

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
ZUSAMMENFASSUNG	4
RESUME	5
ABSTRACT	6
1. EINLEITUNG	7
1.1 PROBLEMSTELLUNG.....	7
1.2 AUFTRAG UND ZIEL.....	7
1.3 VORGEHEN.....	8
1.4 AUFBAU DES BERICHTES.....	8
1.5 BEGRIFFE.....	8
2 BEWERTUNG MITTELS ZIELBEZOGENER INDIZES (ANSATZ 1)	10
2.1 EINLEITUNG.....	10
2.2 GRUNDLAGEN DES KONZEPTS.....	11
2.2.1 Komponenten	11
2.2.2 Strassenkategorie.....	11
2.2.3 Ziele des Erhaltungsmanagements	12
2.2.4 Normalisierte Werte	12
2.2.5 Zielwerte	12
2.2.6 Kombinierte Zustandswerte	13
2.2.7 Bewertungsskala	16
2.2 ZUORDNUNGSREGELN	16
2.2.1 Gewichtung der Komponenten	18
2.2.2 Verknüpfung	18
2.2.3 Gewichtung der Komponenten der kombinierten Zustandswerte.....	18
2.2.4 Schadensgrad \tilde{N}	18
2.2.5 Beispiel	20
Gewichtung \square	20
Gewichtung G	21
3. ZUSTANDSBEZOGENE INDIKATOREN (ANSATZ 2)	23
3.1 VORARBEITEN	23
3.2 NORMENVORGABEN.....	23
3.3 AUSLÄNDISCHE BEISPIELE	24
3.4 ANWENDUNGSBEREICH UND SPARTENAUSWAHL	25
3.4.1 Anwendungsbereich	25
3.4.2 Spartenauswahl.....	25
3.5 VORSCHLÄGE	26
3.5.1 Allgemeines	26
3.5.2 Sicherheitswert (indexiert)	27
3.5.3 Gebrauchswert	27
3.5.4 Substanzwert.....	28
3.5.5 Gesamtwert	29
3.6 ZUSAMMENFASSUNG	29
4. ANWENDUNG DER ERGEBNISSE FÜR MASSNAHMENPLANUNG IM PMS	31
4.1 ANWENDUNGSBEREICH UND ANWENDUNGSGRENZEN EINER PROGRAMMIERTEN MASSNAHMENPLANUNG.....	31
4.2 ANSATZ 1: ZIELORIENTIERTE ZUORDNUNG VON MASSNAHMEN	32
4.2.1 Allgemeines	32

4.2.2 Massnahmentypen	32
4.2.3 Zuordnung der Zielwerte zu den Massnahmentypen	33
4.3 ANSATZ 2: ZUSTANDSORIENTIERTE BILDUNG MÖGLICHER STRATEGIEN UND MASSNAHMENWAHL NACH ÜBERGEORDNETEN KRITERIEN	35
4.3.1 Allgemeines	35
4.3.2 Bestimmung der möglichen Massnahmen gemäss Ansatz 2	35
4.4 GENERELLE ABGRENZUNG UND UNTERSCHIEDE DER BEIDEN ANSÄTZE	37
5. VERGLEICH DER METHODEN.....	38
5.1 GENERELLES VORGEHEN.....	38
5.2 TESTNETZ	38
5.2.1 Verfügbare Daten	38
5.2.2 Netzzustand (Ausgangslage).....	38
5.3 MASSNAHMENKATALOG	39
5.3.1 Massnahmen und Einheitskosten	40
5.3.2 Wirkung der Massnahmen (Rücksetzwerte).....	40
5.4 VERHALTENSMODELLE	41
5.5 ANALYSEVARIABLEN	42
5.6 MODELLIERUNG DER MASSNAHMENWAHL FÜR ANSATZ 1	44
5.7 MODELLIERUNG DER MASSNAHMENWAHL FÜR ANSATZ 2	45
5.8 VERGLEICHSGRUNDLAGEN.....	46
5.8.1 Allgemeines	46
5.8.2 Optimierung, Definition des Nutzens	46
5.9 ERGEBNISSE DES VERGLEICHS	47
5.10 AUSWERTUNG UND KOMMENTAR.....	53
5.10.1 Wirkung der Erhaltungsaufwendungen.....	53
5.10.2 Verteilung der Art der Massnahmen	54
6. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	56
6.1 ERGEBNISSE DES FORSCHUNGS-AUFTRAGES.....	56
6.1.1 Indikatoren für die Gesamtbewertung der Fahrbahnen	56
6.1.2 Verwendung der Indikatoren im Rahmen der Massnahmenplanung.....	56
6.1.3 Vergleich verschiedener Ansätze zur Massnahmenplanung.....	57
6.2 SCHLUSSFOLGERUNGEN	57
7 LITERATURVERZEICHNIS	58

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Forschungsbericht wird die Möglichkeit der Anwendung von Zustandsmerkmalen und -indizes zur Massnahmenplanung für die Fahrbahnen untersucht. Dazu werden zwei unterschiedliche Ansätze verwendet, welche anschliessend miteinander verglichen werden.

Der erste Ansatz betrachtet die Fahrbahn umfassend als Anlage- und Betriebselement. Somit wird neben dem baulichen Zustand auch der Zustand des Verkehrsablaufes (Nutzung) berücksichtigt. Bei diesem Ansatz werden die Zustandsmerkmale und -indizes den funktionalen Zielen des Erhaltungsmanagements, nämlich Substanzerhaltung, Benutzerfreundlichkeit, Verkehrssicherheit, Betriebsbereitschaft, Umweltverträglichkeit und Leistungsfähigkeit zugeordnet. Dadurch werden Zielwerte gebildet, welche aus Kombinationen der Zustandsmerkmale und -indizes entstehen. Diese Zielwerte werden direkt zur Massnahmenplanung der Erhaltung der Fahrbahnen und ihrer technischen Ausrüstung sowie auch für Verkehrsmanagement verwendet. Durch Zusammensetzung der Zielwerte können bei diesem Ansatz ein „zielbezogener Substanz- und ein zielbezogener Gebrauchswert“ definiert werden. Diese Werte werden zur Beurteilung der Entwicklung des durchschnittlichen Zustandes eines definierten Strassennetzes (Fahrbahnen und Zubehör) verwendet.

Im zweiten Ansatz wird von einem zweistufigen Vorgehen ausgegangen. In einem ersten Schritt werden mögliche Massnahmen aufgrund des durch verschiedene Zustandsindikatoren gekennzeichneten "Schadenbildes" aufgelistet (Diagnose). Im zweiten Schritt erfolgt die Auswahl der Massnahmen unter Berücksichtigung der Zustandsentwicklung und der verfügbaren Mittel durch Optimierung mittels einer frei wählbaren Zielgrösse. Diese Zielgrösse kann sowohl durch einen ausschliesslich auf den Zustand bezogenen Gesamtindex definiert werden als auch durch andere Indikatoren, welche über die Zustandswerte hinaus andere Faktoren berücksichtigen. In diesem Sinne lassen sich auch die unter Ansatz 1 entwickelten indexierten Zielgrössen mit verwenden.

Die beiden Ansätze wurden anhand eines Beispiels durchgerechnet und verglichen. Es hat sich gezeigt, dass im Rahmen einer langfristigen Planung mit Optimierung nach Zielgrössen, der zweistufige Ansatz vorteilhafter ist. Dies liegt im wesentlichen darin begründet, dass damit das vorhandene Optimierungspotential besser ausgeschöpft werden kann während die direkte Kombination der Auswahlkriterien von Massnahmen mit den Erhaltungszielen die Anzahl möglicher Varianten stark einschränkt.

Die ursprünglich unterschiedlichen Ansätze lassen sich insofern mit einem Mehrwert kombinieren, als für die Massnahmenplanung in einem mittel- bis langfristigen Optimierungsprozess von einem zweistufigen Vorgehen ausgegangen wird. Dieses Vorgehen erfolgt mit vorwiegend technischen Kriterien für die Ausarbeitung einer Anzahl von Varianten sowie der Wahl einer zielorientierten Grösse als Kriterium für die Optimierung und die definitive Massnahmenwahl.

RESUME

Ce projet de recherche traite des possibilités d'utilisation des indicateurs et des indices d'état pour la planification de mesure d'entretien des chaussées. A cet effet, deux approches différentes ont été utilisées et finalement comparées.

La première approche considère la chaussée dans son entier comme un élément constructif et d'exploitation. Ceci permet de prendre aussi en compte les aspects de la circulation (bénéfice des usagers). Selon cette proposition les indices d'état sont attribués aux objectifs fonctionnels de la gestion de l'entretien, tels que conservation de la valeur intrinsèque, satisfaction de l'usager, sécurité du trafic, viabilité, impact sur l'environnement, capacité. Les objectifs fonctionnels sont alors déterminés par combinaison des paramètres et des indices. Ils peuvent être utilisés pour la planification des mesures d'entretien des chaussées et autres installations annexes, ainsi que pour la gestion du trafic. Cette approche permet, par combinaison des objectifs fonctionnels, de déterminer des valeurs intrinsèques et d'usage qui sont basées sur ces objectifs. Ces valeurs peuvent être utilisées pour suivre l'état moyen d'un réseau routier (chaussées et installations annexes).

La deuxième approche utilise une démarche en deux étapes. Le premier pas liste toutes les mesures possibles par rapport à une «image de dégradation» caractérisée par différents indices d'état (diagnostique). Lors du deuxième pas on choisit les mesures d'entretien en prenant en considération l'évolution des dégradations et les moyens disponibles et en optimisant les résultats pour un objectif à choix. Cet objectif peut être basé sur un indice global, qui représente uniquement l'état de la chaussée, ou peut aussi être défini par rapport à d'autres indicateurs pas forcément liés à l'état de la chaussée. Dans ce cadre, il est possible d'utiliser les valeurs des objectifs fonctionnels développés dans la première approche.

Les deux méthodes ont été appliquées et comparées dans le cadre d'un exemple. On peut constater que pour une planification à long terme basée sur une optimisation avec des objectifs fonctionnels, c'est plus favorable si on utilise la démarche en deux étapes. La raison est liée au fait que les potentiels d'optimisation peuvent mieux être utilisés par cette méthode, car la confrontation directe des choix possibles de mesures d'entretien avec les objectifs fonctionnels réduit considérablement le nombre des variantes.

La combinaison des deux approches initiales peut apporter une valeur supplémentaire. La planification des mesures d'entretien se base sur un processus d'optimisation à moyen et long terme et consiste en une démarche en deux étapes où le choix des variantes s'appuie principalement sur des critères techniques. Les critères d'optimisation pour le choix définitif des mesures d'entretien font quant à eux recours aux objectifs fonctionnels pris en compte.

ABSTRACT

The possibility of using characteristics and indices of pavement condition for maintenance treatment planning is the subject of the current research report. Two different processes are presented and subsequently compared with each other.

The first process regards the entire pavement as an element of construction and of exploitation. It references the characteristics and indices of pavement to the (functional) objectives of the Maintenance Management System such as: substance maintenance, user comfort, traffic safety, serviceability, compatibility with environment and capacity. By combination of adequate characteristics and indices of pavement the process determines the objective values. These build the base for direct planning of maintenance treatments for the pavement and its auxiliary objects, as well as for traffic management measures. By combination of the objective values the process determines two global values for the road, called as "objective based substance and objective based using values". These values could be used to follow the development of the average condition of a road-network (pavement and some of its auxiliary objects).

The second process is established in two phases. In the first phase it registers all possible treatments, which could be adequate for the recorded condition of the pavement (diagnostic); while in the second phase a treatment is chosen by consideration of the estimated condition development, the available means and optimization of result of a free selectable objective value. This objective value could be presented by a condition related global index, as well as by other indicators. The indicators are selected to adequately represent the condition of the pavement and other auxiliary objects. Under this circumstance it is possible to use the objective values of the first process also in this process.

Both processes are implemented and compared for an example. It is evident that for the case of long-term planning by optimization, according to the objective values, the second process has more advantages. The reason is the possibility of higher exhausting of the existing optimization potentials, while the direct combination of the measures and the objectives reduces firmly the number of possible solution variants.

It should be noted that a combined application of both processes would add an additional value, if for the planning of the measures the process by two steps would be chosen for the middle- and long-term optimization. This process contains mostly technical criteria to determine a number of variants and the selection of an objective value as the criterion for optimization and selection of the measure.

1. EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Seit einigen Jahren werden auf der Ebene Bund, Kantone und Gemeinden verstärkte Anstrengungen unternommen, eine Gesamtübersicht über den Fahrbahnzustand des jeweiligen Strassenetzes zu erhalten. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die Erhebung und Bewertung des Zustandes nur einen Teilschritt im Gesamtprozess des Erhaltungsmanagements (EM) darstellt. Aus den erhobenen Zustandsdaten gilt es, nach einer entsprechenden detaillierten Auswertung, konkrete Massnahmenvorschläge abzuleiten und aus der Fülle von Vorschlägen schliesslich eine Auswahl zu treffen.

In der vorliegenden Forschungsarbeit werden verschiedene Möglichkeiten der Gruppierung und Gewichtung von Zustandsdaten, teilweise kombiniert mit anderen Grössen, untersucht, die zur Vorbereitung der Entscheidungsfindung angewendet werden können. Konkret geht es dabei um die Gesamtbewertung der Strasse zur Planung und der Erhaltungsmassnahmen.

Zu diesem Zweck werden zwei unterschiedliche Ansätze der Gesamtbewertung verwendet und mittels Vergleich ihrer Zweckmässigkeit untersucht.

1.2 Auftrag und Ziel

Den beteiligten Forschungsstellen wurde mit Datum vom 26. September 2001 vom Bundesamt für Strassen, ASTRA der folgende Auftrag erteilt:

Die Forschungsstellen

- RAFI Managementberatung (RMB), Feldeggstrasse 36, 8008 Zürich, vertreten durch Dr. Ali-A. Rafi, Projektleiter
- Viagroup AG, Technoramastrasse 8, 8404 Winterthur, vertreten durch Ivan Scazziga
- IVT/ETHZ, Hönggerberg, 8093 Zürich, vertreten durch Hanspeter Lindenmann

werden wie folgt beauftragt:

1. *Erarbeiten eines Konzeptes zur Bewertung und Beurteilung des Fahrbahnzustandes für die verschiedenen Strassentypen mittels spezifischer Bewertungskenngrössen (z.B. Gebrauchswerte, Substanzwerte, Gesamtindizes) unter ausschliesslicher Verwendung der Zustandsindizes ($I_1 - I_5$)*
2. *Erarbeiten eines Konzeptes zur Gesamtbewertung von Fahrbahnen als Grundlage der Entscheidung über den Zeitpunkt der Durchführung von Massnahmen*

Diese Auftragsziele sind im Forschungsgesuch wie folgt konkretisiert worden:

Erarbeiten eines Konzeptes zur Gesamtbewertung von Fahrbahnen als Grundlage der Entscheidung über den Zeitpunkt der Durchführung von Massnahmen mittels Zuordnung der Zustandsmerkmale zu den Zielen des Erhaltungsmanagements und Bezug der Bewertungskenngrössen.

Daraus geht klar hervor, dass sich dieser Auftrag sehr spezifisch auf die Frage der Gesamtbewertung des Strassenzustandes als Grundlage zur Massnahmenplanung zu fokussieren hat.

1.3 Vorgehen

Die Forschungsarbeit hat folgende Themen behandelt:

- Formulierung eines Ansatzes zur Gesamtbewertung von National-, Kantons- und Gemeindestrassen mit Definition eines Gebrauchswertes, der die Gebrauchstauglichkeit / Betriebsbereitschaft beschreibt sowie eines Substanzwertes, der den momentanen substanzziellen Zustand ausdrückt:
 - Zuordnung von Zustandsgrössen resp. –indizes des Fahrbahnzustandes zu den funktionalen Zielen des Erhaltungsmanagements (gemäss [1] und [2]): Ansatz 1
 - Kombination von Zustandsgrössen bzw. –indizes auf Basis der Vorschläge des Forschungsberichtes 12/99 [14]: Ansatz 2
- Bewertung der beiden Ansätze bzgl. Wirtschaftlichkeit.
- Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden Ansätze und Beurteilung hinsichtlich Verwendung in der Praxis.
- Empfehlung bzgl. Kombinationsmöglichkeiten der beiden Ansätze.

1.4 Aufbau des Berichtes

Der Aufbau des Berichtes lehnt sich weitgehend an die erwähnten Arbeitsschritte an.

In Kapitel 2 wird die Bedeutung der einzelnen Zustandsindizes für die Bildung des Substanz- und Gebrauchswertes aus der Sicht der übergeordneten Hauptziele des Erhaltungsmanagements erläutert. Anschliessend werden Vorschläge für eine Gesamtbewertung, unter Berücksichtigung der erfolgten Abklärungen, ausgearbeitet. Dabei wird auch darauf hingewiesen, wie die hier ausgearbeiteten Vorschläge zusammen mit den Ergebnissen der funktionalen Bewertung für die Dringlichkeitsreihung der Massnahmen zu verwenden sind.

In Kapitel 3 werden auf der Grundlage der Forschungsarbeiten [6] und [12] und der in SN 640 925b und SN 640 904 aufgelisteten Zustandsgrössen (Indizes) Vorschläge für eine Gesamtbewertung sowie für die Bildung eines Substanz- und eines Gebrauchswertes ausgearbeitet.

In Kapitel 4 werden die praktischen Auswirkungen der Verwendung der beiden Ansätze sowie die Umsetzungsart der Zustandswerte bei der Massnahmenplanung untersucht.

In Kapitel 5 werden die Ergebnisse sowie Vor- und Nachteile beider Ansätze erörtert und Vorschläge für die Empfehlungen für die Verwendung in der Praxis ausgearbeitet.

