich und Einschränkungen zeigen. Andererseits soll die grundsätzliche Methodik zur Anwendung der Verlaufskurven neu dargestellt werden (vgl. auch 4.3, 5.1.2 und 5.2.1). Nebst der Methodik Verlaufskurven soll die vereinfachte Verwendung von linearen Wertverzehren (vgl. SN 640 986 [48]) Eingang in diese Norm finden. Der mögliche Platz der neuen Norm wäre entweder SN 640 522 oder SN 640 627 mit Vorzug bei 522.

6.3.5 Neue Norm: Evaluation von Massnahmenfolgen

Die Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit, sowie die bekannten Erkenntnisse aus der Literatur (und teilweise aus dem Forschungsauftrag „Optimierung“ [50]) stellen eine gute Basis zur Entwicklung einer neuen Norm Evaluation von Massnahmenfolgen dar. Dabei sind vor allem die im Rahmen der Einzelprojekte 4 und 5 entwickelten Verfahren der Nutzen-Kosten-Methoden und insbesondere des Kosten-Barwert-Entscheidungsmodells hinsichtlich Methodik und Anwendung wichtige Grundlagen. Als weitere Verfahren sollten der AHP (Analytischer-Hierarchie-Prozess) und das Verfahren des multikriteriellen analytischen Hierarchieprozesses (MAHP) aufgenommen werden. Diese Verfahren eignen sich besonders gut für die Evaluation von Massnahmenfolgen zur objektiven Bestimmung wirtschaftlich optimaler Massnahmen. Ein möglicher Platz der Norm könnte SN 640 924 sein.

6.3.6 Revision SN 640 925b

Die Forschungsarbeit hat zu verschiedenen Erkenntnissen geführt, die eine Revision der Norm Zustandserhebung und -bewertung (SN 640 925b [34]) empfehlen. Es ist in diesem Zusammenhang die Abkehr resp. der Verzicht auf den I_1 zu prüfen mit der Einschränkung, dass der I_1 wohl noch für die globale, netzbezogene Gesamtdarstellung von Oberflächenschäden ev. weiterverwendet werden könnte (vgl. auch 5.2). Dabei ist die Frage allfällig neuer, zusammengefasster Indices (z.B. aus Spartenindices oder aus den weiter verwendbaren Indices I_1 bis I_5) zu klären.

6.3.7 Revision SN 640 904

Die vorliegende Forschungsarbeit hat wesentliche neue Erkenntnisse zur Bewertung der Oberflächenschäden, insbesondere bzgl. Tragfähigkeit, hervorgebracht (vgl. 4.3). Diese Erkenntnisse erfordern zwingend eine Revision der Werte-Festlegungen bzgl. Berechnung indexierter Substanz- und Gebrauchswerte. Es ist zu prüfen, ob zur Revision dieser Norm nebst den bisher vorliegenden noch weitere Grundlagen erarbeitet werden müssen resp. ob dazu ein kleiner Forschungsauftrag erforderlich sein würde. Es wird empfohlen, via Ausgabe eines Klebers auf den Verzicht der Verwendung der in der Norm aufgeführten Berechnungsart indexierter Substanz- und Gebrauchswerte hinzuweisen.

6.3.8 Revision SN 640 907

Die Erkenntnisse aus dem Einzelforschungsprojekt 4 machen eine Revision der SN 640 907 nötig. Es ist zu prüfen, ob die Methodik der Nutzenermittlung von Erhaltungs-massnahmen in diese zu überarbeitende Norm aufgenommen werden soll. Die erarbeiteten neuen Grundlagen zu den Nutzerkosten und Kosten Dritter (Kostensätze) sollten vorzugsweise in das Normpaket „Kosten“ der FK2 aufgenommen werden.

6.4 Empfehlungen bzgl. weiterer Abklärungen

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurden bei den Einzelprojekten 4 und 5 Grundlagen erarbeitet, die – wie bereits an den entsprechenden Stellen im Bericht erwähnt – einer praktischen Verifizierung anhand von Beispielberechnungen unterworfen werden sollten. Da der Aufwand für die Datenerfassung und -aufbereitung beträchtlich ist, sollten diese Arbeiten entweder in einem direkten Anschlussauftrag zum vorliegenden Forschungspaket oder in einem neuen Forschungsauftrag in die Wege geleitet werden. Diese Anwendungsüberprüfung ist dringend notwendig, liess sich aber nicht mehr im Forschungspaket realisieren. Diese Verifizierung ist für die Erarbeitung der Normen von entscheidender Bedeutung.

6.5 Empfehlungen für neue Forschungsarbeiten

Aus den Erkenntnissen und Folgerungen sowie den Empfehlungen haben sich bzgl. Anwendung der hier erarbeiteten Grundlagen in einer systematischen Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement einige wenige noch offene Lücken herauskristallisiert. Ihre Bedeutung konnte erst im Rahmen der Erarbeitung des vorliegenden Forschungspaketes konkret erkannt werden. Dazu sind weitere Forschungsarbeiten angezeigt, so dass sämtliche erforderliche Grundlagen vollständig vorliegen und dazu auch entsprechende Werkzeuge (Normen) für den Anwender zur Verfügung stehen.

Es betrifft dies folgende Forschungsthemen, welche im Einzelnen noch konkretisiert und abgegrenzt werden müssen:

- Umsetzung und Anwendung der Verfahren der Massnahmenplanung auf unterschiedlichen Strassennetzstrukturen (Kantonsstrassen, Städte, Gemeinden).
- Verfahren zur Bildung homogener Abschnitte unter Berücksichtigung der Anwendungsbereiche (Hochleistungsstrassen, Hauptverkehrsstrassen ausserorts, Hauptverkehrsstrassen innerorts, Nebenstrassen innerorts, Sammel- und Erschliessungsstrassen innerorts).
- Verfahren und Anwendung von Erhaltungsstrategien zur Bildung von Varianten von Massnahmenfolgen für mittlere und längere Betrachtungszeiträume.
- Systematische wissenschaftliche Auswertung und Analyse der Ergebnisse der dritten Zustandserhebung und -bewertung der Schweizer Nationalstrassen (ZEB-NS 3). Er-

forschung der Zustandsentwicklungen für die verschiedenen Schadensmerkmale (Zustandsindices) aus den drei Erhebungen ZEB-NS 1 [47], ZEB-NS 2 und ZEB-NS 3.

- Erforschung der offenen Fragen und Problemstellungen der Eingreifzeitpunkte (Dringlichkeit, Notwendigkeit, Quantifizierung, Differenzierung nach Schadensmerkmalen, globale Eingreifzeitpunkte etc.).