1.5 Begriffe

Im vorliegenden Forschungsauftrag werden folgende Begriffe und Definitionen verwendet.

Tab. 1: Begriffe

Begriff (deutsch)	Begriff (französisch)	Definition
Einzelindizes	Indice individuel	Einzelindizes drücken den Zustand aufgrund eines Einzelmerkmals für einen bestimmten Abschnitt aus, [3].
Gebrauchswert	Valeur d'usage	Der (indexierte) Gebrauchswert ist der Wert, der aus verschiedenen Zustandswerten oder Zustandsindizes nach bestimmten Regeln zusammengesetzt wird und die

		Gebrauchstauglichkeit (aus der Sicht der Benutzer der Anlage) beschreibt [3]. Die Zustandswerte und Zustandsindizes, welche den Gebrauchswert bilden, lassen sich zu den Zielen Benutzerfreundlichkeit und Verkehrssicherheit zuordnen.
Zielbezogener Gebrauchswert*	Valeur d'usage, liée aux objectifs	Der zielbezogene Gebrauchswert ist ein kombinierter Wert, der aus den Zielwerten Benutzerfreundlichkeit, Verkehrssicherheit sowie Betriebsbereitschaft und Umweltfreundlichkeit zusammengesetzt wird. Er dient zur Beurteilung der Anlage aus der Sicht ihrer Benutzer.
Gesamtindizes	Indice global	Sie sind die zusammengesetzte Indizes [3]
Massnahmenart*	Sorte de mesure	Einzelmassnahmen, die einem Massnahmentyp zugeordnet sind.
Massnahmentyp*	Type de mesure	Gruppen von äquivalenten Massnahmearten, welche bezüglich Kosten, Wirkungsdauer und Eignung annähernd identisch sind.
Merkmal (Einzelmerkmal)	Caractéristique (Caractéristique individuelle)	Siehe Zustandsmerkmal
Merkmalgruppe*	Groupe des caractéristiques	Gruppe von Einzelmerkmalen, welche ein bestimmtes Schadenbild definiert.
Normalisierter Indikator N*	Indicateur normalisé N	Gemessener Wert eines Zustandsmerkmals, der nach der Bewertungsskala (0 bis 5) umgerechnet wurde.
Schadensmerkmal	Caractéristique de dégradation	Siehe Zustandsmerkmal!
Schadensgrad \tilde{N}^*	Degré de dégradation \tilde{N}	Dimensionsloser, normalisierter Wert eines Zustandsmerkmals, der als Verhältniszahl zwischen 0 und 1 liegt.
Schwellenwert		Der Schwellenwert (auch als „Eingreifgrenze“ bezeichnet) ist der Wert eines Zustands, bei welchem eine Erhaltungsmaßnahme unbedingt erforderlich wird.
Sollwert		Der Sollwert (auch als Ziel-, bzw. Abnahmewert bekannt) repräsentiert den Zustand des Objekts bei dessen Neubau oder nach seiner vollständigen Erneuerung
Spartenindizes*	Indice de rubrique	Als Spartenindizes werden zusammengesetzte Indizes verstanden, bei denen die Auswahl der berücksichtigten Einzelkomponenten nach bestimmten Kriterien erfolgt.
Standardisierte Massnahme*	Mesure standardisée	Massnahmetypen oder Massnahmearten, welche bestimmten (definierten) Zustandsbereichen als optimale Massnahme zugewiesen sind.
Strassenkategorie	Catégorie de route	Klassierung der Strasse nach der funktionellen Bewertung, gemäss [4]
Substanzwert	Valeur intrinsèque	Der (indexierte) Substanzwert ist der Wert, der aus verschiedenen Zustandswerten oder Zustandsindizes nach bestimmten Regeln zusammengesetzt wird und den momentanen Zustand der baulichen Substanz beschreibt [3].
Zielbezogener Substanzwert*	Valeur intrinsèque liée aux objectifs	Der zielbezogene Substanzwert ist ein kombinierter Wert, der aus den Zielwerten Substanzerhaltung und Leistungsfähigkeit zusammengesetzt wird. Er dient zur Beurteilung der Anlage aus der Sicht ihrer Betreiber.
Zielwert*	Valeur d'objectif	Aus verschiedenen Indikatoren kombinierter Wert, der einem funktionalen MSE- Ziel zugeordnet ist.
Zusammengesetzte Indizes	Indice composé	Zusammengesetzte Indizes drücken den Zustand aufgrund mehrerer Einzelmerkmale und damit einen Gesamtzustand aus [3].
Zustandsmerkmal	Caractéristiques d'état	Merkmale zur qualitativen und/oder qualitativen Darstellung eines Zustandes (z.B. Querebenheit) [5].
Zustandswert	Valeurs d'état	Der Zustandswert ist ein beobachteter oder gemessener Wert (in der Regel ein numerischer Wert) einer Zustandsgrösse [5]

*: Nicht in bestehenden VSS- Normen definiert

2 BEWERTUNG MITTELS ZIELBEZOGENER INDIZES (ANSATZ 1)

2.1 Einleitung

Zur Planung optimaler Massnahmen gelten die Zustandsmerkmale als die Grundlage.

Die Zustandsmerkmale werden einerseits zur Festlegung von definierten Zustandsbereichen, welchen bestimmte Massnahmen (standardisierte Massnahmen) zuzuweisen sind, verwendet. Andererseits werden durch deren gezielte Verknüpfung die Zielwerte gebildet, welche für die Massnahmenplanung als Grundlage dienen.

Dieser Ansatz beinhaltet eine umfassende Bewertung der Strasse mittels Bildung von Zielwerten aus den funktionalen Zielen des Erhaltungsmanagements, differenziert nach Strassenkategorie.

Damit soll einerseits die Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen unterstützt werden. Andererseits wird mit den kombinierten Zustandswerten ein Instrument zur Beurteilung der Entwicklung des allgemeinen Fahrbahnzustandes auf Netzebene bereitgestellt, das auch für Vergleichszwecke wie z.B. das Benchmarking eingesetzt werden kann (s. Abbildung 1).

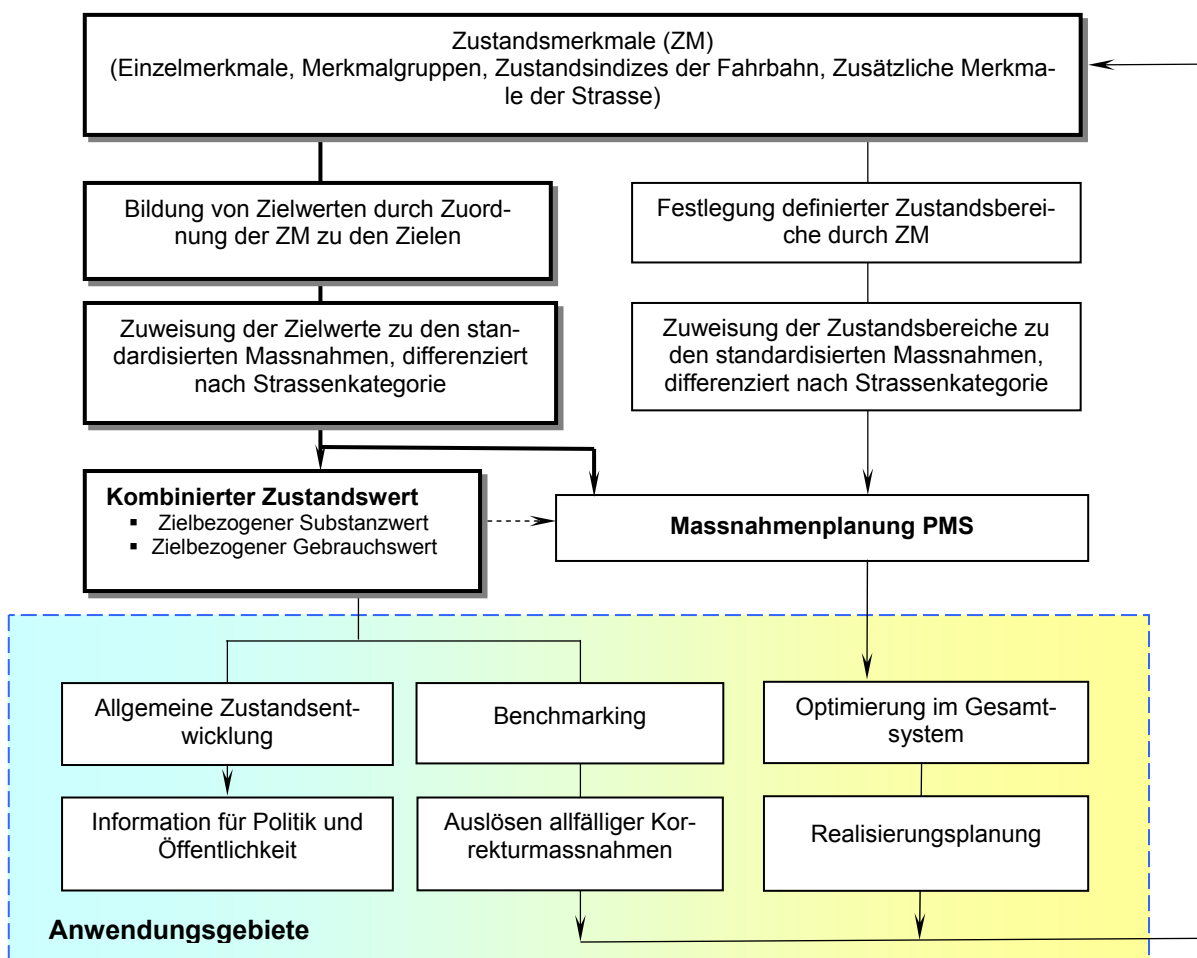


Abbildung 1: Zielwerte und kombinierte Zustandswerte mit ihren Anwendungsgebieten

Die Bestimmung von massgebenden Strassenkategorien wird in der Regel mittels einer funktionalen Bewertung des Strassennetzes [4] durchgeführt. Als relevante Kriterien können

beispielsweise Regionaler Charakter, DTV, Verkehrslastklasse und Ortslage dienen.

Tabelle 2 zeigt das Ergebnis einer funktionellen Bewertung, womit vier Strassenkategorien gebildet wurden.

Tab. 2: Beispiel zur Bildung von Strassenkategorien anhand einer funktionellen Bewertung

Kriterien	Ausprägungen			
Regionaler Charakter	Überregionale Strasse		Regionale Strasse	
Ortslage	Strassen ausserorts [a.o.]		Strassen innerorts [i.o.]	
Strassenkategorie	I = Übergeordnet a.o.	II = Untergeordnet a.o.	III = Übergeordnet i.o.	IV = Untergeordnet i.o.

2.2 Grundlagen des Konzepts

Die Grundlage dieses Konzeptes zur Gesamtbewertung der Fahrbahnen beruht auf der Bildung von Zielwerten und auf deren Verknüpfung zu einem zielbezogenen Gebrauchswert, welcher die Benutzerfreundlichkeit, Verkehrssicherheit, Betriebsbereitschaft und Umweltverträglichkeit der Strasse ausdrückt sowie einem zielbezogenen Substanzwert, welcher den Stand des Substanzverlustes und Leistungsfähigkeit der Strasse ausdrückt.

In einem nachfolgenden Abschnitt des Berichts wird gezeigt:

- Ob und wie weit diese Gesamtwerte die Massnahmenplanung unterstützen können
- Ob dafür sich die Zielwerte nicht mehr eignen würden
- Ob die Gesamtwerte nicht eher zur Beurteilung des allgemeinen Zustandes der Strasse sowie für andere Zwecke wie Benchmarking einzusetzen wären.

2.2.1 Komponenten

Für die Bildung der Zielwerte werden die unterstehenden Grössen verwendet, welche in den folgenden Kapiteln als „Komponenten“ bezeichnet sind (siehe Tabelle 3).

- Merkmalsgruppen (oder Einzelmerkmale) von der Indices I_0 und I_1
- Indizes I_2 bis I_5
- Zusätzliche Merkmale des erweiterten Zustandes der Strasse (zur Berücksichtigung der betrieblichen Aspekte, s. Tabelle 3)

Diese Grössen gelten als Komponenten der Zielwerte.

2.2.2 Strassenkategorie

In diesem Ansatz werden die Strassen bezüglich ihrer zulässigen Höchstgeschwindigkeit V_{zul} in zwei Gruppen, welche verschiedene Strassenkategorien repräsentieren, aufgeteilt.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit (V_{zul}) gilt deshalb als Kriterium, weil bestimmte Komponenten der Zielwerte (Einzelmerkmale oder Merkmalgruppen von I_0 , bzw. I_1) sowie der Index

¹ I_0, I_1 = Indices der Oberflächenschäden (I_0 ohne Spurrinnentiefe, I_1 mit visuell geschätzter Spurrinnentiefe), I_2 = Index der Längsebenheit, I_3 = Index der Querebenheit, I_4 = Index der Griffigkeit, I_5 = Index der Tragfähigkeit

I₃ Ebenheit, quer je nach V_{zul} einem anderen Ziel zuzuweisen sind.

Gruppe	Zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul}	Strassenkategorien
A	> 60 km/h	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hochleistungsstrassen (HLS), Nationalstrassen ▪ Kantonale Hauptverkehrsstrassen (HVS) ▪ Verbindungsstrassen ausserorts
B	≤ 60 km/h	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strassen innerorts

Diese einfache Klassierung der Strassen, die zu zwei Gruppen von Strassenkategorien führt, sollte für grosse und komplexe Strassennetze mit einer funktionellen Bewertung [4] durchgeführt werden, damit entsprechende Strassenkategorien gebildet werden können.

Dies bedeutet, dass alle massgebenden Einflussfaktoren wie Verkehrsbelastung“ Ausbaustandard, regionaler Charakter, wirtschaftliche Bedeutung, usw. als Kriterien zur Bildung der Strassenkategorien berücksichtigt werden können.

2.2.3 Ziele des Erhaltungsmanagements

Die untenstehenden Ziele gelten in diesem Konzept als die Grundlage zur Bildung und Verknüpfung der Komponenten.

Es sind diejenigen Ziele des MSE- Zielsystems. Definition der einzelnen Ziele siehe [1] und [2]), zu deren Erreichung eine bauliche oder betriebliche Erhaltungsmassnahme notwendig werden kann. Sie sind wie folgt:

- Betriebsbereitschaft
- Leistungsfähigkeit
- Verkehrssicherheit
- Benutzerfreundlichkeit
- Substanzerhaltung
- Umweltverträglichkeit

Die eindeutige Zuordnung der Zustandsmerkmale zu diesen Zielen erfolgt differenziert nach Strassenkategorie.

2.2.4 Normalisierte Werte

Die erhobenen Daten müssen zwecks Kombination vorab normalisiert werden d.h. in dimensionslose und vergleichbare Grössen umgewandelt werden. Es wird später gezeigt, dass sich der absolute Betrag der bewerteten Daten, zur Gewährleistung der Verhältnismässigkeit und Vergleichbarkeit, innerhalb von definierten Grenzen bewegt (innerhalb einer Bewertungsskala).

2.2.5 Zielwerte

Die Zielwerte lassen sich durch Verknüpfung der gewichteten Komponenten bilden. Die Anwendungsmöglichkeiten der Zielwerte sind:

- Zielorientierte sowie wirtschaftliche Massnahmenplanung auf der Netzebene
- Systematische Beurteilung der Entwicklung des durchschnittlichen Zustandes der Strasse

- Vergleich des allgemeinen Zustandes von Strassennetzen in verschiedenen Strassenverwaltungen (Benchmarking)
- Berechnung des Nutzens von Erhaltungsmaßnahmen
- Optimale Bewirtschaftung der eingesetzten Mittel.

Jede Komponente des Zielwertes (Merkmal oder Merkmalgruppe des Zustandes) hat einen Indikator (Messindikator). Diese Indikatoren sind in der Tabelle 3 aufgezeigt.

Der Vorgang der Normalisierung ist für die Zustandsindizes der Fahrbahnen in der Norm SN 640 925b beschrieben. Als Resultat der Normalisierung dieser Indizes werden Werte auf einer Bewertungsskala zwischen 0 und 5 ermittelt.

Der normalisierte Indikator der einzelnen Komponenten wird nachfolgend als N bezeichnet und sein Wert liegt zwischen 0 und 5.

$$\text{(gut) } 0 \leq N \leq 5 \text{ (schlecht)}$$

Die Normalisierung für die zusätzlichen Merkmale der Strasse erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden die gemessenen Werte als dimensionslose Verhältniszahl umgerechnet und dann der Bewertungsskala 0 bis 5 zugeordnet.

In den folgenden Abschnitten wird gezeigt, dass diese als Verhältniszahl \tilde{N} als Verhältnis zwischen dem gemessenen Zustand und einem definierten Zustand (z.B. dem „maximal geschädigten“ Zustand) gebildet wird, somit der Wert von \tilde{N} zwischen 0 und 1 liegt.

Der nächste Schritt, nämlich die Zuordnung dieser Verhältniszahl zur gewünschten Skala, wird wie folgt erfolgen:

$$N = 5 \times \tilde{N}$$

Darin bedeuten:

- N = normalisierter Indikator der zusätzlichen Merkmale (ausgedrückt als dimensionslose Verhältniszahl zwischen 0 und 5, gemäss Bewertungsskala)
- 5 = Faktor der Umwandlung des Wertebereichs von \tilde{N} zum Wertebereich der gewählten Bewertungsskala von N
- \tilde{N} = Verhältniszahl, repräsentativ für den Schadensgrad (Verhältnis des gemessenen Wertes des Indikators eines Einzelmerkmals oder einer Merkmalgruppe zum Wert des maximal oder festgelegten geschädigten Zustand)

Die allgemeine Formel zur Bestimmung des Zielwertes lautet:

$$\text{Zielwert} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times N_i$$

Darin bedeuten:

- λ_i = Gewicht der Komponente i (für den Zielwert)
- N_i = normalisierter Indikator der Komponente i (nach Berücksichtigung des Korrekturfaktors μ für die Erhebungsgenauigkeit)
- n = Anzahl der Komponenten

Durch Gewichtung und Kombination der Zielwerte werden die Substanz- und Gebrauchswerte für die Strasse als Anlage- und Betriebselement berechnet.

2.2.6 Kombinierte Zustandswerte

Die Tabelle 3 sowie die Abbildung 2 zeigen die kombinierten Zustandswerte, die durch Ver-

knüpfung und Gewichtung der Zielwerte bzw. für unterschiedliche Anwendungen gebildet wurden.

In der Norm SN 640 904 [3] werden die kombinierten Zustandswerte der Fahrbahnen (Substanz- und Gebrauchswert) sowohl als indexierte, als auch monetäre Werte beschrieben, wobei für den vorliegenden Forschungsauftrag nur die indexierten Werte verwendet wurden.

Weil bei der Beurteilung der gemessenen Werte der Indikatoren eine Skala verwendet wird, bei welcher der Bereich 0-1 = gut und 4-5 = schlecht bedeutet und nicht je grösser der Wert des Indikators desto schadhafter die Strasse ist, entsteht hier ein Zielkonflikt wie folgt:

höhere Substanz- oder Gebrauchswerte bedeuten schlechtere Zustände

Die allgemeine Formel zur Bestimmung der kombinierten Zustandswerte lautet:

$$\text{Zielbezogener Substanzwert bzw. Gebrauchswert} = \sum [G_i] \times (Z_i)$$

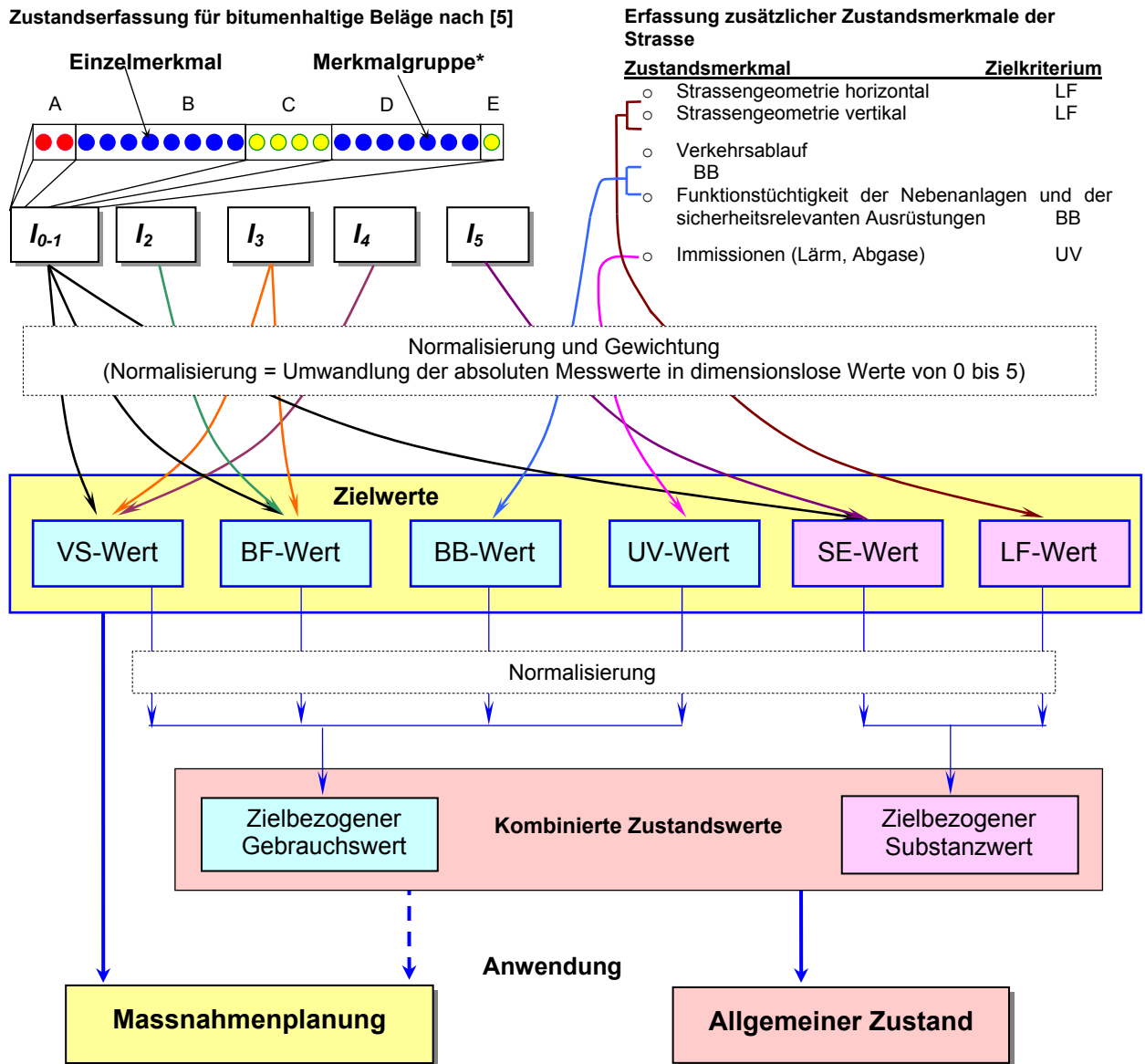
Darin bedeutet:

G_i = Gewicht des einzelnen Zielwertes

Z_i = Zielwert

Nachstehend werden die Prozesse zur Bildung eines zielbezogenen Substanzwertes und eines zielbezogenen Gebrauchswertes sowie die Anwendungsgebiete der Gesamtwerte erläutert.

Komponenten (Zustandsmerkmale und Zustandsindizes)



I_0, I_1 = Indices der Oberflächenschäden (I_0 , ohne Spurrinntentiefe, I_1 , mit visuell geschätzter Spurrinntentiefe), I_2 = Index der Längsebenheit, I_3 = Index der Querebenheit, I_4 = Index der Griffigkeit, I_5 = Index der Tragfähigkeit, VS = Verkehrssicherheit, SE = Substanzerhaltung, BF = Benutzerfreundlichkeit, LF = Leistungsfähigkeit, BB = Betriebsbereitschaft, UV = Umweltverträglichkeit

*: A = Oberflächenglätte, B = Belagsschäden, C = Belagsverformungen, D = Strukturelle Schäden, E = Flicke

Abb. 2: Bildung und Anwendung der Zielwerte und kombinierten Zustandswerte für Strassen

2.2.7 Bewertungsskala

Die Bewertungsskala hat einen Wertebereich und legt fünf Bereiche für die Gesamtwerte und die Zielwerte fest.

Die Bewertung erfolgt nach dem Prinzip: Je mehr Schäden, desto höher die Bewertung.

Im Sinne der Einfachheit wird für alle Werte folgende Skalierung verwendet:

Werte	Bewertung B				
Normalisierter Indikator N	$0 < B \leq 1$	$1 < B \leq 2$	$2 < B \leq 3$	$3 < B \leq 4$	$4 < B \leq 5$
Zielwerte	(gut)	(mittel)	(ausreichend)	(kritisch)	(schlecht)
Substanzwert, Gebrauchswert					

Nachfolgend wird die Zuordnung von Zustandsgrössen zu den Zielen erörtert (Zuordnungsregel). Dabei werden nebst den weiteren Merkmalen alle Zustandsmerkmale der Fahrbahn, gemäss Norm SN 640 925b [5], als Komponenten berücksichtigt.

2.2 Zuordnungsregeln

Die Zuordnungsregel ist auf der Grundlage von Zustandserhebung und Zustandsbewertung gemäss [5] aufgebaut, wofür die benötigten Zustandsdaten in vielen Kantonen und beim Bund teilweise schon vorhanden sind.

Die zusätzlichen weiteren Merkmale, welche die Berücksichtigung aller funktionalen Ziele für die Strasse beschreiben, werden bei dieser Zuordnungsregel zur erweiterten Bewertung der Strasse (inkl. des Verkehrsgeschehens) berücksichtigt.

Tabelle 3 zeigt die Regel der Zuordnung für Strassen mit bitumenhaltiger Fahrbahn zu den erwähnten zusätzlichen Merkmalen. Die wichtigsten Bausteine der Zuordnungsregel werden nachfolgend beispielhaft beschrieben.

Tab. 3: Zuordnung der umfassenden Zustandsmerkmale der Strasse zu den Zielen für messtechnische und visuelle Zustandserhebungen (Beispiel für Hauptstrassen ausserorts mit bitumenhaltigem Belag und Vz_{zul} > 60 km/h)

Nr.	Strasse	Indizes	Erhebung	Zustandsmerkmale (Einzelindizes, Merkmalgruppen und Einzelmerkmale als Komponenten)	Ziel	N = Indikator (0 bis 5)	Zielwerte (Komponenten)
1	Als Anlagen-Element	I ₀₋₁ (Wert der Oberflächenschäden, gemäss [5]a)	Visuell oder messtechnisch	Oberflächenglätte ▪ Polieren ▪ Schwitzen	VS	Gemäss [5] = f [(A) x (S)] (für visuelle Aufnahmen), für I ₀₋₁ = f [gemessener Wert - Schwellenwert] / (Soll- Wert - Schwellenwert)] (für I ₂ bis I ₅)	<p>N = Normalisierter Indikator für Merkmalgruppen von Index I₁ sowie für Indizes I₂ bis I₅, gemäss [5] und für neu festzulegende Indikatoren der Merkmalgruppen Nr. 10 - 15</p> <p>VS- Wert = f [(Oberflächenglätte), (Belagsverformungen), (<i>Ebenheit quer</i>), (<i>Griffigkeit</i>), (Funktionstüchtigkeit der sicherheitsrelevanter Ausrüstungen)]</p> <p>SE- Wert = f [(Belagsschäden), (Strukturelle Schäden), (<i>Tragfähigkeit</i>)]</p> <p>BF- Wert = f [(Flicke), (<i>Ebenheit längs</i>)]</p> <p>LF- Wert = f [(<i>Strassengeometrie horizontal</i>), (<i>Strassengeometrie vertikal</i>)]</p> <p>BB- Wert = f [(<i>Verkehrsablauf</i>), (Funktionstüchtigkeit der Nebenanlagen)]</p> <p>UV- Wert = f [(Lärm), (Abgase)]</p>
2				Belagsschäden ▪ Abrieb ▪ Ausmagerungen / Absanden ▪ Kornausbrüche ▪ Ablösungen ▪ Schlaglöcher ▪ Offene Nähte ▪ Querrisse ▪ Wilde Risse	SE		
3				Belagsverformungen ▪ (Spurrinntiefe) ▪ Aufwölbungen ▪ Wellblechverformung ▪ Schubverformung	VS*		
4				Strukturelle Schäden ▪ Setzungen / Einsenkungen ▪ Anrisse von Setzungen ▪ Abgedrückte Ränder ▪ Belagsrandrisse ▪ Frosterhebungen ▪ Längsrisse ▪ Netzrisse	SE		
5				Flicke ▪ Flicke	BF		
6	Als Betriebselement	Zusätzliche Zustandsmerkmale der Strasse	messtechnisch	Ebenheit längs	BF		
7				Ebenheit quer	VS*		
8				Griffigkeit	VS		
9				Tragfähigkeit	SE		
10				Strassengeometrie horizontal	LF	<p>Ausserortsstrassen: f[Längsneigung, LKW- Anteil] für Autobahnen sowie f[Längsneigung, LKW- Anteil, Kurvigkeit] für übrige</p> <p>Innerortsstrassen: f[Leistungsfähigkeit der Knoten]</p>	
11	Strassengeometrie vertikal	LF	f [Längsneigung]				
12	Verkehrsablauf	BB	f [DTV _{Max}]				
13	visuell	Funktionsfähigkeit	Nebenanlagen	BB			
14			Sicherheitsrelevante Ausrüstungen	VS	Subjektiv von 1 (gut) bis 5 (schlecht)		
15	Immissionen (Lärm / Abgase)		UV				

* Beziehungsweise BF (Benutzerfreundlichkeit) für Strassen mit V_{zul} ≤ 60 km/h

VS = Verkehrssicherheit, **SE** = Substanzerhaltung, **BF** = Benutzerfreundlichkeit, **LF** = Leistungsfähigkeit, **BB** = Betriebsbereitschaft, **UV** = Umweltverträglichkeit

Zu beachten ist, dass die Tabelle 3 ein Beispiel für Hauptstrassen ausserorts mit $V_{zul} > 60$ km/h zeigt. Für andere Strassen ($V_{zul} \leq 60$ km/h) gelten dieselben Regeln, jedoch sind die Zustandsmerkmale Belagsverformungen sowie Ebenheit quer nicht mehr dem Ziel Verkehrssicherheit, sondern dem Ziel Benutzerfreundlichkeit zuzuordnen. Für Hochleistungsstrassen sind die Werte entsprechend anzupassen.

Für Hochleistungsstrassen sind die Werte entsprechend anzupassen.

2.2.1 Gewichtung der Komponenten

Die Gewichtung der Komponenten zur Bildung von Zielwerten erfolgt aufgrund ihrer Bedeutung für den entsprechenden Zielwert. Diese Gewichtung kann subjektiv nach Erkenntnissen der Strasseneigentümer oder objektiv nach Durchführung von Ursachenanalysen der aufgenommenen Zustände oder nach Verfahren Gewichtete Summation, Analytischer Hierarchieprozess vorgenommen werden, [vgl. 16].

Die Gewichtung λ berücksichtigt die unterschiedliche Bedeutung der Komponenten für den Zielwert.

Die Bestimmung von λ muss differenziert nach Strassenkategorie und evtl. Belagsart erfolgen.

Bis zum Vorliegen neuer Erkenntnisse wird die Gewichtung λ aufgrund von Erfahrungswerten subjektiv vergeben. Dazu enthält der nächste Abschnitt einen Vorschlag.

Nachfolgend wird ein Beispiel für die Gewichtung der Komponenten des Zielwerts und die Berechnung der Zielwerte gezeigt.

2.2.2 Verknüpfung

Die Verknüpfung der Komponenten N zu den Zielwerten erfolgt durch den Beiwert λ_i .

N_i = Komponente i

$$\text{Zielwert} = \sum_{i=1}^n \lambda_i * N_i$$

λ_i = Gewicht

i = Komponente

2.2.3 Gewichtung der Komponenten der kombinierten Zustandswerte

Für die Bildung der kombinierten Zustandswerte (zielbezogener Gebrauchswert- und Substanzwert) werden die Zielwerte nochmals gewichtet. Diese Gewichtung wird nachfolgend als Gewichtung G näher erläutert.

Diese in %- Zahlen ausgedrückte Gewichtung berücksichtigt die unterschiedliche Bedeutung der Zielwerte für die kombinierten Zustandswerte. Dabei wird die Summe der Gewichte für die zielbezogenen Gebrauchswerte- und die zielbezogenen Substanzwerte je 100% betragen.

2.2.4 Schadensgrad \tilde{N}

Die Berücksichtigung der Zustandsmerkmale bei der Bildung von Zielwerten erfolgt durch den jeweiligen Schadensgrad (Messindikator) N , der eine dimensionslose Verhältniszahl zwischen 0 (guter Zustand) und 1 (schlechter Zustand) bedeutet. Die allgemeine Formel zur

Berechnung von N lautet:

$$0 \leq \tilde{N} = \frac{\text{Zustandswert (indexiert)}}{5} \leq 1$$

Für die Komponenten der Oberflächenschäden (I_0, I_1) kann dieser Wert durch das Verhältnis des Produktes von erhobenen Werten von [A] und [S] (Ausmass A und Schwere S der Schäden, gemäss [5]) zum maximalen Wert von [A] x [S] (vollständig geschädigter Zustand = 9), als Schadensgrad eingesetzt werden.

Für die Berechnung des Schadensgrads \tilde{N} für die weiteren Komponenten der Zielwerte gelten folgende Regeln gelten (vgl. Abbildung 3):

Messtechnische Zustandsaufnahme (I_2 bis I_5):

$$\tilde{N} = \frac{\text{Erhobener Wert} - \text{Sollwert}}{\text{Schwellenwert} - \text{Sollwert}} = \frac{a}{b}$$

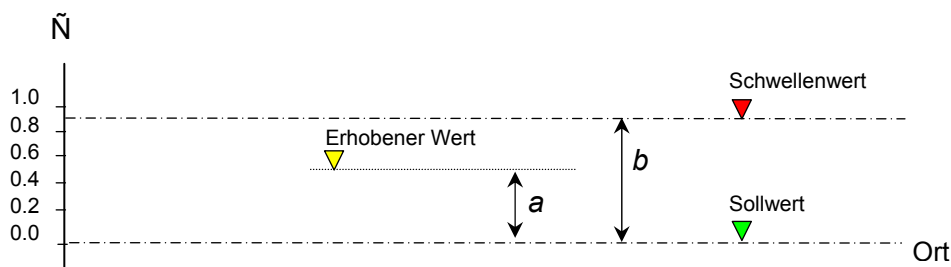


Abb. 3: Relevante Grössen zur Bestimmung des Indikators \tilde{N} der Zustandserhebung (I_2 bis I_5)

Zu beachten ist, dass der Schadensgrad \tilde{N} zur Bewertung von I_4 (Griffigkeit) so ausgelegt werden muss, dass damit der Griffigkeitsverlust bewertet wird, (vgl. [4]).