Die Bearbeitung dieser vier Forschungsthemen wird zur Schliessung der Lücken der Grundlagen für eine systematische Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement als notwendig erachtet. Es wird deshalb empfohlen sich umgehend diesen Themen anzunehmen (FK7) und die allfälligen Forschungsarbeiten auszuschreiben.

6.6 Empfehlungen zur Durchführung von Forschungspaketen

Als Schlussbemerkung sei hier ausdrücklich auf die hohe Eignung der Durchführung und Abwicklung von Forschungspaketen hingewiesen. Die Bearbeitung des durchgeführten Forschungspaketes Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen hat folgendes gezeigt:

- Die Paketbildung bei verwandten bzw. sich ergänzenden Einzelprojekten ermöglicht die Behandlung ganzer Fragenkomplexe in Einem. Damit wird auch die Gefahr von parallel laufenden ähnlichen Forschungsprojekten vermindert.
- Die Zeitersparnisse bei Durchführung von Einzelprojekten in einem Paket sind enorm hoch. Im vorliegenden Fall dürfte eine Verkürzung der Bearbeitungszeit um mehr als die Hälfte erreicht worden sein, d.h. zwei bis drei Jahre bei einer Bearbeitungszeit des Paketes von drei Jahren.
- Bei gleichzeitigem Vorliegen von im Zusammenhang stehenden Ergebnissen aus Einzelprojekten resultiert ein nicht zu unterschätzender Mehrwert, weil damit ein Wissensschub verbunden ist, der direkt in der Praxis verwendet werden kann.
- Die Erfahrung mit dem vorliegenden Forschungspaket weist infolge gleichzeitiger, intensiver und koordinierter Bearbeitung einen grossen und nachhaltigen Synergieeffekt hinsichtlich Ergebnissen aus.
- Bei gleichzeitiger, koordinierter Bearbeitung eines Forschungsthemas via verschiedene Einzelprojekte dürfte aufgrund selbstregulierender Effekte zwischen den Projektleitern und gegenseitiger Einfluss- resp. Korrekturmöglichkeiten das Nutzen-Kosten-Verhältnis der Forschungsarbeit erheblich höher resp. besser ausfallen.

Es bedingt einiger Vorbereitung, um eine ganz deutliche Effizienzsteigerung und einen Qualitätsgewinn bei Forschungsarbeiten, die im Paket koordiniert erarbeitet werden, zu erzielen. Es seien an dieser Stelle nur gerade die Wichtigsten erwähnt:

- Die Vorbereitung von Forschungspaketen erfordert – wie das heute bereits praktiziert wird – ein sog. Initialprojekt. Im vorliegenden Fall fehlte dies, wodurch ein beträchtlicher, nicht abgegoltener Aufwand entstand. Das Initialprojekt, welches die Einzelprojekte klar umschreibt und abgrenzt, ist entscheidend für das Gelingen des Gesamtpaketes und das Erreichen der anvisierten hohen Effizienz.
- Ebenfalls entscheidende Voraussetzung für erfolgreiche Forschungspakete ist die Position des Gesamtprojektleiters. Da es im Besonderen um die fachliche Koordination und laufende Abstimmung der Projekte untereinander geht, sind hohe Ansprüche an die Fachkompetenz des Gesamtprojektleiters gestellt. Die administrativen Belange sind einfach und stellen geringe Anforderungen. Aus diesem Grunde ist der Evaluation von Gesamtprojektleitern entsprechende Beachtung zu schenken. Es dürfte grundsätzlich schwierig sein, solche zu finden.
- Wie dieses Forschungsprojekt klar gezeigt hat, war der Aufwand für die koordinierte, gleichzeitige Gesamtleitung des Projekts mit offensichtlich unterschätztem Aufwand verbunden. Auch wenn durch das Initialprojekt die Aufwendungen für die Vorbereitung eines Forschungspaketes geregelt werden, sind für die Durchführung der Gesamtprojektleitung ausreichende Mittel zu budgetieren. Bei Einsatz eines geeigneten Gesamtprojektleiters dürften sich die Aufwendungen mehr als lohnen.

Zusammengefasst erweisen sich Forschungspakete als ausdrücklich zweckmässig für die Bearbeitung von Forschungsthemen oder Teilen davon. Die Durchführung in Paketen sollte Standard werden und Einzelprojekte nur noch in Ausnahmen bewilligt werden.

6.7 Ergebnisse und Erkenntnisse auf einen Blick (Kurzzusammenfassung)

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht sämtlicher Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen auf einen Blick.

Tab. 16 Ergebnisse und Erkenntnisse des Forschungspaketes Massnahmenplanung Fahrbahnen