Der Indikator der Merkmale Strassengeometrie horizontal und derjenige von Strassengeometrie vertikal werden durch das Verhältnis der Kurvigkeit bzw. der Längsneigung (Längsgefälle) der Strasse zu einem definierten fiktiven Vergleichszustand (Referenzabschnitt) festgelegt.

Sinngemäss lässt sich der Schadensgrad \tilde{N} für andere Merkmale festlegen.

Für die subjektive Bewertung der Funktionstüchtigkeit der Nebenanlagen und sicherheitsrelevanten Ausrüstungen (Leitplanken, Lichtsignalanlagen, Blendschutz, etc.) wird anstatt des Schadensgrads N direkt der Wert der Bewertungsskala, welcher den Zustand dieser Anlagen in 5 Bereichen von gut (Bewertung 0...1) bis schlecht (Bewertung 4...5) festlegt, angewendet.

Zur Berücksichtigung der Merkmale Lärm und Abgase können auch entsprechende Messungen vorgenommen werden. Entsprechend wird auch hier das subjektive Urteil als Bewertungsindikator und mit gleichem Bewertungsverfahren wie für die Funktionstüchtigkeit der Nebenanlagen und sicherheitsrelevanten Ausrüstungen verwendet.

Die Massnahmenplanung aufgrund der ermittelten Zielwerte und der kombinierten Zustandswerte wird im nächsten Abschnitt behandelt. Zuvor wird eine weitere vereinfachte Regel der Zuordnung der Merkmale zu den Zielen zur Bildung dieser Werte anhand eines Beispiels erläutert.

2.2.5 Beispiel

Dieser Bericht beinhaltet drei Beispiele. Das erste Beispiel befasst sich mit der Zuordnung der Merkmale zu den Zielen und ist in zwei Teile gegliedert:

- Teil 1: Gewichtung der einzelnen Komponenten der Zielwerte λ
- Teil 2: Gewichtung der Zielwerte zur Berechnung der kombinierten Zustandswerte (zielbezogener Gebrauchswert- und Substanzwert).

In den Beispielen 2 und 3 (Abschnitt 4.2) wird die Massnahmenplanung aufgrund der Zustandsdaten (des Beispiels 1) jeweils nach einem der beiden Bewertungsansätze (Zuordnung der Merkmale zu den Zielen sowie spezifische Bewertungskennzahlen) durchgeführt.

Gewichtung λ

Es wird eine Strasse der Gruppe A, d.h. $V_{zul} > 60$ km/h, betrachtet, für die der Index I_1 visuell und die anderen Indizes, inkl. zusätzliche Merkmale, messtechnisch erhoben worden sind.

In diesem Beispiel wird auf den Korrekturfaktor zur Korrelation der beiden Erhebungsarten verzichtet.

Die Bestimmung der Gewichte λ kann entweder subjektiv oder objektiv nach Methoden der multikriteriellen Optimierung (Gewichtete Summation, Analytischer Hierarchieprozess, etc.) erfolgen.

Die Tabelle 4 zeigt ein Beispiel einer subjektiven Gewichtung der Komponenten:

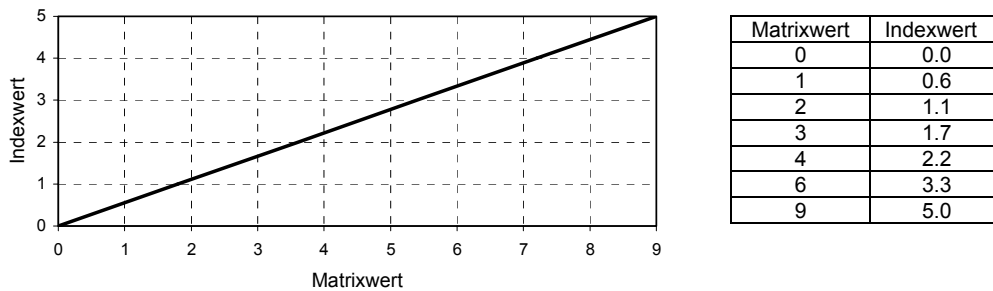
Tab. 4: Beispiel subjektiv festgelegter Gewichte λ

Zielwerte	λ (visuelle Erhebung von I_1)	λ (messtechnische Erhebung)	Σ (%)
VS- Wert	10% (Oberflächenglätte) 5% (Belagsverformungen) 10% (Funktionstüchtigkeit der sicherheitsrelevanten Ausrüstungen)	5% (Ebenheit quer) 70% (Griffigkeit)	100
SE- Wert	20% (Belagsschäden) 30% (Strukturelle Schäden)	50% (Tragfähigkeit)	100
BF- Wert	30% (Flicke)	70% (Ebenheit längs)	100
LF- Wert	0%	40% (Strassengeometrie horizontal) 60% (Strassengeometrie vertikal)	100
BB- Wert	30% (Funktionstüchtigkeit der Nebenanlagen)	70% (Verkehrsablauf)	100
UV- Wert	90% (Lärm) 10% (Abgase)	0%	100

Aus der Tabelle geht hervor, dass z.B. für den VS-Wert die Komponenten, welche visuell

erhoben wurden insgesamt mit 25% und die messtechnisch ermittelten Komponenten mit 75% gewichtet sind. Dieses Verhältnis ist für den SE-Wert 50% (20% + 30%) - 50%, usw. Falls nur visuell oder nur messtechnisch, erhoben wurde müssten die Gewichte neu verteilt werden.

Gemäss SN 640 925 werden die Komponenten des Index I_1 , welche mit $[A] \times [S]$ ausgedrückt werden, zunächst ebenfalls normalisiert werden müssen, d.h. in eine Skala von 0 bis 5 umgewandelt und erst dann in den Berechnungen berücksichtigt werden.



Gewichtung G

Diese Gewichtung trägt der unterschiedlichen Bedeutung einzelner Zielwerte für die Bestimmung der zielbezogenen Gebrauchs- und Substanzwerte Rechnung. Selbstverständlich kann auch diese Gewichtung entweder subjektiv oder objektiv Optimierung erfolgen.

Im Folgenden wird dazu ein Beispiel gezeigt:

	<u>Zielwerte</u>	<u>Subjektives Gewicht</u>
Zielbezogener Gebrauchswert	Verkehrssicherheit- Wert	35%
	Benutzerfreundlichkeit- Wert	20%
	Betriebsbereitschaft- Wert	30%
	Umweltverträglichkeit- Wert	15%
Zielbezogener Substanzwert	Substanzerhaltung- Wert	90%
	Leistungsfähigkeit- Wert	10%

Zum Vergleich gelten in Deutschland für die Komponenten der kombinierten Zustandswerte für Fahrbahnen folgende Gewichtungen:

Gebrauchswert:	Griffigkeit	Verkehrssicherheit	50%
	Fiktive Wassertiefe	Benutzerfreundlichkeit/Verkehrssicherheit	25%
	Allg. Unebenheit oder Spurrinnen	Benutzerfreundlichkeit / Verkehrssicherheit	25%

Substanzwert	Netzrisse	Substanzerhaltung	50%
	Flickstellen	Benutzerfreundlichkeit/Substanzerhaltung	25%
	Allg. Unebenheit oder Spurrinnen	Benutzerfreundlichkeit / Verkehrssicherheit	25%

Das in Deutschland angewendete Verfahren berücksichtigt die Ziele Verkehrssicherheit, Substanzerhaltung und Benutzerfreundlichkeit. Darin werden jedoch die Merkmale nicht eindeutig zu den Zielen zugewiesen (z.B. Spurrinnen oder Flickstellen könnten sowohl Verkehrssicherheit, als auch Benutzerfreundlichkeit zugewiesen werden). Deshalb können damit keine "Zielwerte" gebildet werden.

Zudem sind die Komponenten nicht voneinander unabhängig (Fiktive Wassertiefe und Spurrinnen) und einige Komponenten kommen in den beiden Werten Gebrauchs- und Substanzwert vor (z.B. Allgemeine Unebenheit, Spurrinnen).

3. ZUSTANDSBEZOGENE INDIKATOREN (ANSATZ 2)

3.1 Vorarbeiten

Zum Thema Zustandsindikatoren wurden in den letzten Jahren verschiedene Forschungsarbeiten durchgeführt, welche sehr stark an die Weiterentwicklung der entsprechenden Normen angelehnt sind. Dabei handelt es sich um die folgenden Forschungsarbeiten:

- 09/95 Erfahrungsbilanz in der Anwendung der Norm SN 640 925 – Ausarbeitung der Grundlagen für eine Anpassung der Gewichtungen und der Bewertungsskala [12]
- 11/99 Verhaltensmodelle [13]
- 12/99 Evaluation de Strassenzustandes [6]
- 13/2000 Grundlagen zur Revision der Norm SN 640 925a inkl. Schadenkatalog [14].

3.2 Normenvorgaben

Die Norm über die Zustandserhebung und Indexbewertung von Fahrbahnen nennt die wesentlichen zu erfassenden Zustandsmerkmale und legt, soweit notwendig, die Methodik der Aufnahme und das Verfahren zur Bewertung fest. Dabei werden die im Feld erhobenen Messgrößen durch vorgegebene Funktionen in eine einheitliche, dimensionslose Bewertungsskala umgewandelt. Die Verwendung dieser Bewertungsskala dient dazu, den Vergleich von Strassen oder Netzen mit unterschiedlichen Schadenbildern zu ermöglichen, wobei diese Vergleiche mit Vorteil anhand eines zusammengesetzten Indexes vorzunehmen sind.

Die in der Norm betrachteten Merkmale oder Oberflächeneigenschaften haben einen relativ direkten Bezug zu einer bestimmten Schadenursache und dienen damit der Schadenanalyse und der Wahl der geeigneten Massnahme (SN 640 730 ff).

Zusätzlich können verschiedene Merkmale, beziehungsweise entsprechende Mängel, auch mit gewissen Folgen für den Strassenutzer in Zusammenhang gebracht werden, d.h. es entstehen daraus Nutzerkosten, sei es in Form von Zeitkosten, Unfallkosten oder Fahrzeugbetriebskosten.

Tab. 5: Zustandsmerkmale und Nutzerkosten, [17]

Parameter	Wirkung	Einfluss auf
Textur	Wasserverdrängung	Unfallkosten
	Rauhtiefe \Rightarrow Rollwiderstand	Treibstoffverbrauch
	Geschwindigkeitsreduktion	Zeitkosten
Längsebenheit	Geschwindigkeitsreduktion	Treibstoffverbrauch
	Geschwindigkeitsreduktion	Zeitkosten
	Erschütterungen	Fahrzeugbetriebskosten
Spurrinnen	Aquaplaningrisiko	Unfallkosten
	Wassertiefe \Rightarrow Rollwiderstand	Treibstoffverbrauch
Griffigkeit	Rutschgefahr bei Nässe	Unfallkosten
	Erhöhte Unfallhäufigkeit	Unfallkosten
	Geschwindigkeitsreduktion	Zeitkosten

Entsprechend einer uneinheitlichen Praxis bezüglich des Umfanges der regelmässig netz-

weit erhobenen und damit auch verfügbaren Zustandsdaten werden in der Norm SN 640 904 [] verschiedene Möglichkeiten der Bestimmung eines Gesamtindex angeboten.

3.3 Ausländische Beispiele

Eine ausführliche Auswertung der im Ausland gebräuchlichen Verfahren wurde im Forschungsbericht Evaluation des Strassenzustandes [6] vorgenommen, auf den hier ohne detaillierte Wiederholungen hingewiesen wird. Zusammenfassend können aus der Auflistung im erwähnten Forschungsbericht folgende Erkenntnisse genannt werden:

- je nach Verwendungszweck wird ein ähnlicher "Katalog" von Schadenmerkmalen erhoben wie nach der Norm SN 640 925b
- die (geschätzten) Erfassung von Spurrinnen nach Schwere und Ausmass ist nur in der Norm SN 640 925 erwähnt; bei allen anderen Verfahren wird grundsätzlich die Spurrinentiefe in mm erhoben
- das einzige in einigen ausländischen Methoden mehrfach erwähnte Merkmal, das in den VSS Normen nicht erwähnt wird, ist die Texturtiefe
- in verschiedenen Methoden werden aus der Gesamtmenge der erhobenen Parameter zwei oder drei zusammengesetzte Grössen abgeleitet:
 - in Frankreich eine note de surface und eine note de structure
 - in Deutschland ein Komfortwert, ein Sicherheitswert und ein Substanzwert und aus allen drei schliesslich ein Gesamtwert
 - in Österreich ein Substanzwert und ein Gebrauchswert, daraus schliesslich ein Gesamtwert

Die Verwendung verschiedener Kenngrössen für Spartenindizes in Deutschland, Frankreich und Österreich ist in der Übersicht von Tabelle 6 zusammengefasst.

Tab. 6: Auswahl von Einzelindizes für Spartenindizes in Deutschland, Frankreich und Österreich.

Parameter	Sicherheitswert			Gebrauchswert (A), Komfort (D), surface (F)			Substanzwert		
	A	D	F	A	D	F	A	D	F
Längsebenheit				X	X	(X)	X		(X)
Querebenheit		X		X	X	X	X		X
Wassertiefe		X		X					
Griffigkeit		X		X		X			
Textur						X			
Netzrisse							X	X	X
Längsrisse									X
Querrisse									X
Ausmagerungen								X	
Schwitzen						X			
Materialverlust						X			
Flicke							X	X	X

3.4 Anwendungsbereich und Spartenauswahl

3.4.1 Anwendungsbereich

Ein wesentliches Ergebnis der Forschungsarbeit 12/99 Evaluation des Strassenzustandes [6] ist die Auseinandersetzung mit der Frage nach dem Bedarf und der Verwendung von Zustandsindizes, welche eine deutliche Unterscheidung zwischen Einzelindizes und zusammengesetzten Indizes vornimmt und im Ergebnis den Einzelindizes und den zusammengesetzten Indizes verschiedene Aufgaben zuweist.

Auf der Projektebene, dort wo das "diagnostische" Element dominiert, sind ausschliesslich Einzelindizes anwendbar, auf der Netzebene hingegen, wo die "strategische Sicht" vorherrscht mit der Festlegung der Prioritäten, der Verteilung der Mittel und der Budgetplanung, erleichtern zusammengesetzte Indizes die Übersicht und die Vergleichbarkeit.

- Anders ausgedrückt stellen die Einzelindizes, und ausschliesslich diese, die Grundlage dar für
- die Durchführung einer technisch korrekten Massnahmenwahl,
- die Herleitung von Verhaltensmodellen,
- die Ermittlung der geplanten Massnahmenkosten.

Zusammengesetzte Indizes dienen hingegen dem Vergleich von Strecken oder Netzen untereinander oder bezüglich ihrer zeitlichen Entwicklung.

3.4.2 Spartenauswahl

Als Spartenindizes werden zusammengesetzte Indizes verstanden, bei denen die Auswahl der berücksichtigten Einzelkomponenten nach bestimmten Kriterien erfolgt. Bei der Beurteilung von Fahrbahnen können folgende Kriterien die Grundlage für eine ganz spezifische Betrachtung bilden:

- Verkehrssicherheit
- Fahrkomfort
- Bestand der Anlage.

Die Umsetzung dieser spezifischen Betrachtung führt zur Bildung entsprechender Kenngrößen, welche wie folgt benannt werden können:

- Sicherheitsindex (umfasst die Parameter welche die Verkehrssicherheit beeinflussen)
- Gebrauchswert (umfasst die Parameter welche die Qualität der Fahrbahn aus der Sicht des Strassennutzers beeinflussen)
- Substanzwert (umfasst die Parameter welche für den Bestand der Anlage massgebend sind).

Im Quervergleich zu den ausländischen Beispielen (siehe Abschnitt 2.3) erkennt man, dass der Gebrauchswert (A), bzw. die note de surface (F) sowohl sicherheits- als auch komfortbezogene Parameter umfassen.

Der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Einzelindizes (Parameter) zu den oben erwähnten Kriterien ist in der folgenden Tabelle 7 dargestellt. Die in dieser Tabelle verwendeten Indexbezeichnungen entsprechen den Vorschlägen für die Revision der Norm SN 640 926, wie sie im Schlussbericht zum Forschungsauftrag 13/2000 [] ausführlich vorgestellt, erläutert und begründet werden.

Tab. 7: Zuordnung der Einzelindizes zu den Bewertungskriterien

Einzelindex	Sicherheitswert	Gebrauchswert	Substanzwert
A1 Oberflächenglätte	√	√	-
A2 Belagschäden	-	√	-
A3 Belagsverformungen	√	√	-
A4 Strukturelle Schäden	-	-	√
A5 Flicke	-	-	√
B1 Oberflächenglätte	√	√	-
B2 Materialverluste	-	√	√
B3 Fugen- und Kantenschäden	-	√	√
B4 Vertikale Verschiebungen	-	√	√
B5 Risse	-	-	√
B6 Flicke	-	-	√
Index I ₂ Längsebenheit	-	√	√
Index I ₃ Spurrinnen	√	√	-
Index I ₄ Griffigkeit	√	√	-
Index I ₅ Tragfähigkeit	-	-	√

3.5 Vorschläge

3.5.1 Allgemeines

Die Bildung von Spartenindizes ist u.a. von den verfügbaren Daten abhängig. Im Rahmen eines Umfeldes – der derzeitigen Praxis in der Schweiz – welches z.Z. noch keinesfalls homogen ist, können kaum Vorschläge ausgearbeitet werden, die ohne weiteres in jedem Einzelfall sofort angewendet werden können. Entsprechend der allgemeinen Zielsetzung des Forschungsauftrages, wonach solche Spartenindizes für verschiedene Strassentypen auszuarbeiten sind, werden im folgenden zwei Hauptfälle unterschieden:

- Fall 1: nur Daten aus einer visuellen/manuellen Erfassung vorhanden
- Fall 2: Daten aus visueller und messtechnischer Erfassung vorhanden

Die hier erwähnten Fälle lassen sich nicht konkret bestimmten Strassenkategorien zuordnen, denn die Entscheidung über den Umfang einer systematischen Zustandserfassung hängt von verschiedenen Faktoren ab und von der Bedeutung, welche die zuständigen Strassenverwaltungen der Verfügbarkeit und der Nutzung von Zustandsdaten zuweisen. Aufgrund der derzeitigen Situation in der Schweiz lassen sich für die genannten Fälle folgende typische Situationen nennen, welche im Allgemeinen netzweit für alle Kategorien angewendet werden:

- Fall 1: meistverbreiteter Anwendungsfall im kommunalen Bereich, teilweise auch auf Netzebene bei Kantonsstrassen, mehrheitlich jedoch auf Teilnetze ohne kantonale Hauptstrassen beschränkt.
- Fall 2: entspricht der Praxis für alle Nationalstrassen, sehr häufiger Fall für kantonale Strassennetze.

Entsprechend der Praxis bei den Einzelindizes und den zusammengesetzten Indizes der Norm SN 640 925b wird auch für die nachfolgend ausgearbeiteten Spartenindizes eine dimensionslose Skala von 0 (= Bestnote) bis 5 (= schlechtester Wert) angewendet.

Die gewählte Formel für die Indexberechnung beim Gebrauchswert und beim Substanzwert,

welche über einen statistischen Ansatz zur Bestimmung eines Gesamtwertes führt und welcher sich verstärkt am tiefsten Einzelindex orientiert, hat es als überflüssig erscheinen lassen, bereits auf dieser Ebene eine stärkere Gewichtung von Einzelfaktoren einzuführen. Vielmehr geht man hier davon aus, dass für die Bestimmung von Prioritäten andere, vom Zustand unabhängige Kriterien, wie z.B. Strassenkategorie die Verkehrsbelastung oder überhaupt die funktionelle Bewertung, eher zu berücksichtigen seien. Diese Thematik wird in Kapitel 3 des vorliegenden Berichtes ausführlicher behandelt.

3.5.2 Sicherheitswert (indexiert)

Die Verkehrssicherheit ist das Kriterium, welches jeweils den dringendsten Handlungsbedarf (Sofortmassnahmen) hervorruft; deshalb wird für diesen Fall ein konkreter Vorschlag unterbreitet. Zudem stellt die Verkehrssicherheit auch eines der wesentlichen Entscheidungskriterien im Rahmen der Erhaltungsplanung der Nationalstrassen (UPlaNS) dar.

Wesentliche Faktoren für die Verkehrssicherheit sind die Reibungsverhältnisse und das Risiko von Aquaplaning. Der aus der visuellen Aufnahme stammende Index der Oberflächenglätte kann gewisse Hinweise auf die tatsächliche Situation geben, wobei diese vorsichtige Formulierung darauf beruht, dass bei der visuellen Aufnahme das "Polieren" sehr unzuverlässig, wenn überhaupt, erfasst werden kann. Die Reibungsverhältnisse können aber besser beurteilt werden, wenn Daten aus der Griffigkeitsmessung vorliegen. Das Risiko von Aquaplaning wird durch die theoretische Wassertiefe t ausgedrückt, indirekt aber auch durch das gesamte Ausmass allenfalls vorhandener Spurrinnen (Index I_3).

Ein Sicherheitsindex soll dazu dienen, auf die Dringlichkeit von Massnahmen und die davon betroffenen Strecken aufmerksam zu machen, wobei es für die Dringlichkeit keine Rolle spielt, ob der ausschlaggebende Faktor nun die Reibungsverhältnisse oder das Aquaplaningrisiko seien. Somit kann ein Sicherheitsindex wie folgt formuliert werden:

$$\text{Sicherheitsindex } I_{\text{SEC}} = \text{MAX}(I_3, I_4)$$

Ausnahmsweise, bei fehlenden Daten der Griffigkeitsmessung (Fall 1), kann der Index I_4 mit den Indizes A1, bzw. B1 ersetzt werden.

Bei Betonbelägen wird der Sicherheitsindex alleine durch die Griffigkeitseigenschaften bestimmt (keine Spurrinnen beim Betonbelag).

3.5.3 Gebrauchswert

Der Vorschlag für einen Gebrauchswert orientiert sich an den französischen und österreichischen Beispielen, d.h. er umfasst auch die für die Verkehrssicherheit relevanten Parameter. Die massgebenden Einzelindizes und die je nach Fall verfügbaren Daten sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tab. 8: Massgebende Einzelindizes für den Gebrauchswert und den Substanzwert und die je nach Fall verfügbaren Daten für dessen Berechnung

Einzelindex	visuell / manuell	visuell und messtechnisch	massgebend für den Gebrauchswert	massgebend für den Substanzwert
A1 Oberflächenglätte	√	√	√	-
A2 Belagschäden	√	√	√	-
A3 Belagsverformungen	√	√	√	√
A4 Strukturelle Schäden	√	-	-	√
A5 Flicke	√	-	-	√
B1 Oberflächenglätte	√	√	√	-
B2 Materialverluste	√	√	√	√
B3 Fugen-/ Kantenschäden	√	√	√	√
B4 Vertikale Verschiebungen	√	√	√	√
B5 Risse	√	√	-	√
B6 Flicke	√	√	-	√
Index I ₂ Längsebenheit	-	√	√	√
Index I ₃ Spurrinnen	√	√	√	-
Index I ₄ Griffigkeit	-	?	√	-
Index I ₅ Tragfähigkeit	-	?	-	√

Je nach Fall und Belagsart können insgesamt vier verschiedene Gebrauchswerte in Frage kommen:

Fall 1, nur visuell/manuelle Zustandserfassung

- Asphaltbeläge: GW_{A1}
- Betonbeläge: GW_{B1}

Fall 2, visuelle und messtechnische Zustandserfassung

- Asphaltbeläge: GW_{A2}
- Betonbeläge: GW_{B2}

Es wird vorgeschlagen, bei der Bestimmung des Gebrauchswertes grundsätzlich die gleiche Berechnungsart wie bei der Berechnung der zusammengesetzten Indizes GI1 bis GI6 zu verwenden [3]. Damit ergibt sich:

- $GW_{A1} = 1/4 (A1 + A2 + A3 + I_3) + 1.25 \cdot \sigma (A1, A2, A3, I_3)$
- $GW_{A2} = 1/5 (A2 + A3 + I_2 + I_3 + I_4) + 1.25 \cdot \sigma (A2, A3, I_2, I_3, I_4)$
- $GW_{B1} = 1/4 (B1 + B2 + B3 + B4) + 1.25 \cdot \sigma (B1, B2, B3, B4)$
- $GW_{B2} = 1/5 (B2 + B3 + B4 + I_2 + I_4) + 1.25 \cdot \sigma (B2, B3, B4, I_2, I_4)$

wobei: σ = Standardabweichung der Einzelindizes (A_i oder B_i bis I_n)

3.5.4 Substanzwert

Der Vorschlag für den Substanzwert ist analog aufgebaut wie derjenige für den Gebrauchswert. Die massgebenden Einzelindizes und die je nach Fall verfügbaren Daten sind ebenfalls in Tabelle 8 angegeben.

Je nach Fall und Belagsart können insgesamt vier verschiedene Gebrauchswerte in Frage

kommen:

Fall 1, nur visuell/manuelle Zustandserfassung

- Asphaltbeläge: SW_{A1}
- Betonbeläge: SW_{B1}

Fall 2, visuelle und messtechnische Zustandserfassung

- Asphaltbeläge: SW_{A2}
- Betonbeläge: SW_{B2}

Es wird vorgeschlagen, bei der Bestimmung des Substanzwertes grundsätzlich die gleiche Berechnungsart wie bei der Berechnung der zusammengesetzten Indizes GI1 bis GI6 zu verwenden [3]. Damit ergibt sich:

- $SW_{A1} = 1/3 (A3 + A4 + A5) + 1.25 \cdot \sigma (A3, A4, A5)$
- $SW_{A2} = 1/5 (A3 + A4 + A5 + I2 + I5) + 1.25 \cdot \sigma (A3, A4, A5, I2, I5)$
- $SW_{B1} = 1/5 (B2 + B3 + B4 + B5 + B6) + 1.25 \cdot \sigma (B2, B3, B4, B5, B6)$
- $SW_{B2} = 1/6 (B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + I2) + 1.25 \cdot \sigma (B2, B3, B4, B5, B6, I2)$

wobei: σ = Standardabweichung der Einzelindizes (A_i oder B_i bis I_n)

3.5.5 Gesamtwert

Als Gesamtwert soll entsprechend den verfügbaren Daten einer der zusammengesetzten Indizes GI1 bis GI6 gemäss SN 640 904 (Anhang) verwendet werden. Die Art und Weise wie ein Teil dieser Indizes (GI2, GI4 und GI6) berechnet werden führt dazu, dass sich der Gesamtwert stärker am tiefsten Wert der betrachteten Einzelindizes orientiert.

3.6 Zusammenfassung

Die eingehende Auseinandersetzung mit der Frage der Zustandsindikatoren von Belägen zeigt, dass grundsätzlich nach zwei Arten von Indizes unterschieden werden muss, den Einzelindizes und den zusammengesetzten Indizes und dass jede Indexart auch einem ganz anderen Verwendungszweck dient:

- Einzelindizes dienen der Ermittlung der Schadenursache (Diagnose), der Wahl einer geeigneten Erhaltungsmassnahme, der Herleitung von Verhaltensmodellen und der Ermittlung der Kosten
- zusammengesetzte Indizes dienen dem Vergleich von Strecken und Netzen untereinander und bezüglich der zeitlichen Entwicklung wie auch als zustandsbezogene Erhaltungskriterien bei einer kurzfristigen (Dringlichkeitsreihung) oder einer langfristigen (LCC analysis) Massnahmenplanung.

Dabei wird festgehalten, dass die Massnahmenwahl (im Sinne Dimensionierung des Belages) grundsätzlich eine bautechnische Angelegenheit ist, gilt es doch die der Ursache angemessene Massnahme zu wählen (SN 640 730 ff). Dies schliesst allerdings nicht aus, dass bei entsprechend verfügbaren Mitteln auch Massnahmen gewählt werden können, welche je nach Realisierungszeitpunkt über das an sich technisch notwendige hinausgehen können.

Die Massnahmenplanung hingegen, welche die Auswahl der zu sanierenden Objekte und die zeitliche Staffelung der Durchführung der Massnahme umfasst, ist eine wirtschaftliche und

politische Angelegenheit, für welche nach Möglichkeit genaue Ziele festzulegen sind. Dazu sind die Voraussetzungen zu schaffen, die wirtschaftlichsten Lösungen ausarbeiten zu können und den gesamten Prozess der Massnahmenplanung transparent und nachvollziehbar zu gestalten.

Unter Beachtung der genannten Feststellungen können die ausgearbeiteten Vorschläge für die Spartenindizes:

- Sicherheitswert
- Gebrauchswert
- Substanzwert

in Zusammenhang mit den im Anhang der Norm SN 640 904 zur Auswahl stehenden zusammengesetzten Indizes zur Bestimmung von Gesamtwerten als Kriterien für die Massnahmeplanung verwendet werden.

4. ANWENDUNG DER ERGEBNISSE FÜR MASSNAHMENPLANUNG IM PMS

4.1 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen einer programmierten Massnahmenplanung

Unter dem Begriff „programmierte Massnahmenplanung“ werden im wesentlichen rechnergestützte Anwendungen verstanden, die so aufgebaut sind, dass die im Rahmen der Projektbearbeitung anfallenden Entscheidungen, bzw. Entscheidungsmechanismen durch entsprechende Algorithmen ersetzt werden, um den Entscheidungsprozess automatisieren zu können und dabei soweit als möglich den bisherigen Prozess zu modellieren.

Der Vorteil solcher Anwendungen liegt darin, dass in sehr kurzer Zeit umfangreiche Berechnungen durchgeführt werden können und als Ergebnis detaillierte Beurteilungsgrundlagen für die definitive Entscheidung zur Verfügung stehen. Die Voraussetzungen für das Funktionieren solcher Anwendungen sind einerseits eine möglichst realitätsgetreue Abbildung (Modellierung) der Entscheidungsmechanismen und andererseits die Verfügbarkeit der entsprechenden Daten für die Entscheidungen.

Der Entscheidungsprozess zur Auswahl eines Strassenabschnittes für die Durchführung einer Massnahme und zur Ermittlung der "optimalen" Massnahme ist sehr komplex und berücksichtigt in der Praxis neben der generellen Erfahrung und den spezifischen Ortskenntnissen eine sehr grosse Anzahl verschiedenster Einzelmerkmale. Die getreue Abbildung dieses Entscheidungsprozesses für eine rechnergestützte Anwendung führt zu einer recht komplexen Modellierungsaufgabe. Die Lösung einer solchen Aufgabe wird damit sehr aufwendig, dennoch ist sie nicht unmöglich. Eine komplexe Lösung mit einer "getreuen" Abbildung der Entscheidungsprozesse bedeutet auch, dass in diesem Prozess auch die erwähnte grosse Anzahl verschiedener Einzelmerkmale berücksichtigt wird. Der Anwendungsbereich rechnergestützter Entscheidungsprozesse visiert allerdings die Analyse ganzer Strassennetze und auf dieser Ebene führt die Realität bezüglich der Verfügbarkeit detaillierter Daten sehr oft zu einem recht ernüchternden Ergebnis, nämlich: die Menge an netzweit verfügbaren Daten ist (zumindest unter den derzeitigen Verhältnissen) sehr bescheiden und bei solchen Fällen gerät das hochkomplexe Entscheidungsmodell zu einer wohl interessanten, für die praktische Anwendung aber wenig nutzbaren Übung.

Die Modellbildung für die rechnergestützte Erhaltungsplanung muss sich demnach nach den realistischen Randbedingungen bezüglich der netzweiten Verfügbarkeit der Daten richten und da deren Menge noch relativ bescheiden ist, werden die auszuarbeitenden Modelle dementsprechend weniger komplex sein. Dennoch führen auch solche vereinfachte Modelle zum Ziel, d.h. sie ermöglichen die Durchführung einer mehrjährigen Erhaltungsplanung auf der Netzebene, um die Wirkung unterschiedlicher Budgetvorgaben abschätzen zu können, die entsprechende Finanzplanung vorzunehmen und um erste Prioritäten zu setzen (Netzebene). Diese Berechnungen ersetzen aber in keinem Fall eine ordentliche Projektierung der einzelnen Massnahmen (Projektebene), die in Kenntnis aller erforderlichen Detailangaben (inklusive allfälliger zusätzlicher Untersuchungen) zu erfolgen hat.

Die im folgenden dargestellten Modellierungsansätze für eine Massnahmenplanung erheben also nicht den Anspruch der einzig richtigen Vorgehensweise für die Wahl und Projektierung einer Massnahme, sondern dienen in erster Linie dazu, die Zuordnung der richtigen Massnahmen in einer Netzumfassenden Auswertung vorzunehmen, welche der strategischen Langzeitplanung und der entsprechenden Mittelbeschaffung dient.

4.2 Ansatz 1: Zielorientierte Zuordnung von Massnahmen

4.2.1 Allgemeines

Zur Untersuchung der Anwendung von zusammengesetzten Indizes in der Massnahmenplanung wird der Ablauf dieser Planung nachfolgend erläutert. Im Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen erfolgt die Massnahmenplanung auf Projekt- und Netzebene rechnergestützt. Während auf Projektebene die bewerteten Einzelmerkmale des Strassenzustandes Grundlage der Massnahmenplanung sind, können für die Massnahmenplanung auf Netzebene die Zielwerte sowie, wenn möglich, die Substanz- und Gebrauchswerte die Grundlage bilden.

Darüber hinaus können bestimmte Zielwerte, wie derjenige für Verkehrssicherheit, ebenfalls als Grundlage von Massnahmenplanung auf Projektebene berücksichtigt werden.

Die Massnahmenplanung auf Netzebene verwendet beim Ansatz 1 eine Zuweisung bestimmter definierter Zustände der Strasse oder der Fahrbahn zu den standardisierten Massnahmen (festgelegten Massnahmentypen oder Massnahmenarten).

Dieser Ansatz umfasst eine Vorgehensweise, bei welcher die Zustandsmerkmale, bzw. die Zustandsindizes den funktionalen Zielen des Erhaltungsmanagements zugeordnet werden. Dadurch werden die Zielwerte gebildet, welche aus Kombinationen der Zustandsmerkmale und -indizes entstehen. Anschliessend werden die verschiedenen Massnahmen hierarchisch gegliedert und bestimmten Wertebereichen der Zielwerte zugeordnet. Die Massnahmenwahl erfolgt aufgrund der ranghöchsten Massnahme unter allen Zielwerten. Die Wertebereiche für die verschiedenen Massnahmen und Zielwerte sind je nach Strassenkategorie verschieden.

Durch die Berücksichtigung von Zielwerten, welche neben dem Zustand der Fahrbahn auch andere Kennwerte berücksichtigen, können weitgehend oder ganz zustandsunabhängige Zielkriterien wie die Betriebsbereitschaft, die Leistungsfähigkeit und die Umweltverträglichkeit in diesen Ansatz integriert werden. Dabei kann die Liste der Massnahmen um betriebliche Massnahmen (Verkehrslenkung, Verkehrsmanagement) oder Ergänzungsbauten (Lärmschutzvorrichtungen) erweitert werden.