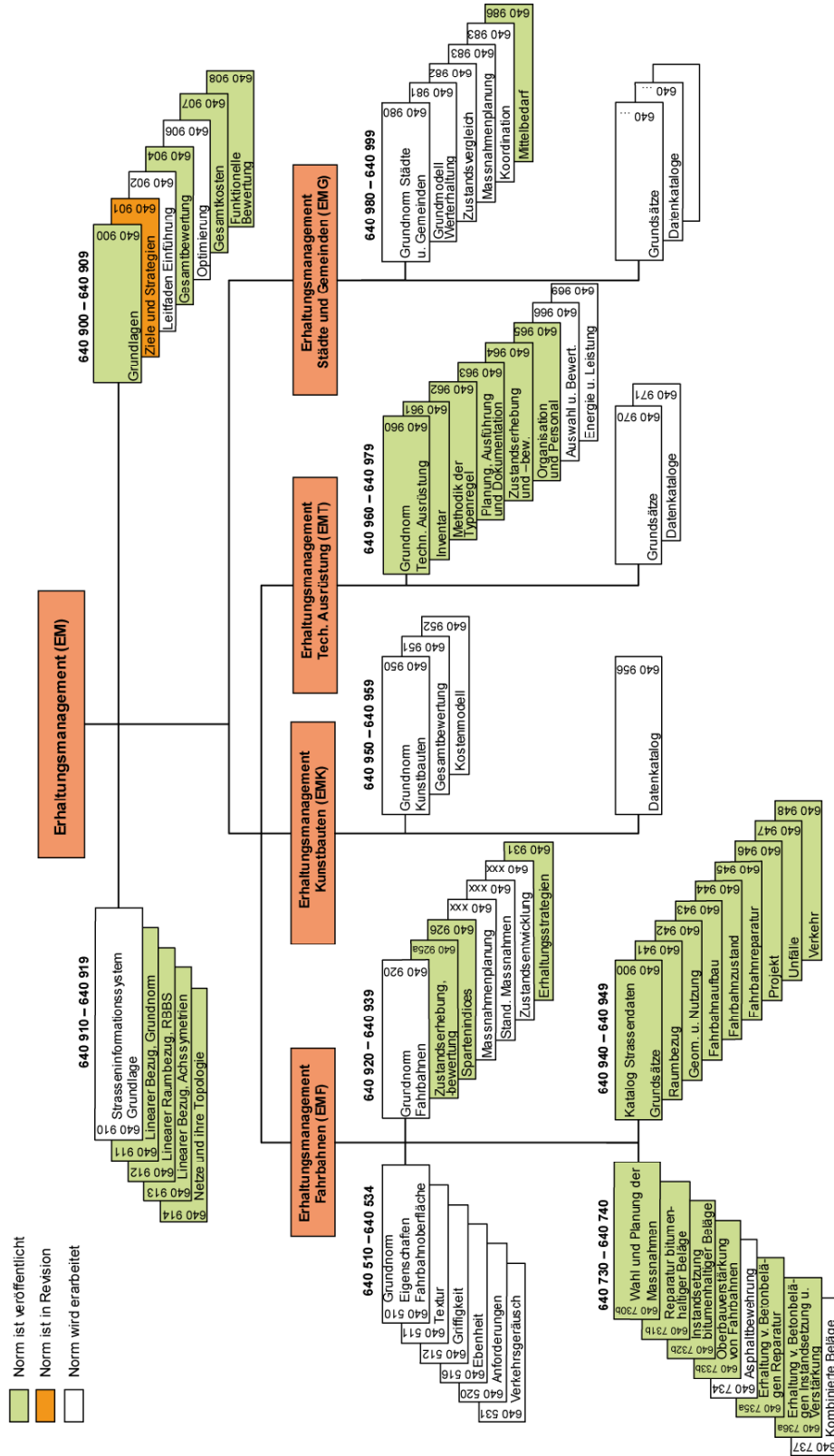
Einzelprojekte		Ergebnisse und Grundlagen	Anwendung	Weitere Abklärungen	Normung
Syn.	Massnahmenplanung Fahrbahnen	Formalisierter, systematischer Planungs- und Prozessablauf	Erhaltungsmanagement von grossen Strassennetzen bedeutender Strassen	Umsetzung und Anwendung auf unterschiedlichen Strassennetzstrukturen	Integration in SN 640 920 (neu)
EP1	Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	75 Standardmassnahmen für Reparatur, Instandsetzung, Erneuerung mit Einsatzbereich, Wirkung und Kosten für die bitumenhaltigen und Betonoberbauten	Sofortmassnahmen Massnahmenplanung und Massnahmeevaluation	Langzeitliche Validierung der Rücksetzwerte	Neuerarbeitung SN 640 921, Revision SN 640 925b [34]
EP2	Schadensprozesse und Zustandsverläufe	>130 Verhaltenskurven für Kenngrößen der Schadensmerkmale für HLS / HVS inner- und ausserorts	Prognosen der Schadensentwicklung in der Massnahmenplanung	Langzeitliche Ergänzung der Kataloge der Verhaltenskurven	Neuerarbeitung SN 640 922, Revision SN 640 925b [34]
EP3	Oberflächenschäden und Tragfähigkeit	23 Substanzverlustwerte für Oberflächenschäden und 25 Substanzgewinnwerte für standardisierte Massnahmen	Bestimmung globaler Substanzwerte zur Anlagebewertung	Ergänzung der fehlenden Substanzwert-Algorithmen	Revision SN 640 904 [35]
EP4	Gesamtnutzen Kosten-Nutzen-Verhältnis von Erhaltungsmassnahmen	Kosten/Nutzen-Modell mit definiertem Referenzfall für die Massnahmenplanung, Kostensätze Betreiber, Nutzer, Dritte	Bestimmung Nutzen-Kosten-Verhältnis von Massnahmenfolgen – Grundlage für Evaluation	Verfeinerung Kosten Dritter - Validierung an realen Beispielen	Revision SN 640 907 [36]
EP5	Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell	Zusatzkosten bei Vor-/Aufschub von Massnahmen, Kosten-Barwert-Entscheidungsmodell	Evaluation von Massnahmenfolgen für längere Betrachtungszeiträume	Validierung und Verfeinerung an Praxisbeispielen	Integration in SN 640 906 (neu)

Anhang

Gliederung der Normen FK7 93

Gliederung der Normen FK7

Erhaltungsmanagement



Version vom 21. Juni 2007

Abb. A.1 Struktur der Normgliederung FK7

Literaturverzeichnis

-
- [1] Schweizer Normen. SN 640 900a (2004). Erhaltungsmanagement, Grundnorm. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [2] Dieterle, R. (2003). Erhaltung der Nationalstrassenwerke. Referat an der Fachtagung FK7 (VSS), Casino Bern, 14.09.2003, ASTRA, Bern
-
- [3] Pavement and Structure Management Systems (1998). Summary of the results of the RIMES questionnaire, Rimes Infrastructure Maintenance Evaluation Study. University of Birmingham (UK), COWI Consulting Engineers (DK), Scetauroute (FR), Pavement Management Services Ltd. (IRL), Finna (FI)
-
- [4] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen FGSV (2001). Arbeitsausschuss Systematik der Strassenerhaltung, Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Strassenbefestigungen RPE-Stra 01.
-
- [5] Litzka, J., A. Weninger-Vycudil, M. Wistuba (1999). Wissenschaftliche Vorarbeiten für die Umsetzung eines Pavement Management Systems in Österreich. TU Wien, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Mitteilungen Heft Nr. 10, Wien
-
- [6] ASTRA (2001). Bundesamt für Strassen; Unterhaltsplanung Nationalstrassen (UplaNS). UplaNS-Info 1999-2001, Bern
-
- [7] Hussain-Khan, M., J.D. Burnat, B. Collaud (1997). Système informatisé de gestion des chaussées, Rechnergestütztes Management der Fahrbahnerhaltung. Vereinigung schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Office des routes cantonales, Canton de Neuchâtel, Heft 390
-
- [8] Rafi, A. (1998). Einführung des Konzeptes Management der Strassenerhaltung (MSE) für das National- und Kantonsstrassennetz Graubünden, Phase: Massnahmenplanung und Dringlichkeitsreihung. Zürich, Chur
-
- [9] Canton de Fribourg (1996). Système de gestion de l'entretien (SGE), Proposition pour une méthode de priorisation des objects. Bureau des Autoroutes, Département des Ponts et Chaussées, Freiburg
-
- [10] Kanton Solothurn (2004) Werterhaltung Kantonsstrassen, Studie Erhaltungsbedarf. Amt für Verkehr und Tiefbau, Solothurn
-
- [11] Bürgi, M. (2003). Werterhaltung im Stadtstrassennetz am Beispiel Zürich. Strasse und Verkehr, Schweiz. Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 9, 15-22, Zürich
-
- [12] Minikus, C., H.J. Frey et al. (2003). Management der Strassenerhaltung für Strassennetze in Gemeinden und Städten. Schlussbericht VSS 1999/295, Schriftenreihe 1049, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern
-
- [13] Schweizer Normen. SN 640 730b-736 (1997). Erhaltung von Fahrbahnen. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [14] HDM-4, Bennett, C. R. (2000). Reference books, Overview of HDM-4. University of Birmingham, UK
-
- [15] COST 343 (2003). Reduction in Road Closures by Improved Pavement Maintenance Procedures. European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, Brussels
-
- [16] VIAGROUP, ViaPMS (1998). Benutzerhandbuch. Winterthur
-
- [17] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (2001). RPE-Stra 01, Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen. Ausgabe 2001, FGSV-Verlag, FGSV-Nr. 988, Köln
-
- [18] A. Weninger-Vycudil (2003). Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System. TU Wien, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Mitteilungen Heft Nr. 14, Wien
-
- [19] Shahin M.Y., S.D. Kohn, et al (1985). Pavement M&R Budget Optimization Using the Incremental Benefit-Cost Technique. Proceedings of the North American Pavement Management Conference, Toronto, ON
-
- [20] Small, E. (1998). Integration of Bridge and Pavement Management Systems. US Dept. Of Transportation, FHWA, USA
-
- [21] Cafasio, S., A. Graziano, H.R. Kerali, J.B. Odoki (2002). Multicriteria Analysis Method for Pavement Maintenance Management. Transportation Research Record, 1816, 73-84
-
- [22] Hajdin, R., H.P. Lindenmann (2007). An algorithm for the planning of optimal highway work zones. Journal of Infrastructure Systems, 13 (3), 47-60, ASCE, Reston, USA
-

-
- [23] VSS-Fachkommission 7 Erhaltungsmanagement (2004). Ausschreibung Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen. *Strasse und Verkehr*, 9, 41-46, Zürich
-
- [24] Schweizer Normen. SN 641 001-3 (2003). Forschungsprojekte VSS, Beurteilungskriterien. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [25] Schweizer Normen. SN 641 001-4 (2002). Forschungsprojekte, Ausschreibung. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [26] Schweizer Normen. SN 641 001-5 (2003). Forschungsprojekte VSS, Evaluation. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [27] Schweizer Normen. SN 640 324a (1997). Dimensionierung Strassenoberbau. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [28] Schweizer Normen. SN 641 820 (2006). Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [29] Gnehm, V. (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Standardisierte Erhaltungsmassnahmen. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP1), VSS, Zürich
-
- [30] Scazziga, I. (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Schadensprozesse und Zustandsverläufe. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP2), VSS, Zürich
-
- [31] Jacot, A. (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP3), VSS, Zürich
-
- [32] Lüking, J., B. Adey, et al (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP4), VSS, Zürich
-
- [33] Girmscheid, G., A. Fastrich (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP5), VSS, Zürich
-
- [34] Schweizer Normen. SN 640 925b (2003). Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF) – Zustanderhebung und Indexbewertung. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [35] Schweizer Normen. SN 640 904 (2003). Gesamtbewertung von Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [36] Schweizer Normen. SN 640 907 (2003). Erhaltungsmanagement (EM) – Grundlagen zur Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [37] NPK Tief- und Untertagebau 223D/05 Belagsarbeiten. CRB, Zürich
-
- [38] Schweizer Normen. SN 640 926 (2004). Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF), Visuelle Zustandserfassung: Einzelindizes. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [39] Schweizer Normen. SN 641 820ff (2004-2007). Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [40] Schweizer Normen. SN 641 821 (2006). Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr – Diskontsatz. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [41] OANDA (2007). www.oanda.com
-
- [42] Bundesamt für Statistik BfS (2007). Landesindex der Konsumentenpreise. 2007 www.portal-stat.admin.ch/lik_rechner/d/lik_rechner.htm
-
- [43] Schweizerischer Baumeisterverband (2006). Produktionskosten-Index. Schweizerischer Baumeisterverband, Technisch-Betriebswirtschaftliche Abteilung, Zürich
-
- [44] Abay, G. (2006). Diskontsatz in Kosten-Nutzen-Analysen im Verkehr. Rapp Trans AG (Schweiz), Eidgenössisches Departement für Umwelt Verkehr Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen, Bern
-
- [45] Schweizerische Nationalbank (SNB) (2008). Statistisches Monatsheft Februar 2008. Zürich
-
- [46] Ang, H.-S., W. H. Tang (2006). Probability concepts in engineering emphasis on applications to civil and environmental engineering. 2nd ed. Hoboken: Wiley
-
- [47] Bundesamt für Strassen ASTRA (2003). Zustandserfassung und -bewertung Nationalstrassen (Fahrbahnen) ZEB-NS (1999-2002). Schlussbericht, Bundesamt für Strassen, Infrastruktur, Unterhaltstechnik und Oberbau, Bern
-

-
- [48] Schweizer Normen. SN 640 986 (2006). Erhaltungsmanagement in Städten und Gemeinden – Durchschnittlicher jährlicher Mittelbedarf für die Erhaltung von Strassennetzen. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [49] Schweizer Normen. SN 640 920 (2009). Erhaltungsmanagement Fahrbahnen, Grundnorm. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-
- [50] Rafi, A., R. Hajdin, U. Welte (2005). Optimierungsprozesse im Management der Strassen-erhaltung (MSE). Forschungsbericht Nr. 1109, Forschungsauftrag VSS 1999/293 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 12.12.2008

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2004/710

Projekttitel: Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement. Fahrbahnen, Synthesebericht

Enddatum: 12.12.2008

Projektleiter

Name:

Amt, Firma, Institut:

Strasse, Nr.:

PLZ:

Ort:

Kanton, Land:

Texte:

Zusammenfassung der
Projektresultate:

Der Synthesebericht fasst die unter der Gesamtprojektleitung koordiniert erarbeiteten Resultate der fünf Einzelprojekte des Forschungspaketes zusammen. Das Gesamtprojekt (VSS 2004/710-716) führte zu folgenden sechs grundlegenden Projektresultaten:

1. Beschreibung des systematischen Prozessablaufs der Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen mit Hinweisen bzgl. Einschränkungen in der Anwendung
2. 75 Varianten standardisierter Erhaltungsmassnahmen für Reparatur, Instandsetzung und Erneuerung von Fahrbahnen mit Beschrieb der Anwendungseignung, quantifizierte Angaben zum Einsatz (Zustand) und zur Wirkung (Rücksetzwert) sowie zu den Kosten
3. Über 130 funktionale Zusammenhänge von Verhaltensmodellen zur Schadensentwicklung bestimmter Schadensmerkmale für verschiedene Strassenkategorien, unterschiedliche Schwerverkehrsbelastungen und Ortslagen mit Hinweisen zur Anwendbarkeit mit ihren Grenzen bei der Prognose von Zustandsentwicklungen
4. 23 quantifizierte Substanzverlust-SN-Werte für alle Schadensmerkmale (SN 640 925b) und 25 quantifizierte Substanzgewinn-SN-Werte für standardisierte Erhaltungsmassnahmen bitumenhaltiger Beläge für einen Standardoberbau von 50 cm Stärke Fundationsschicht.
5. Definition eines allgemein gültigen Referenzfalles zur Verwendung bei der monetären Bestim-