4.2.2 Massnahmentypen

Die Massnahmentypen für Fahrbahnen unterscheiden sich durch ihre Eignung zur Instandsetzung von verschiedenen Schadens- oder Zustandsbereichen ausgedrückt in festzulegenden Wertebereichen von Schadenausmass und Schadensschwere, gemäss [5].

Als Beispiel wird ein Konzept von Erhaltungsmassnahmen erläutert [7], bei welchem folgende Massnahmentypen festgelegt sind:

Massnahmentyp	Abkürzung	Rang
- Keine Massnahme	-	1
- Unterhalt (baulicher Unterhalt)	U	2
- Oberflächenbehandlung	OB	3
- Instandsetzung	I	4
- Oberbauverstärkung	V	5
- Teilweise Erneuerung	TE	6
- Erneuerung (bestehender Anlage)	E	7
- Neukonstruktion	NK	8

Diese Massnahmentypen bilden unter einander bzgl. Einwirkung auf die Oberbauschichten der Fahrbahn, eine Hierarchie und zwar so, dass die Massnahme mit der längsten Wirkungsdauer (Neukonstruktion (NK)) den höchsten und Keine Massnahme den niedrigsten Rang erhält.

Damit kann für jeden Zustandsbereich immer ein Massnahmentyp zur Realisierung empfoh-

len werden, nämlich derjenige mit dem höchsten Rang. In der Regel wird bei der Zustands-erhebung mehr als nur ein Schaden auf der Fahrbahn festgestellt und gibt es für jeden Schaden einen geeigneten Massnahmentyp. Die Massnahmenplanung muss darunter den massgebenden Massnahmentyp mit dem höchsten Rang ermitteln.

4.2.3 Zuordnung der Zielwerte zu den Massnahmentypen

Nachfolgend werden in den Tabellen 9a und 9b die Massnahmentypen beispielhaft zu den verschiedenen Bewertungsbereichen der Zielwerte zugeordnet.

Die beiden Tabellen zeigen zudem die optimalen Massnahmentypen für verschiedene Wert-bereiche von Substanzwert und Gebrauchswert.

Tab. 9a: Zuordnung der Zielwerte zu den Massnahmentypen für Strassen mit $V_{zul} > 60$ km/h (Gruppe A: NS, HLS, kantonale HVS)

Zielwert	Bewertungsbereich				
	gut	mittel	ausrei- chend	kritisch	schlecht
	≤ 0 und ≤ 1	$1 <$ und ≤ 2	$2 <$ und ≤ 3	$3 <$ und ≤ 4	$4 <$ und ≤ 5
Verkehrssicherheit	-	U	OB	I	I
Substanzerhaltung	OB	I	TE	E	NK
Benutzerfreundlichkeit	-		OB	I	TE
Betriebsbereitschaft (Verkehrsablauf)	-	Verkehrslenkung		Verkehrsmanagement	
Betriebsbereitschaft (Nebenanlagen)	-			I	TE / E
Leistungsfähigkeit (Strassengeometrie)	-			I	TE / E
Umweltverträglichkeit (Lärm)	-			NK (Lärmschutz- Leichtbau)	NK (Lärmschutz- massiv)

Gebrauchswert	-	- / U / Ver- kehrslen- kung*	- / OB / Ver- kehrslen- kung*	I / NK (Lärm- schutz) / Ver- kehrsmanage- ment*	I / TE / E / NK (Lärmschutz) / Verkehrsmana- gement*
Substanzwert	- / OB*	- / I*	- / TE*	I / E*	NK

*: Ursachenanalyse ist zur definitiven Bestimmung des Massnahmentyps erforderlich

- = Keine Massnahmen, U = baulicher Unterhalt, OB = Oberflächenbehandlung, I = Instandsetzung, V = Oberbauverstärkung, TE = Teilweise Erneuerung, E = Erneuerung, NK = Neukonstruktion

Die in der Tabelle aufgeführten Massnahmen vom Typ Verkehrslenkung, Verkehrsmanagement und Lärmschutz sind hier im Sinne einer umfassenderen Bewirtschaftung der Strasse aufgeführt.

Tab. 9b: Zuordnung der Zielwerte zu den Massnahmentypen für die Strasse mit $V_{zul} \leq 60$ km/h (Gruppe B: kantonale VS, Strassen innerorts)

Zielwert	Bewertungsbereich				
	gut	mittel	ausreichend	kritisch	schlecht
	$0 < \text{und} \leq 1$	$1 < \text{und} \leq 2$	$2 < \text{und} \leq 3$	$3 < \text{und} \leq 4$	$4 < \text{und} \leq 5$
Verkehrssicherheit	-		U	OB	I
Substanzerhaltung	U	OB	I / OV	TE	E
Benutzerfreundlichkeit	-		U	OB	I
Betriebsbereitschaft (Verkehrsablauf)	-		Verkehrslenkung	Verkehrsmanagement	
Betriebsbereitschaft (Nebenanlagen)		-		I	TE / E
Leistungsfähigkeit (Strassengeometrie)		-		I	TE / E
Umweltverträglichkeit (Lärm)		-		NK (Lärmschutz-Leichtbau)	NK (Lärmschutz-massiv)

Gebrauchswert	-		- / U / Verkehrslenkung*	OB / I / NK (Lärmschutz) / Verkehrsmanagement*	I / TE / E / NK (Lärmschutz) / Verkehrsmanagement*
Substanzwert	- / U *	- / OB *	- / I / OV*	I / TE*	TE / E*

*: Ursachenanalyse ist zur definitiven Bestimmung des Massnahmentyps erforderlich!

- = Keine Massnahme, U = baulicher Unterhalt, OB = Oberflächenbehandlung, I = Instandsetzung, V = Oberbauverstärkung, TE = Teilweise Erneuerung, E = Erneuerung, NK = Neukonstruktion

Die in der Tabelle aufgeführten Massnahmen vom Typ Verkehrslenkung, Verkehrsmanagement und Lärmschutz sind hier im Sinne einer umfassenderen Bewirtschaftung der Strasse aufgeführt.

Die Tabellen 9a und 9b zeigen, dass die definitive Zuordnung eines Massnahmentyps zu verschiedenen Bewertungsbereichen des zielbezogenen Gebrauchs- und Substanzwertes nicht immer möglich ist. Beispiel: Wenn der zielbezogene Substanzwert als ausreichend beurteilt wird, kommen als geeignete Massnahmentypen sowohl Keine Massnahmen, als auch eine Instandsetzung oder Oberbauverstärkung in Frage. Die Zuordnung erfolgt in solchen Fällen erst nach einer Ursachenanalyse. Dagegen ist die Zuordnung zu den Zielwerten beinahe immer möglich.

Zudem ist aus der Praxis bekannt, dass die überwiegende Mehrzahl aller baulichen Erhaltungsmassnahmen für Fahrbahnen zur Erreichung einer oder mehrerer der drei Ziele Substanzerhaltung, Verkehrssicherheit und Benutzerfreundlichkeit geplant werden. Die eindeutige direkte Zuordnung der genannten drei Ziele ist mit einer Ausnahme, nämlich für Bewertungsbereich ausreichend des Zieles Substanzerhaltung der Strassen mit $V_{zul} \leq 60$ km/h, immer möglich.

4.3 Ansatz 2: Zustandsorientierte Bildung möglicher Strategien und Massnahmenwahl nach übergeordneten Kriterien

4.3.1 Allgemeines

Dieser Ansatz entspricht einem zweistufigen Vorgehen:

- In einem ersten Schritt werden aufgrund des durch verschiedene Zustandsindizes gekennzeichneten Gesamtzustandes des Belages die an sich möglichen Massnahmen bestimmt. Diese Bestimmung der Liste der möglichen Massnahmen bezieht sich nicht nur auf die Ausgangswerte, sondern auch auf deren prognostizierte Entwicklung (mittels Verhaltensmodellen) während der gewählten Dauer einer mehrjährigen Planungsperiode.
- In einem zweiten Schritt erfolgt die Wahl der durchzuführenden Massnahmen (Art und Zeitpunkt der Massnahme) im Rahmen einer Optimierung, die darnach ausgerichtet ist, aus dem verfügbaren Budget den grösstmöglichen Nutzen auf der Netzebene herauszuholen. Der "Nutzen" ist dabei frei definierbar und kann rein zustandsbezogen sein (sich z.B. auf den Gebrauchswert, den Substanzwert oder den Gesamtwert beziehen) oder aber andere Kennwerte (z.B. Zielerfüllungsgrad für Teilziele oder für die Gesamtheit aller Ziele) als Bezugsgrösse berücksichtigen.

Die Zuordnung der Massnahmen zu einem bestimmten Schadenbild erfolgt hier aufgrund der Definition verschiedener Anwendungsbereiche für jede Massnahme, welche modellhaft eine Schadensanalyse nachbilden und mehrere Parameter berücksichtigen (Detailangaben dazu im Ziffer 5.6). Das Einbeziehen mehrerer Parameter für die Definition des Anwendungsbereiches der Massnahme soll auch dazu dienen, die indirekt damit durchgeführte Schadensanalyse zuverlässiger zu gestalten (die Entscheidung muss hier jedoch gegenüber dem Fall der Projektierung einer einzelnen Massnahme aufgrund einer wesentlich geringeren Menge an Informationen getroffen werden).

4.3.2 Bestimmung der möglichen Massnahmen gemäss Ansatz 2

Bei diesem Ansatz geht es darum die in der üblichen Praxis der Erhaltung der Fahrbahnen übliche Entscheidungsfindung mittels Berechnungsalgorithmen nachzuvollziehen, wobei sich diese Entscheidungsfindung auf wesentlich weniger Detailinformationen beziehen kann, als es beim einzelnen Projekt tatsächlich der Fall ist. Vereinfacht gesagt geht es darum aus der Kombination der vorhandenen Schadenbilder (Symptome) die wahrscheinliche Schadenursache zu ermitteln (Diagnose) und dementsprechend die sinnvolle Massnahme (Therapie) vorzuschlagen.

Diese Art des Vorgehens wird einerseits durch die Normen SN 640 730 und folgende aufgezeigt und insbesondere auch im Forschungsbericht Nr. 357 von M. Blumer und E. Stahel: „Management der Strassenerhaltung (MSE) Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell“, ausführlich behandelt. Die im Forschungsbericht enthaltenen Katalogblätter der verschiedenen Massnahmen sind für den praktisch orientierten Leser und Anwender bestimmt und müssen für die Verwendung innerhalb eines automatisierten Prozesses dementsprechend in "maschinenlesbarer" Sprache übersetzt werden, was mit einer Reihe logischer Filterbedingungen geschehen kann.

Die nachfolgenden Ausführungen sind aus dem Teilbericht "Aufgabe 3.2: Selektions-Schema für die Erhaltungsmassnahmen" entnommen, welcher im Rahmen des Projektes PMS NE/VS die Modellierung verschiedener Elemente des gesamten PMS- Prozesses zum Gegenstand hatte. Das Ziel dieser Aufgabe war die Ausarbeitung einer Reihe logischer Regeln (Auswahlschema), welche aus mehreren möglichen Massnahmen eine technisch begründete Wahl

unter Berücksichtigung des Zustandes eines betrachteten Strassenabschnittes gestatten. Zu beachten ist, dass sich die Indexangaben im zitierten Text auf die alte Bewertungsskala von 0 bis 5 mit der Note 5 als den besten Wert beziehen.

Jede Erhaltungsmassnahme dient einer beabsichtigten Verbesserung einer oder mehrerer Funktionen der Strasse. So gesehen erfüllt also jede Erhaltungsmassnahme eine bestimmte "Kategorie" oder "Gruppe" technischer und anderer Bedingungen. Die technischen Bedingungen oder Kriterien werden zumindest durch die Werte der Zustandindizes vorgegeben, die in der entsprechenden Norm definiert sind.

Die Festlegung dieser Bedingungen für alle Erhaltungsmassnahmen (Grenzwerte, Minimalwerte, ...) führt zur Beschreibung von "Filter", welche nichts anderes darstellen als eine Umschreibung des Anwendungsbereichs der einzelnen Massnahmen. Alle Abschnitte werden mit diesen Filtern überprüft, um die Erfüllung der entsprechenden Bedingungen feststellen zu können.

Unter den vorgenannten nicht-technischen Kriterien (oder Bedingungen) für die Definition von Gruppen oder "Anwendungsbereichen" finden sich zusätzliche Attribute wie z.B.:

- Strassenklasse - **TYPE_ROUTE** : **RC**
oder **AR**,...
- Typ des PMS- Objektes - **TYPE_OBJET** : "**CH**"(Fahrbahn), "**T**"(Tunnel), "**G**"(Galerie), "**P**"(Brücke), "**TG**"(Tunnel und Galerie),
- Situation des PMS- Objektes - **SITUATION**: (0) **ausserorts**, (1) **innerorts**

Die Beschreibung der verschiedenen Gruppen von Bedingungen erfolgt nach den folgenden Stichworten:

- **Anwendungsbereich**,
- **Grundbedingung**,
- **Ausnahmebestimmungen**.

Massnahmearten: Oberflächenbehandlungen (IESN / IESD), Kaltmikrobelag (IRMF) und Dünnschichtbeläge (ICMN / ICMS)

Anwendungsbereich : - *Instandsetzung leicht beschädigter Deckschichten*
⇒ **3,5 < I1 < 4,5**,
: - *dringende Wiederherstellung genügender Griffigkeit* ⇒ **I4 < 2**.

Grundbedingungen : - *Schäden auf die Deckschicht beschränkt* ⇒ ...
: - *verformungsfester Oberbau* ⇒ ...
: - *genügende Tragfähigkeit* ⇒ **I5 > 3,5**
: - *bei grösseren Schäden (Ebenheit,...) vorgängige Reparaturmassnahmen notwendig* ⇒ ...

Ausnahmebestimmung : - *nicht anwendbar bei grosser Spurrinnenbildung* ⇒ **I3 > 3**, sowie in Zonen mit starken Horizontalkräften ⇒ ...

IESN, IESD : - *bei schwerem Verkehr mit Spezialbindemittel*, ⇒ also **IESN** nur bis **DTV < 10'000**.

Kaltmikrobelag MF : - *bei schwerem Verkehr nicht anwendbar* ⇒ **DTV < 10'000**
Dünnschichtbeläge : - *bei schwerem Verkehr mit Spezialbindemittel*, ⇒ also **ICMN** nur bis **DTV < 10'000**.

4.4 Generelle Abgrenzung und Unterschiede der beiden Ansätze

Ein wesentlicher Unterschied des oben dargestellten Ansatzes 2 zum Ansatz 1 besteht darin, dass die Bildung einer Auswahl möglicher Massnahmen den Anleitungen in den Normen SN 640 730 und folgende entspricht und sich ausschliesslich auf bautechnische Faktoren fokussiert (wobei diese, durch die Verwendung entsprechender Schwellenwerte, verschiedene übergeordnete Ziele wie z.B. die Verkehrssicherheit und die Substanzerhaltung indirekt doch mitberücksichtigen). Es besteht dabei auch die Möglichkeit, für bestimmte Situationen mehrere Optionen zu berücksichtigen, aus denen im zweiten Schritt dann ausgewählt werden kann.

Die übergelagerten Zielsetzungen werden bei diesem Ansatz nicht ausser acht gelassen, sondern anders berücksichtigt, indem die Zielerreichung optimiert wird und es dem Anwender freigestellt wird, wie er unter verschiedenen Zielen die Prioritäten setzen will beziehungsweise welche Zielsetzung er bei der Analyse als "Nutzen" definieren will. Die unter gegebenen budgetären Randbedingungen durchgeführte Optimierung schliesst auch die wirtschaftlichen Aspekte der Strassenerhaltung mit ein.

5. VERGLEICH DER METHODEN

5.1 Generelles Vorgehen

Der Vergleich der in Kapitel 4 erwähnten verschiedenen Ansätze für die Planung von Erhaltungsmassnahmen erfolgt durch eine entsprechende Modellbildung in einer PMS- Anwendung (VIAPMS), durch die Durchführung einer Analyse über einen Zeitraum von 10 Jahren und durch die Gegenüberstellung der entsprechenden Ergebnisse. Dabei wird auch der Aspekt der Zustandsentwicklung über die erwähnte Zeitperiode berücksichtigt, indem für die verschiedenen Zustandsindikatoren Verhaltensmodelle eingesetzt werden um die Massnahmenwahl für Folgejahre aufgrund des prognostizierten Zustandes vornehmen zu können.

5.2 Testnetz

5.2.1 Verfügbare Daten

Für die Durchführung der Berechnungen wird ein fiktives Strassennetz von ca. 360 km Länge (485 Strecken) verwendet, welches auf die (anonymisierten) Daten zweier verschiedener Kantone beruht. Die Datensätze umfassen die Angaben über folgende Parameter (gemäss SN640 925b und SN 640 926):

- Zustandswerte:
 - Index I_{A1}
 - Index I_{A2}
 - Index I_{A3}
 - Index I_{A4}
 - Index I_{A5}
 - Index I_2
 - Index I_3
 - Index I_5 (teilweise)
- andere Parameter:
 - Verkehrsbelastung, DTV-Wert
 - Lage: innerorts/ausserorts
 - Streckencharakteristik: überregionale Strassen/regionale und lokale Strassen
 - Strassenbreite

Die verwendeten Daten beziehen sich auf eine vorhandene Abschnittsbildung und stellen im Falle der Zustandswerte aggregierte Daten dar.