ARAMIS SBT: ARAMIS_Nr3_Projektabschluss_ohnePL_.doc

Seite 1 / 8



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA

	<p>mung von Nutzen und Kosten von Erhaltungsmaßnahmen im langen Betrachtungszeitraum.</p> <p>Sieben quantifizierte Zusammenhänge für die Berechnung von Nutzen-Kosten-Verhältnissen von Folgen von Erhaltungsmaßnahmen mit Kosten des baulichen Unterhalts, Reisezeit, Fahrzeugbetrieb, Unfall, Lärm, Luftverschmutzung und Klimabeeinträchtigung.</p> <p>6. Definition eines Kosten-Barwert-Entscheidungsmodells zur monetären Bewertung unterschiedlicher Erhaltungsmaßnahmenvarianten für einen langen Betrachtungszeitraum. Berechnungen mit diesem Modell erlauben die quantifizierte Bestimmung von Kosten bei Vor- oder Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen.</p>
Zielerreichung:	<p>Das Projektziel der koordiniert aufeinander abgestimmten Erarbeitung konkret festgelegter Grundlagen für die systematische Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen auf Netzebene wurde materiell und im geplanten Zeitrahmen vollumfänglich erreicht. Durch die paketweise Durchführung des Gesamtprojektes konnten infolge von Synergien sogar weitere zusätzliche Resultate gewonnen werden.</p> <p>Namentlich erwähnt seien einerseits die Verifizierung und Verfeinerung des Planungsprozesses im Bereich der Massnahmenplanung Fahrbahnen und andererseits wichtige konkrete Bedürfnisse für notwendige Überarbeitungen bestehender VSS-Normen bzw. die Erarbeitung neuer VSS-Normen.</p>
Folgerungen und Empfehlungen:	<p>Die Folgerungen und Empfehlungen aus dem Gesamtprojekt (VSS 2004/710-716) gliedern sich aufgrund der unterschiedlich betroffenen Akteure in die nachfolgenden Einzelresultate:</p> <p>1. Empfehlungen für die direkte Praxisanwendung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planungsprozess <p>Aus der Forschungsarbeit geht hervor, dass die Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement auf Netzebene grundsätzlich nach drei verschiedenen Prozessabläufen durchgeführt werden kann. Die drei Vorgehensweisen α (Hochleistungs- und Hauptverkehrsstrassen), β (Nebenstrassen a.o. und i.o.) und γ (Sammel- und Erschliessungsstrassen) bei der Erhaltungsplanung bezwecken, nur die beim entsprechenden Planungsprozess notwendigen und hinreichenden Verfahren und Grundlagen aus ökonomischer Sicht einzusetzen resp. zu verwenden. Diese Differenzierung trägt der Relevanz bestimmter Grössen und Grundlagen sowie der Anforderungen an die Aussagekraft und Genauigkeit des gesuchten Ergebnisses vollumfänglich Rechnung. Dabei sind die Bedürfnisse und Randbedingungen der Nachhaltigkeit und Verkehrssicherheit mit berücksichtigt.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zustandserhebung mit Indices <p>Der in der VSS-Norm SN 640 925b (und SN 640 904) definierte Globalindex für Oberflächenschäden ist für die Festlegung von Massnahmen ungeeignet und sollte in Zukunft für diese Aufgabe nicht mehr verwendet werden. Neu sollten nur noch die Spartenindices des Index I_1 zur Festlegung (Wahl) von technischen Erhaltungsmaßnahmen eingesetzt werden. Ebenso verliert I_0 damit seine Bedeutung und soll ersatzlos gestrichen werden.</p> <p>Der Globalindex I_1 eignet sich höchstens noch zur Darstellung grober netzweise aufgezeigter Zustandsniveaus als Übersicht.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anwendung Verlaufskurven (Schadensprozesse) <p>Die Durchführung der deterministisch mit Verlaufskurven definierten Schadensprognose erfolgt mit mathematisch formulierten Modellen der Schadensentwicklung. Wo möglich sind die vorliegenden konkreten Verlaufskurven zu verwenden, mit dem Anspruch, dass alle im Einzelfall vorliegenden Zustandswerte zusammen mit der entsprechenden Verlaufskurve für die Prognose zu</p>



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

berücksichtigen sind. Die z.T. unterschiedliche Aussagekraft der Verlaufskurven ist bei der praktischen Anwendung einzubeziehen.

- Indexbewertung mit Substanz- und Gebrauchswerten

Die in der SN 640 904 festgelegten Berechnungsverfahren für den indexierten Substanz- und Gebrauchswert gelten durch die Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit als überholt und sollten nicht mehr angewendet werden. Sie müssen aufgrund der Erkenntnisse dieser Forschungsarbeit sowie zusätzlicher Abklärungen (ev. weitere Forschungsarbeit) neu definiert werden (Revision SN 640 904).

2. Empfehlungen für das Normungswesen

Die Normung im Bereich Erhaltungsmanagement ist einerseits noch im Aufbau, obwohl heute ein guter Grundstock an Normen vorhanden ist. Andererseits steht das Erhaltungsmanagement in der Praxis vielerorts (z.B. in Verwaltungen und Tiefbau- und Bauämtern) in einer fachlichen Entwicklungsphase und ist damit einem laufenden Wandel unterworfen.

Es fehlen bis heute insbesondere Normen zum Bereich Massnahmenplanung Fahrbahnen inkl. der Bewertung und Evaluation von Massnahmen (wirtschaftlich optimale Massnahmenfolgen). Das hier abgeschlossene Forschungspaket Massnahmenplanung Fahrbahnen liefert neue, praxisnahe Grundlagen welche eine Basis für entsprechende Normungen darstellen. Das Forschungspaket hat aber zudem zu wesentlichen Erkenntnissen geführt, welche Ansätze und Bedürfnisse zur Revision von bestehenden Normen zeigen.

- Neue Norm: Prozessablauf Massnahmenplanung Fahrbahnen

Die zurzeit in Entwicklung und Ausarbeitung stehende Grundnorm SN 640 920, Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement sollte in ihrer weiteren Bearbeitung im Lichte der neuen Erkenntnisse des vorliegenden Forschungsauftrages überprüft und wo nötig angepasst werden. Es betrifft dies, die

Differenzierung des Prozessablaufes der Massnahmenplanung; möglicherweise Einführung der Fälle α , β und γ (vgl. 5.1.4.), d.h. von Erhaltungsstrategien

Gleichzeitig ist zu prüfen, ob diese Prozessabläufe in einem Anhang zu SN 640 920 oder in einer neuen Norm beschrieben und definiert werden sollen.

- Neue Norm Standardmassnahmen

Anhand der erarbeiteten Grundlagen zum Einsatz und zur Verwendung standardisierter Erhaltungsmassnahmen der Reparatur, Instandsetzung und Erneuerung bei der Massnahmenplanung wird empfohlen, eine vollständig neue Norm Standardmassnahmen für bitumenhaltige Oberbauten und für Betonoberbauten zu entwickeln. Ihr möglicher Platz wäre SN 640 921. Dabei bedarf es noch einer sorgfältigen Abstimmung mit den Normen SN 640 731, 732, 735 und 736

- Neue Norm Zustandsprognose

Aufgrund der Ergebnisse im Einzelforschungsprojekt Schadensprozesse und der dortigen Erkenntnisse bzgl. Verwendung von Verlaufskurven wird empfohlen eine neue Norm Zustandsprognosen zu entwickeln. Sie soll einerseits die quantifiziert formulierten Zusammenhänge zwischen Schadensmerkmal und Alter mitsamt Anwendungsbereich und Einschränkungen zeigen. Andererseits soll die grundsätzliche Methodik zur Anwendung der Verlaufskurven neu dargestellt werden. Nebst der Methodik Verlaufskurven soll die vereinfachte Verwendung von linearen Wertverzehren (vgl. SN 640 986) Eingang in diese Norm finden. Der mögliche Platz der neuen Norm wäre entweder SN 640 522 oder SN 640 627 mit Vorzug bei 522.

- Neue Norm Evaluation von Massnahmenfolgen

Die Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit auf der einen Seite, sowie die bekannten Erkenntnisse aus der Literatur (und teilweise aus dem Forschungsauftrag „Optimierung“ stellen eine gute Basis zur Entwicklung einer neuen Norm Evaluation von Massnahmenfolgen dar. Dabei sind vor



allein die im Rahmen der Einzelprojekte EP4 und EP5 entwickelten Verfahren der Nutzen-Kosten-Methoden und insbesondere des Kosten-Barwert-Entscheidungsmodells hinsichtlich Methodik und Anwendung wichtige Grundlagen. Als weitere Verfahren sollten der AHP (Analytischer-Hierarchie-Prozess) und das Verfahren des multikriteriellen analytischen Hierarchieprozesses (MAHP) aufgenommen werden. Diese Verfahren eignen sich besonders gut für die Evaluation von Massnahmenfolgen zur objektiven Bestimmung wirtschaftlich optimaler Massnahmen. Der Platz der Norm könnte SN 640 924 sein.

- Revision der Norm SN 640 925b

Die Forschungsarbeit hat zu verschiedenen Erkenntnissen geführt, die eine Revision der Norm Zustandserhebung und –bewertung (SN 640 925b) empfehlen. Es ist in diesem Zusammenhang die Abkehr resp. der Verzicht auf den I_1 zu prüfen mit der Einschränkung, dass der I_1 wohl noch für die globale, netzbezogene Gesamtdarstellung von Oberflächenschäden ev. weiterverwendet werden könnte. Dabei ist die Frage allfällig neuer, zusammengefasster Indices (z.B. aus Spartenindices oder aus den weiter verwendbaren Indices I_1 bis I_5) zu klären.

- Revision der Norm SN 640 904

Die vorliegende Forschungsarbeit hat wesentliche neue Erkenntnisse zur Bewertung der Oberflächenschäden, insbesondere bzgl. Tragfähigkeit, hervorgebracht. Diese Erkenntnisse erfordern zwingend eine Revision der Werte-Festlegungen bzgl. Berechnung indexierter Substanz- und Gebrauchswerte. Es ist zu prüfen, ob zur Revision dieser Norm nebst den bisher vorliegenden noch weitere Grundlagen erarbeitet werden müssen resp. ob dazu ein kleiner Forschungsauftrag erforderlich sein würde. Es wird empfohlen, via Ausgabe eines Klebers auf dem Verzicht der Verwendung der in der Norm aufgeführten Berechnungsart indexierter Substanz- und Gebrauchswerte hinzuweisen.

- Revision der Norm SN 640 907

Die Erkenntnisse aus dem Einzelforschungsprojekt EP4 machen eine Revision der SN 640 907 nötig. Es ist zu prüfen, ob die Methodik der Nutzenermittlung von Erhaltungsmassnahmen in diese zu überarbeitende Norm aufgenommen werden soll. Die erarbeiteten neuen Grundlagen zu den Nutzerkosten und Kosten Dritter (Kostensätze) sollten vorzugsweise in das Normpaket „Kosten“ der FK2 aufgenommen werden.

3. Empfehlungen bzgl. weiterer Abklärungen

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurden bei den Einzelprojekten 4 und 5 Grundlagen erarbeitet, die – wie bereits an den entsprechenden Stellen im Bericht erwähnt – einer praktischen Verifizierung anhand von Beispielerrechnungen unterworfen werden sollten. Da der Aufwand für die Datenerfassung und –aufbereitung beträchtlich ist, sollten diese Arbeiten entweder in einem direkten Anschlussauftrag zum vorliegenden Forschungspaket oder in einem neuen Forschungsauftrag in die Wege geleitet werden. Diese Anwendungsüberprüfung ist dringend notwendig, liess sich aber nicht mehr im Forschungspaket realisieren. Diese Verifizierung ist für die Erarbeitung der Normen von entscheidender Bedeutung.

4. Empfehlungen für weitere Forschungsarbeiten

Die Bearbeitung der folgenden vier Forschungsthemen wird zur Schliessung der Lücken der Grundlagen für eine systematische Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement als notwendig erachtet. Es wird deshalb empfohlen sich umgehend diesen Themen anzunehmen (FK7) und die allfälligen Forschungsarbeiten auszuschreiben.

- Verfahren zur Bildung homogener Abschnitte unter Berücksichtigung der Anwendungsbereiche (Hochleistungsstrassen, Hauptverkehrsstrassen ausserorts, Hauptverkehrsstrassen innerorts, Nebenstrassen innerorts, Sammel- und Erschliessungsstrassen innerorts)
- Verfahren und Anwendung von Erhaltungsstrategien zur Bildung von Varianten von Massnahmenfolgen für mittlere und längere Betrachtungszeiträume
- Systematische wissenschaftliche Auswertung und Analyse der Ergebnisse der dritten Zustandserhebung und –bewertung der Schweizer Nationalstrassen (ZEB-NS 3). Erforschung der



Zustandsentwicklungen für die verschiedenen Schadensmerkmale (Zustandsindices) aus den drei Erhebungen ZEB-NS 1, ZEB-NS 2 und ZEB-NS 3.