5.2.2 Netzzustand (Ausgangslage)

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die Anfangsverteilung der Abschnittswerte aller Indizes für das betrachtete Netz. Tabelle 10 zeigt die Mittelwerte der aggregierten Daten auf.

Tab. 10: Mittelwerte der Zustandsdaten (Anfangswerte) des betrachteten Netzes

Index	A1_AGR	A2_AGR	A3_AGR	A4_AGR	A5_AGR	I1_AGR	I2_AGR	I3_AGR	I5_AGR
Mittelwert	1.04	1.21	1.42	0.70	0.59	1.66	1.97	2.58	1.99

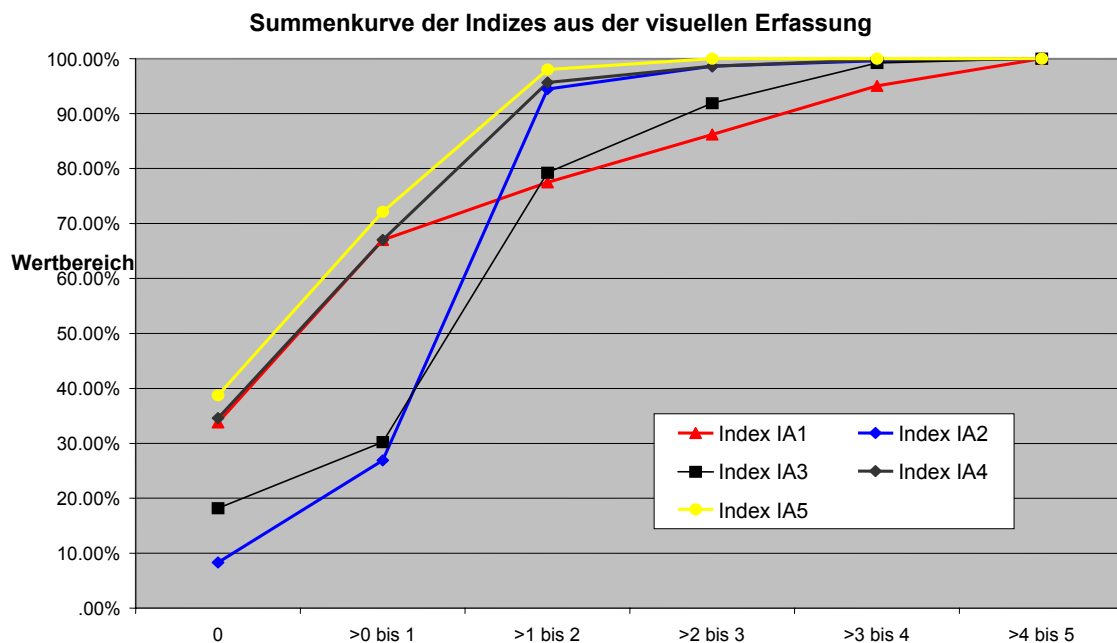


Abbildung 4: Summerkurve der Indizes IA1 bis IA5 für das Testnetz

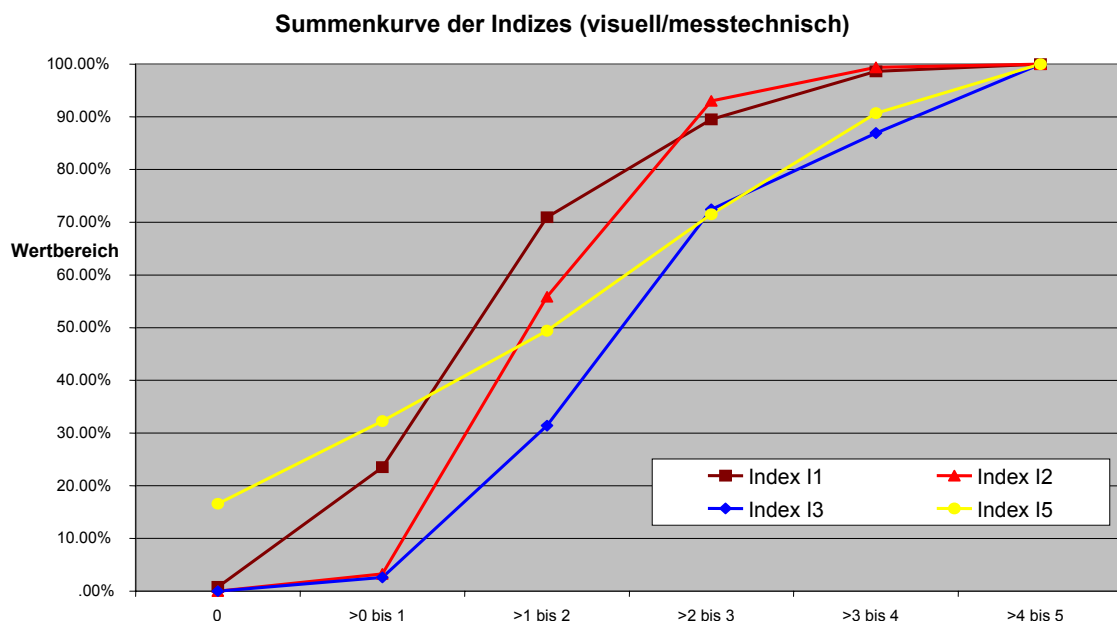


Abbildung 5: Summerkurve der Indizes I1, I2, I3 und I5 für das Testnetz (die Werte für den Index I5 beziehen sich auf eine Teilmenge des betrachteten Netzes).

5.3 Massnahmenkatalog

Der Massnahmenkatalog lehnt sich an die in Kapitel 4.2.2 aufgeführte Liste der Massnahmen, mit Ausnahme des baulichen Unterhalts und der Neukonstruktion (der Begriff Erneuerung dürfte praktisch gleichbedeutend sein). Die allgemein als Instandsetzung bezeichnete Massnahme wurde dafür weiter unterteilt in Deckschichtersatz nach Abfräsen einerseits sowie einschichtigen Belagsüberzügen andererseits.

5.3.1 Massnahmen und Einheitskosten

Tabelle 11 führt die für die Vergleichsberechnungen berücksichtigten Massnahmen mit den entsprechenden Einheitskosten auf. Die Kostenangaben wurden entsprechend dem unteren Bereich der Kostenansätze für Kantonsstrassen gemäss SN 640 907 gewählt. Im Vergleich zur Auflistung in Kap. 4.2.2 fehlt hier der im Rahmen des betrieblichen Unterhalts durchgeführten baulichen Unterhalts, die in der Tabelle von Kap. 4.2.2. aufgeführte Option "keine Massnahme (nichts tun)" ist bei den Vergleichsberechnungen ebenso möglich, auch wenn sie hier nicht explizite aufgeführt wird.

Tab. 11: Liste der Massnahmen mit entsprechenden Einheitskosten

Abkürzung	Beschreibung	Einheitskosten Fr./m ²
OB	Einfache Oberflächenbehandlung	10
FNDS	Abfräsen 40 mm und Einbau einer neuen Deckschicht AB11 40 mm	40
NDS	Einbau einer neuen Deckschicht AB11 40 mm (Überzug)	35
TE	Teilerneuerung, Belagsersatz nach vorgängigem Abfräsen	110
V	Verstärkung im Hocheinbau, 100 mm AB11/HMT 22	70
E	Gesamterneuerung, Belag und Fundationschicht	160

5.3.2 Wirkung der Massnahmen (Rücksetzwerte)

Unter Wirkung der Massnahmen werden die unmittelbaren und die langfristigen Auswirkungen der Anwendung einer Massnahme verstanden. Bezüglich der unmittelbaren Auswirkungen sind in erster Linie die erwarteten Verbesserungen der Zustandswerte zu erwähnen, seien diese als zeitlich (jährlich) variable oder als konstante Parameter definiert. Andere Attribute könne aber infolge Anwendung einer Massnahme ebenfalls eine Veränderung erfahren, wenn so z.B. die Belagsart, wenn ein bestehender Betonbelag durch einen bituminösen Aufbau ersetzt wird. Die Veränderungen, welche sog. "andere" Attribute betreffen, führen möglicherweise dazu, dass nach der Anwendung einer Massnahme andere Verhaltenskurven gewählt werden, als diejenigen, die vor der Anwendung der Massnahme massgebend waren. In Bezug auf die Zustandsindikatoren kann von den in Tabelle 12 dargestellten qualitativen Wirkungen ausgegangen werden.

Rücksetzwerte werden anhand einer Formel (Expression) ermittelt (siehe Tabelle 13). Dabei wurde eine Benennungskonvention so gewählt, dass alle Namen dieser Formeln mit dem Buchstaben nR (für **n**umerische **R**ücksetzwerte) anfangen, anschliessend die Abkürzung der Massnahme und schliesslich die Indexbezeichnung (diese kann entfallen, wenn für alle Massnahmen die gleiche Wirkung gegeben ist) folgen.

Tab. 12: Qualitative Angaben zur Wirkung von Massnahmen

Index	I _{A1}	I _{A2}	I _{A3}	I _{A4}	I _{A5}	I ₂	I ₃
Massnahme							
OB	++	++	+	++	++	+	+
NDS	++	++	++	++	++	+++	++
FNDS	+++	+++	++	++	+++	+++	+++
TE	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
V	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
E	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

0 : keine Wirkung
 +: geringe Wirkung
 ++: mittlere Wirkung
 +++: grosse Wirkung

Tab. 13: Angaben zu den Formeln für die Rücksetzwerte der Massnahmen

Name	Beschreibung	Formel*
NR_A1	Rücksetzwert für den Index A1	0
NR_A2	Rücksetzwert für den Index A2	0
NR_A3	Rücksetzwert für den Index A3	0
NR_A3_OB	Rücksetzwert für den Index A3 bei Oberflächenbehandlungen	AV_A3 - 1
NR_A4	Rücksetzwert für den Index A4	0
NR_A4_OB	Rücksetzwert für den Index A4 bei Oberflächenbehandlungen	AV_A4 - 1
NR_A5	Rücksetzwert für den Index A5	0
NR_ALTER	Rücksetzwert für das Belagsalter	1
NR_I1	Rücksetzwert für den Index I1	0
NR_I2	Rücksetzwert für den Index I2	0
NR_I2_OB	Rücksetzwert für den Index I2 bei Oberflächenbehandlungen	AV_I2 - 0.5
NR_I3	Rücksetzwert für den Index I3	0
NR_I3_OB	Rücksetzwert für den Index I3 bei Oberflächenbehandlungen	AV_I3 - 1
NR_I5	Rücksetzwert für den Index I5	0
NR_I5_NDS	Rücksetzwert für den Index I5 bei Massnahme NDS	PMS->I5_AGR - 1
NR_JK	"Rücksetzwert" der Jahreskosten (Berechnung der Kosten)	GST_COST_F

*) Die Kolonne der Formeln enthält entweder einen Formelausdruck (entsprechend den VIAPMS-Vorgaben) oder eine Konstante

5.4 Verhaltensmodelle

Die für die Vergleichsberechnung verwendeten Verhaltensmodelle beruhen auf die Ergebnisse einer Studie, welche im Auftrage der Dienststelle für Strassen und Flussbau des Kantons Wallis durchgeführt wurde [15], wobei für die Indizes I_{A1} bis I_{A4} je nach Kategorie von Strassen (kantonales Hauptstrassennetz, HS /übrige Strassen, NS) unterschiedliche Verhaltensmodelle zur Anwendung gelangen.

Die berücksichtigten Verhaltensmodelle sind durch die in Tabelle 14 aufgelisteten Gleichungen dargestellt (dabei steht das Symbol x stellvertretend für das Belagsalter in Jahren). Es sei darauf hingewiesen, dass die verwendeten Verhaltensmodelle ausschliesslich "Einzelparameter (Einzelindizes)" berücksichtigen. Die Änderung der zusammengesetzten Indizes (I1, GW, SW, IG, BF, SE, VS, GZW) ergibt sich aus dem kombinierten Ergebnis der Verhaltensentwicklung der im zusammengesetzten Index enthaltenen Einzelindizes.

Tab. 14: Verhaltensmodelle welche bei den Vergleichberechnungen angewendet werden.

Zustandsindex	Verhaltensmodell
I _{A1_HS}	$y = 0.0051x^2 - 0.0411x + 0.0778$
I _{A1_NS}	$y = 0.6228\ln(x) - 0.6963$
I _{A2_HS}	$y = -0.0011x^2 + 0.1033x - 0.3$
I _{A2_NS}	$y = 1.174\ln(x) - 1.2873$
I _{A3_HS}	$y = -0.0014x^2 + 0.1292x - 0.375$
I _{A3_NS}	$y = 0.9513\ln(x) - 1.0523$
I _{A4_HS}	$y = 0.0646x - 0.1672$
I _{A4_NS}	$y = 1.0835\ln(x) - 1.2699$
I _{2_HS}	$y = 0.12x + 0.1$
I _{2_NS}	$y = 0.12x + 0.3$
I ₃	$y = 1.6501\ln(x) - 0.9645$

5.5 Analysevariablen

Sämtliche Parameter, welche im Berechnungsprozess vorkommen, werden innerhalb von VIAPMS als Analyse-Variablen bezeichnet. Für jede Analyse muss die Menge an Analyse-Variablen bezeichnet werden, die innerhalb des Berechnungsprozesses berücksichtigt wird. VIAPMS kennt gemäss seiner system-internen Struktur vier verschiedene Art von Analyse-Variablen:

- jährliche Analyse-Variablen: der Wert dieser Variablen wird von VIAPMS jährlich berechnet (was typischerweise für Zustandswerte geschieht); dazu kommen im Jahr der Auslösung einer Massnahme auch die durch die Rücksetzwerte vorgegebenen Veränderungen.
- dynamische Analyse-Variablen: diese Variablen verändern sich jeweils und ausschliesslich im Jahr der Auslösung einer Massnahme; in der Zwischenzeit bleiben die Werte konstant; die Veränderung wird auch hier durch die Definition entsprechender Rücksetzwerte bestimmt.
- statische Analyse-Variablen: alle individuellen Parameter (Datenfelder), die im Rahmen der Analyse, beispielsweise durch die Verwendung in Filtern und Formeln, in das "Entscheidungsmodell" eingebaut werden. Der Wert dieser Variablen bleibt während der ganzen Analyse-Periode konstant.
- Berechnungsvariable: diese Variable dient internen Berechnungen, sie wird ohne einen spezifischen Anfangswert definiert.

Für die Modellierung der Massnahmenwahlverfahren gemäss Ansatz 1 und Ansatz 2 und die Durchführung einer Analyse mit der Zuordnung von Massnahmen über einer Periode von 8 Jahren sind die in der Tabelle 15 aufgeführten Analysevariablen definiert worden. Die Analysevariablen umfassen folgende Datengruppen:

- Zustandsindizes nach SN 640 925b und SN 640 926.
- Zielwerte nach SN 640 901 und Kap. 2 (wegen der Verfügbarkeit der Daten beschränkt sich die Liste der Zielwerte auf die Kriterien Verkehrssicherheit (VS), Substanzerhaltung (SE) und Benutzerfreundlichkeit (BF). Diese Gruppe wird um einen übergeordneten "Gesamtzielwert" oder "Zielerfüllungsgrad" ergänzt, welcher alle berücksichtigten Zielwerte umfasst.
- Gebrauchswert (GW), Substanzwert (SW) und Gesamtwert (IG).
- Die für die Analyse benötigten Berechnungsvariablen: Jahreskosten, Gesamtkosten und Gesamtnutzen.