- Erforschung der offenen Fragen und Problemstellungen der Eingreifzeitpunkte (Dringlichkeit, Notwendigkeit, Quantifizierung, Differenzierung nach Schadensmerkmalen, globale Eingreifzeitpunkte etc.)

5. Erkenntnisse zur Eignung von Paketbildungen bei Forschungsvorhaben

Die Bearbeitung des Forschungspaketes Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen hat folgendes gezeigt:

- Die Paketbildung bei verwandten bzw. sich ergänzenden Einzelprojekten ermöglicht die Behandlung ganzer Fragenkomplexe in Einem. Damit wird auch die Gefahr von parallel laufenden ähnlichen Forschungsprojekten vermindert.
- Die Zeitersparnisse bei Durchführung von Einzelprojekten in einem Paket sind enorm hoch. Im vorliegenden Fall dürfte eine Verkürzung der Bearbeitungszeit um mehr als die Hälfte erreicht worden sein, d.h. zwei bis drei Jahre bei einer Bearbeitungszeit des Paketes von drei Jahren.
- Bei gleichzeitigem Vorliegen von im Zusammenhang stehenden Ergebnissen aus Einzelprojekten resultiert ein nicht zu unterschätzender Mehrwert, weil damit ein Wissensschub verbunden ist, der direkt in der Praxis verwendet werden kann.
- Die Erfahrung mit dem vorliegenden Forschungspaket weist einen grossen und nachhaltigen Synergieeffekt infolge gleichzeitiger, intensiver und koordinierter Bearbeitung hinsichtlich Ergebnissen aus.
- Bei gleichzeitiger, koordinierter Bearbeitung eines Forschungsthemas via verschiedene Einzelprojekte dürfte aufgrund selbstregulierender Effekte zwischen den Projektleitern und gegenseitiger Einfluss- resp. Korrekturmöglichkeiten das Nutzen-Kosten-Verhältnis der Forschungsarbeit erheblich höher resp. besser ausfallen.

Es bedingt einiger Vorbereitung, um eine ganz deutliche Effizienzsteigerung und einen Qualitätsgewinn bei Forschungsarbeiten, die im Paket koordiniert erarbeitet werden, zu erzielen. Es seien an dieser Stelle nur gerade die Wichtigsten erwähnt:

- Die Vorbereitung von Forschungspaketern erfordert – wie das heute bereits praktiziert wird – ein sog. Initialprojekt. Im vorliegenden Fall fehlte dies, wodurch ein beträchtlicher, nicht abgelteter Aufwand entstand. Das Initialprojekt, welches die Einzelprojekte klar umschreibt und abgrenzt, ist entscheidend für das Gelingen des Gesamtpaketes und das Erreichen der anvisierten hohen Effizienz.
- Ebenfalls entscheidende Voraussetzung für erfolgreiche Forschungspakete ist die Position des Gesamtprojektleiters. Da es im Besonderen um die fachliche Koordination und laufende Abstimmung der Projekte untereinander geht, sind hohe Ansprüche an die Fachkompetenz des Gesamtprojektleiters gestellt. Die administrativen Belange sind einfach und stellen geringe Anforderungen. Aus diesem Grunde ist der Evaluation von Gesamtprojektleitern entsprechende Beachtung zu schenken. Es dürfte grundsätzlich schwierig sein, solche zu finden.

Wie dieses Forschungsprojekt klar gezeigt hat, war der Aufwand für die koordinierte, gleichzeitige Gesamtleitung des Projekts mit offensichtlich unterschätztem Aufwand verbunden. Auch wenn durch das Initialprojekt die Aufwendungen für die Vorbereitung eines Forschungspaketes geregelt werden, sind für die Durchführung der Gesamtprojektleitung ausreichende Mittel zu budgetieren. Bei Einsatz eines geeigneten Gesamtprojektleiters dürften sich die Aufwendungen mehr als lohnen.

Publikationen:

Lindenmann, H.P. (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen, Synthesebericht. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen), VSS, Zürich



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA

Gnehm, V. (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Standardisierte Erhaltungsmassnahmen. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP1), VSS, Zürich
Scazziga, I. (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Schadensprozesse und Zustandsverläufe. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP2), VSS, Zürich
Jacot, A. (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP3), VSS, Zürich
Lüking, J., B. Adey, et al (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP4), VSS, Zürich
Girmscheid, G., A. Fastrich (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen, Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschieben von Erhaltungsmassnahmen. UVEK-Schriftenreihe Nr. (noch offen, EP5), VSS, Zürich



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Beurteilung der Begleitkommission:

Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:	Das Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen (VSS 2004/710-716) hat nicht nur die erwarteten Ergebnisse vollumfänglich erbracht, sondern infolge Synergie der Paketbildung zusätzlich neue wesentliche Erkenntnisse zum Prozessablauf der Massnahmenplanung und zum Normenwerk im Bereich Erhaltung erzeugt. Die Zielsetzungen bzgl. Einzelprojekte und des Gesamtprojektes wurden erreicht. Die Durchführung der fünf Einzelprojekte in einem koordiniert und durch einen Gesamtleiter geführte enge Begleitung hat sich sehr bewährt, weil ein hohes Mass an Synergieeffekten erreicht und die Resultate der Einzelprojekte als Summe konsistent geworden sind.
Umsetzung:	Sämtliche Ergebnisse können in der Praxis direkt angewendet werden, auch wenn die entsprechenden neuen Normen noch zuerst erarbeitet werden müssen. Bei Anwendung ohne Vorliegen dieser Normen sind indessen Spezialkenntnisse und Erfahrung in der Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement unabdingbare Voraussetzung. Die Fülle neuer z.T. mit Spannung erwarteter Resultate dieser Forschungsarbeiten dürfte zu einem eigentlichen Schub in der systematischen Massnahmenplanung Fahrbahnen auf Netzebene beitragen.
weitergehender Forschungsbedarf:	<p>Aus den Erkenntnissen und Folgerungen sowie den Empfehlungen haben sich bzgl. Anwendung der hier erarbeiteten Grundlagen in einer systematischen Massnahmenplanung Fahrbahnen im Erhaltungsmanagement einige wenige noch offene Lücken herauskristallisiert. Ihre Bedeutung konnte erst im Rahmen der Erarbeitung des vorliegenden Forschungspaketes konkret erkannt werden. Dazu sind weitere Forschungsarbeiten angezeigt, so dass sämtliche erforderliche Grundlagen vollständig vorliegen und dazu auch entsprechende Werkzeuge (Normen) für den Anwender zur Verfügung stehen.</p> <p>Es betrifft dies folgende Forschungsthemen, welche im Einzelnen noch konkretisiert und abgegrenzt werden müssen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verfahren und Methodik zur Ableitung und Bildung homogener Abschnitte für Erhaltungsmassnahmen - Verfahren und Anwendung von Erhaltungsstrategien zur Bildung von Massnahmenfolgen - Systematische wissenschaftliche Auswertung und Analyse von Zustandserhebungen zwecks Verfeinerung der Prognoseinstrumente - Erforschung der offenen Fragen der Eingreifgrenzen bzw. -zeitpunkte - Überprüfung und Verifizierung der Berechnungsarten Nutzen-Kosten und des Verfahrens zur Bestimmung von Zusatzkosten infolge Vor- oder Aufschub von Erhaltungsmassnahmen
Einfluss auf Normenwerk:	<p>Das Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen hat zu einer ganzen Reihe von Empfehlungen für das Normungswesen (VSS) im Bereich Erhaltungsmanagement geführt, konkret sind es folgende:</p> <ul style="list-style-type: none"> - SN 640 920 Massnahmenplanung Fahrbahnen; Ergänzungen zur in Bearbeitung stehenden Norm, ev. neue zusätzliche Norm - SN 640 921 Standardmassnahmen; Erarbeitung einer neuen Norm - SN 640 922 Zustandsprognose; Erarbeitung einer neuen Norm - SN 640 904 Gesamtbewertung; Überarbeitung bestehende Norm - SN 640 907 Erhaltungskosten; Neuaustrichtung der Norm in Abgrenzung zu FK2



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

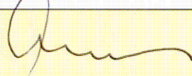
Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

- SN 640 925b Zustandserhebung und -bewertung; Überarbeitung der Norm
- SN 640 924 Evaluation von Massnahmenfolgen; Erarbeitung einer neuen Norm

Präsident Begleitkommission:

Name:	Gallati, Dr.	Vorname:	Franz
Amt, Firma, Institut:	Baudirektion Kanton Schwyz, Tiefbauamt, Kantonsingenieur		
Strasse, Nr.:	Postfach 1251		
PLZ:	6431	Email:	franz.gallati@sz.ch
Ort:	Schwyz	Telefon:	041 819 25 03
Kanton, Land:	Schwyz, Schweiz	Fax:	

Unterschrift Präsident Begleitkommission:

4. Februar 2009 

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Datum
1211	VSS 1998/192	Minikreisel <i>Mini-giratoires</i>	2008
1212	VSS 2007/501	D-A-CH – Forschungsprojekt Nutzungszeiten offener Asphaltdeckschichten <i>D-A-CH – Projet de recherche Durabilité des revêtements en enrobé drainant</i>	2007
1213	VSS 2002/706	NAVAROU Potentiel d'utilisation des données routières de la navigation automobile pour l'entretien routier <i>Potenzial der Nutzung von Fahrzeugnavigationsdaten für das Strassenverkehrsmanagement</i>	2008
1214	VSS 2004/901	Darstellung und Verwendung von Verkehrssignalen in Strassendatenbanken <i>Implementation and use of traffic signs in road databases</i>	2007
1215	VSS 2000/456	Bewirtschaftungssysteme für Parkieranlagen <i>Concepts de gestion et d'exploitation d'installations de stationnement</i>	2008
1216	VSS 1998/195	Für Motorfahrzeuge und leichte Zweiräder befahrbare und für den Fussgängerverkehr ganz oder teilweise zugängliche Streifen in der Mitte der Fahrbahn (Mehrzweckstreifen) <i>Voies de circulation en milieu de chaussée destinées au trafic motorisé et au trafic des deux-roues légers, partiellement ou entièrement accessibles au trafic des piétons (voies à affectation variable)</i>	2008
1217	SVI 2006/001	Forschungspaket "Güterverkehr", Initialprojekt "Bestandesaufnahme und Konkretisierung des Forschungspakets" <i>Paquet de recherche "transport de marchandises", projet initial "inventaire et concrétisation du paquet de recherche"</i>	2008
1218	VSS 1999/271	Querungen für den Fuss- und leichten Zweiradverkehr <i>Traversées à l'usage des piétons et des deux-roues légers</i>	2008
1220	VSS 2005/910	Mobility Pricing Synthesebericht <i>Mobility Pricing Rapport de Synthèse</i>	2007
1221	ASTRA 2004/019	Maladies et causes d'absences dans le service d'entretien des routes <i>Diseases and reasons for absences in the road maintenance services</i>	2008
1222	SVI 2004/074	Freizeitverkehr innerhalb von Agglomerationen <i>Trafic de loisirs dans les agglomérations</i>	2008

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Datum
1223	VSS 2003/302	Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung <i>Répercussions et mesures sur le réseau des routes principales en présence d'une gestion des rampes</i>	2008
1224	VSS 1999/276	Filler – Influence des phyllosilicates pour l'utilisation dans la construction routière <i>Füller – Einfluss von Schichtsilikaten für die Verwendung im Strassenbau</i>	2008
1225	SVI 1999/328	Gesetzmässigkeiten des Anlieferverkehrs <i>Caractéristiques du transport de livraison</i>	2008
1226	ASTRA 2003/007	Kommunale Strassennetze in der Schweiz: Formen neuer Public Private Partnership (PPP) – Kooperationen für den Unterhalt <i>Réseaux routiers communaux en Suisse: Formes de nouveaux partenariats publics-privés (PPP) – coopérations pour l'entretien</i>	2008
1227	VSS 2004/601	Umweltbauabnahme (UBA) <i>Réception environnementale des travaux (RET)</i>	2008
1228	SVI 2001/508	Mobilitätsmuster zukünftiger Rentnerinnen und Rentner – eine Herausforderung für das Verkehrssystem 2030? <i>Mobilité des futurs retraités – un défi pour le système des transport en 2030?</i>	2008
1229	SVI 2004/081	Modal Split Funktionen im Güterverkehr <i>Fonctions de répartition modale pour le trafic de marchandises</i>	2008
1230	SVI 2004/090	Monitoring und Controlling des Gesamtverkehrs in Agglomerationen <i>Monitoring et controlling de l'ensemble du trafic dans les agglomérations</i>	2008
1231	SVI 2004/045	Mobilitätsmanagement in Betrieben – Motive und Wirksamkeit <i>Gestion de la mobilité dans les entreprises – motifs et efficacité</i>	2008
1232	ASTRA 2005/008	Low Power Wireless Sensor Network for Monitoring Civil Infrastructure <i>Drahtloses Sensornetzwerk zur Infrastrukturüberwachung</i>	2009
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten <i>Components durables des couches bitumineux</i>	2009
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen Standardisierte Erhaltungsmassnahmen <i>Mesures d'entretiens standardisées</i>	2008