Tab. 15: Liste der Analyse-Variablen

Code	Typ	Beschreibung
AV_IA1	jährlich	Analyse-Variable für den Index I _{A1}
AV_IA2	jährlich	Analyse-Variable für den Index I _{A2}
AV_IA3	jährlich	Analyse-Variable für den Index I _{A3}
AV_IA4	jährlich	Analyse-Variable für den Index I _{A4}
AV_IA5	dynamisch	Analyse-Variable für den Index I _{A5}
AV_I1	jährlich	Analyse-Variable für den Index I1
AV_I2	jährlich	Analyse-Variable für den Index I2
AV_I3	jährlich	Analyse-Variable für den Index I3
AV_I5	dynamisch	Analyse-Variable für den Index I5
AV_GW	jährlich	Analyse-Variable für den Gebrauchswert
AV_SW	jährlich	Analyse-Variable für den Substanzwert
AV_IG	jährlich	Analyse-Variable für den Gesamtwert
AV_VS	jährlich	Analyse-Variable für den Zielwert Verkehrssicherheit
AV_SE	jährlich	Analyse-Variable für den Zielwert Substanzerhaltung
AV_BF	jährlich	Analyse-Variable für den Zielwert Benutzerfreundlichkeit
AV_GZW	jährlich	Analyse-Variable für den Gesamtzielwert (Zielerfüllungsgrad)
AV_JK	Berechn.	Analyse-Variable für die Jahreskosten
AV_GK	Berechn.	Analyse-Variable für die Gesamtkosten
AV_GN	Berechn.	Analyse-Variable für den Gesamtnutzen

Die Berechnung der verschiedenen Analyse-Variablen erfolgt gemäss folgenden Formeln:

Tab. 16: Berechnungsgrundlagen für die Analyse-Variablen

Code	Formel
AV_IA1	Verhaltensmodell gemäss 5.3 in Abhängigkeit der Strassenkategorie
AV_IA2	Verhaltensmodell gemäss 5.3 in Abhängigkeit der Strassenkategorie
AV_IA3	Verhaltensmodell gemäss 5.3 in Abhängigkeit der Strassenkategorie
AV_IA4	Verhaltensmodell gemäss 5.3 in Abhängigkeit der Strassenkategorie
AV_IA5	konstant gemäss Ursprungswert, Änderung nach Massnahme
AV_I1	Verhaltensmodell gemäss 5.3 in Abhängigkeit der Strassenkategorie
AV_I2	Verhaltensmodell gemäss 5.3 in Abhängigkeit der Strassenkategorie
AV_I3	Verhaltensmodell gemäss 5.3 in Abhängigkeit der Strassenkategorie
AV_I5	konstant gemäss Ursprungswert, Änderung nach Massnahme
AV_GW*	$(AV_{A1} + AV_{A5} + AV_{I2} + AV_{I3}) / 4$
AV_SW*	$0.2 * AV_{A2} + 0.2 * AV_{A4} + 0.2 * AV_{I3} + 0.4 * AV_{I5}$, wenn I5 vorh. $0.2 * AV_{A2} + 0.2 * AV_{A3} + 0.2 * AV_{A4} + 0.4 * AV_{I3}$, wenn I5 fehlt
AV_IG*	$(AV_{I1} + AV_{I2} + AV_{I3})/3 + (1.2 * \sigma (AV_{I1}, AV_{I2}, AV_{I3}))$ $\sigma =$ Standardabweichung
AV_VS*	$0.5 \times (AV_{IA1} + AV_{I3})$
AV_SE*	$0.1 \times (2 \times AV_{IA2} + 3 \times AV_{IA4} + 5 \times AV_{I5})$, wenn I5 vorhanden $0.1 \times (4 \times AV_{IA2} + 6 \times AV_{IA4})$, wenn I5 nicht vorhanden
AV_BF*	$0.1 \times (3 \times AV_{IA5} + 7 \times AV_{I2})$
AV_GZW	$(AV_{VS} + AV_{SE} + AV_{BF})/3$
AV_JK	interne Funktion von VIAPMS
AV_GK	interne Funktion von VIAPMS
AV_GN**	interne Funktion von VIAPMS

*) Die Formeln für die Analysevariablen für Gebrauchswert, Substanzwert und Zielwerte wurden in Anlehnung an die Beispiele in Kap. 2. und unter Berücksichtigung der tatsächlich verfügbaren Daten ausgearbeitet

***) Je nach Kriterium für die Optimierung können verschiedene Indikatoren zur Definition des Nutzens herangezogen werden. Die Berechnungen werden für folgende Varianten der Definition des Nutzens durchgeführt:

- Nutzen definiert als Fläche unter der Verlaufskurve für den Zielerfüllungsgrad (AV_GN1, Ansatz 1)
- Nutzen definiert als Fläche unter der Verlaufskurve der Schadensentstehung für den Gesamtwert (AV_GN2, Ansatz 2)

5.6 Modellierung der Massnahmenwahl für Ansatz 1

Grundlage für die Modellierung der Anwendungsbedingungen der Massnahmen bilden die Angaben in den Tabellen 9 a und 9 b, wobei mangels entsprechender Daten für das verwendete Testnetz auf die Berücksichtigung der Zielwerte Betriebsbereitschaft (Verkehrsablauf und Nebenanlagen) sowie Umweltverträglichkeit verzichtet wurde.

Die Modellierungsarbeit erfolgte in zwei Schritten:

- in einem ersten Schritt werden die Bereichsdefinitionen der einzelnen Massnahmen gemäss Tabellen 9a und 9b definiert
- in einem zweiten Schritt werden mittels verschachtelten Filtern die definitive Filterbedingungen definiert um sicherzustellen, dass die Anforderung der Rangordnung unter den Massnahmen respektiert wird und das System tatsächlich nur die ranghöchste Massnahme auswählt.

Tab. 17: Filterbedingungen für die Massnahmenwahl gemäss Ansatz 1, ohne Rangordnung

Name	Beschreibung	Filterbedingung*
BM1_OB	Anwendungsbereich für Oberflächenbehandlungen	(PMS->STR_TYP = "HS" And ((AV_VS > 2 And AV_VS <= 3) Or (AV_SE >= 0 And AV_SE <= 1) Or (AV_BF > 2 And AV_BF <= 3))) Or (PMS->STR_TYP = "NS" And ((AV_VS > 3 And AV_VS <= 4) Or (AV_SE > 1 And AV_SE <= 2) Or (AV_BF > 3 And AV_BF <= 4)))
BM1_FNDS	Anwendungsbereich für Fräsen und Einbau neue Deckschicht	(PMS->STR_TYP = "HS" And ((AV_VS > 3 And AV_VS <= 5) Or (AV_SE > 1 And AV_SE <= 2) Or (AV_BF > 3 And AV_BF <= 4))) Or (PMS->STR_TYP = "NS" And ((AV_VS > 4 And AV_VS <= 5) Or (AV_SE >= 2 And AV_SE <= 3) Or (AV_BF > 4 And AV_BF <= 5)))
BM1_NDS	Anwendungsbereich für den Einbau einer neuen Deckschicht	(PMS->STR_TYP = "HS" And ((AV_VS > 3 And AV_VS <= 5) Or (AV_SE > 1 And AV_SE <= 2) Or (AV_BF > 3 And AV_BF <= 4))) Or (PMS->STR_TYP = "NS" And ((AV_VS > 4 And AV_VS <= 5) Or (AV_SE >= 2 And AV_SE <= 3) Or (AV_BF > 4 And AV_BF <= 5))) And PMS->ORTSLAGE = "0"
BM1_V	Anwendungsbereich für die Oberbauverstärkung	(PMS->STR_TYP = "NS" And (AV_SE > 2 And AV_SE <= 3)) And PMS->ORTSLAGE = "0"
BM1_TE	Anwendungsbereich für die Teilerneuerung im Tiefeinbau	(PMS->STR_TYP = "HS" And ((AV_SE > 2 And AV_SE <= 3) Or (AV_BF > 4 And AV_BF <= 5))) Or (PMS->STR_TYP = "NS" And ((AV_SE > 3 And AV_SE <= 4)))
BM1_E	Anwendungsbereich für die Oberbauerneuerung	(PMS->STR_TYP = "HS" And (AV_SE > 3 And AV_SE <= 4)) Or (PMS->STR_TYP = "NS" And (AV_SE > 4 And AV_SE <= 5))

*) Entsprechend der internen Systemdefinitionen innerhalb VIAPMS haben die verwendeten Abkürzungen folgende Bedeutung:

AV_VS : Zielwert Verkehrssicherheit (Analyse-Variable für den ...)

AV_SE: Zielwert Substanzerhaltung (Analyse-Variable für den ...)

AV_BF: Zielwert Benutzerfreundlichkeit (Analyse-Variable für den ...)

AV_LF: Zielwert Leistungsfähigkeit (Analyse-Variable für den ...)

PMS->ORTSLAGE: 0 = ausserorts, 1 = innerorts

PMS->STR_TYP: HS = Hauptstrassen, NS = Nebenstrassen

Tab. 18: Filterbedingungen für die Massnahmenwahl gemäss Ansatz 1, mit Rangordnung

Name	Beschreibung	Filterbedingung*
BM1_OB	Anwendungsbereich für Oberflächenbehandlungen	BM1_OB_sep And Not (BM1_FNDS_sep Or BM1_NDS_sep Or BM1_V_sep Or BM1_TE_sep Or BM1_E)
BM1_FNDS	Anwendungsbereich für Fräsen und Einbau neue Deckschicht	BM1_FNDS_sep And Not (BM1_V_sep Or BM1_TE_sep Or BM1_E)
BM1_NDS	Anwendungsbereich für den Einbau einer neuen Deckschicht	BM1_NDS_sep And Not (BM1_V_sep Or BM1_TE_sep Or BM1_E)
BM1_V	Anwendungsbereich für die Oberbauverstärkung	BM1_V_sep And Not (BM1_TE_sep Or BM1_E)
BM1_TE	Anwendungsbereich für die Teilerneuerung im Tiefeinbau	BM1_TE_sep And Not BM1_E
BM1_E	Anwendungsbereich für die Oberbauerneuerung	(PMS->STR_TYP = "HS" And (AV_SE > 3 And AV_SE <= 4)) Or (PMS->STR_TYP = "NS" And (AV_SE > 4 And AV_SE <= 5))

5.7 Modellierung der Massnahmenwahl für Ansatz 2

Für die verschiedenen Erhaltungsmassnahmen wurden unter der den Randbedingungen von Ansatz 2 und gemäss der in Kapitel 4.5 beschriebenen Vorgehensweise folgende Anwendungsbereiche definiert (die Definition hat die Form einer Filterbedingung welche erfüllt sein muss, damit das Rechenprogramm einem bestimmten Strassenabschnitt die betreffende Massnahme als Option zuordnen kann):

Tab. 19: Filterbedingungen für die Massnahmenwahl für Ansatz 2

Name	Beschreibung	Filterbedingung*
BM2_OB	Anwendungsbereich für Oberflächenbehandlungen	(AV_A1 > 2 Or AV_A2 > 2) And (PMS->ORTSLAGE = "0" And AV_I2 < 3 And AV_I3 < 3)
BM2_FNDS	Anwendungsbereich für Fräsen und Einbau neue Deckschicht	(AV_A2 > 2 Or AV_I3 > 2) And (AV_A3 < 4 And AV_A4 < 3.5 And AV_I2 < 3)
BM2_NDS	Anwendungsbereich für den Einbau einer neuen Deckschicht	(AV_A2 > 2 Or AV_I3 > 2) And (AV_A3 < 4 And AV_A4 < 3.5 And AV_I2 < 3) And PMS->ORTSLAGE = "0"
BM2_V	Anwendungsbereich für die Oberbauverstärkung im Hocheinbau	(AV_A4 >= 2.5 Or AV_I2 > 2.5) And PMS->ORTSLAGE = "0"
BM2_TE	Anwendungsbereich für die Teilerneuerung im Tiefeinbau	AV_A4 >= 2.5 Or AV_I2 > 2.5
BM2_E	Anwendungsbereich für die Oberbauerneuerung	AV_A3 > 3 Or (AV_A4 >= 3 Or AV_I2 > 3)

*) Entsprechend der internen Systemdefinitionen innerhalb VIAPMS haben die verwendeten Abkürzungen folgende Bedeutung:

- AV_A1: Index I_{A1} (Analyse-Variable für den ...)
- AV_A2: Index I_{A2} (Analyse-Variable für den ...)
- AV_A3: Index I_{A3} (Analyse-Variable für den ...)
- AV_A4: Index I_{A4} (Analyse-Variable für den ...)
- AV_I2: Index I₂ (Analyse-Variable für den ...)
- AV_I3: Index I₃ (Analyse-Variable für den ...)
- PMS->ORTSLAGE: 0 = ausserorts, 1 = innerorts

5.8 Vergleichsgrundlagen

5.8.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der beiden Ansätze sollen auf der Grundlage der folgenden, in der Norm SN 640 904 definierten Indizes, verglichen werden:

- Gebrauchswert (AV_GW)
- Substanzwert (AV_SW)
- Gesamtwert (AV_IG)
- sowie des unter Kapitel 5.5 definierten Zielerfüllungsgrades (AV_GZW)

Dabei soll zur Definition des Nutzens einerseits die Fläche unter der Verlaufskurve der Schadensentstehung für den Gesamtwert herbeigezogen werden, andererseits jene für den Zielerfüllungsgrad.

Insbesondere geht es bei Vergleich darum aufzuzeigen, welche Ergebnisse auf Netzebene bezüglich der aufgeführten Indizes mit beiden Ansätzen bei gleicher Budgethöhe erreicht werden können.

Die Berechnungen erfolgten mittels VIAPMS [11] für die vorstehend erwähnten Bedingungen und Eingangsparameter (Analyse-Variablen, Kenngrößen der Massnahmen, Anwendungsbereich der Massnahmen und Verhaltensmodelle).

Die Analyseperiode umfasste einen Zeitraum von 10 Jahren, für welchen eine Inflationsrate von 2% und ein Diskontsatz von 4% gewählt wurden.

Für diese Analyse-Periode wurden je drei Budget-Szenarien definiert:

BAi_2000kF: Budget-Szenario mit 2 Millionen jährlich verfügbar

BAi_4000kF: Budget-Szenario mit 4 Millionen jährlich verfügbar

BAi_6000kF: Budget-Szenario mit 6 Millionen jährlich verfügbar

wobei $i = 1$ (Ansatz 1) oder 2 (Ansatz 2).

5.8.2 Optimierung, Definition des Nutzens

Der wie oben erwähnt definierte Gesamtwert (indexiert) IG, bzw. der Zielerreichungsgrad oder Gesamtzielwert GZW werden in separaten Berechnungen als Optimierungskriterium verwendet werden und finden damit auch Eingang in die Definition des Nutzens, welcher vom Konzept der Fläche unter (bzw. über) der Verlaufskurve der Schadensentstehung .ausgeht:

$nAV_PV_BEN = GET4CAV_PVDIFF(AV_IG, 5, AV_DTV, 1)$

wobei: GET4CAV_PVDIFF = interne Funktion von VIAPMS für die Berechnung der Fläche unter/über der Kurve

AV_IG: Analyse-Variable für den Gesamtindex (bzw. für GZW) , welche die Abszisse (Y-Achse) des Diagramms von Abbildung 5 definiert

5: definiert auf der Abszisse (auf der Skala der AV_IG/AV_GZW – Werte) die obere Begrenzung der Fläche (siehe Abb. 6: benefit cut-off)

AV_DTV: Gewichtungsfaktor für den Nutzen.

1: Exponent für den Gewichtungsfaktor (DTV)

Die Berechnung des Nutzens erfolgt über die folgende Gleichung in welcher der obere Wert

den besseren Zustand widerspiegelt (Anpassung bei umgekehrter Werteskala):

$$\text{Nutzen}(i) = \text{DTV}(i)^k \cdot (\text{Str_Cond}(i) - \text{Don_Cond}(i)) / ((1 + r/100)^i)$$

wobei:

i	Jahr in der Analyse-Periode
r	Aktualisierungsrate (Diskontsatz)
Nutzen(i)	Nutzen der Strategie (Anwendung der Massnahme) ab dem Jahr i
DTV(i)	DTV des Abschnittes im Jahr i
k	Gewichtungsfaktor für den DTV-Wert
Str_Cond(i)	Zustandswert bei Anwendung einer Massnahme im Jahr i
Don_Cond(i)	Zustandswert im Jahr i unter der Option "nichts tun"

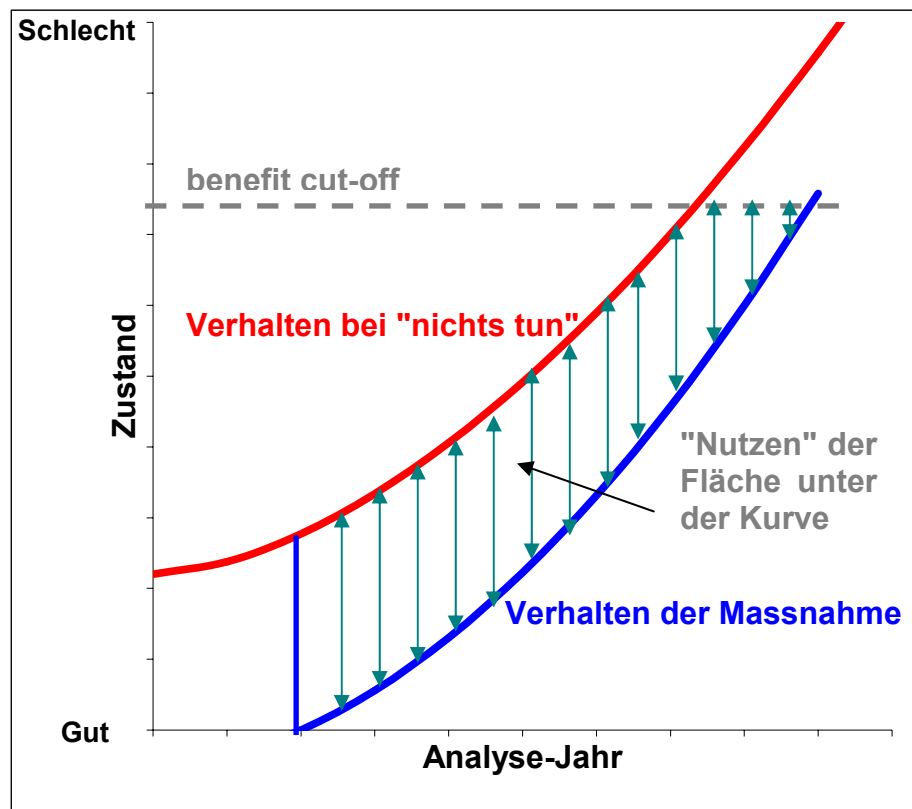


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Methode der "Fläche unter der Kurve" für die Bestimmung des Nutzens

5.9 Ergebnisse des Vergleichs

Durch die unterschiedlichen Formulierungen des Anwendungsbereichs der Massnahmen (Tabellen 18 und 19) werden die gemäss Budget-Szenarien verfügbaren Mittel unterschiedlich genutzt und damit ist der direkte Vergleich zwischen gewissen Standardergebnissen (z.B. Entwicklung des mittleren Netzzustandes für Index i) nicht zulässig. Aus diesem Grund wurde der Darstellung der Wirkung der Erhaltungsausgaben der Vorzug gegeben, eine Graphik die es auch erlaubt eine Antwort zu geben auf die Frage: Wie viel muss ich ausgeben, wenn ich bis zum Zeitpunkt X einen bestimmten Zielwert erreichen soll.

Diese Ergebnisse, dargestellt in den Abbildungen 7 bis 14 werden ergänzt durch die Sicht auf die Zusammensetzung der gewählten Massnahmen entsprechend den unterschiedlichen Berechnungsansätzen.

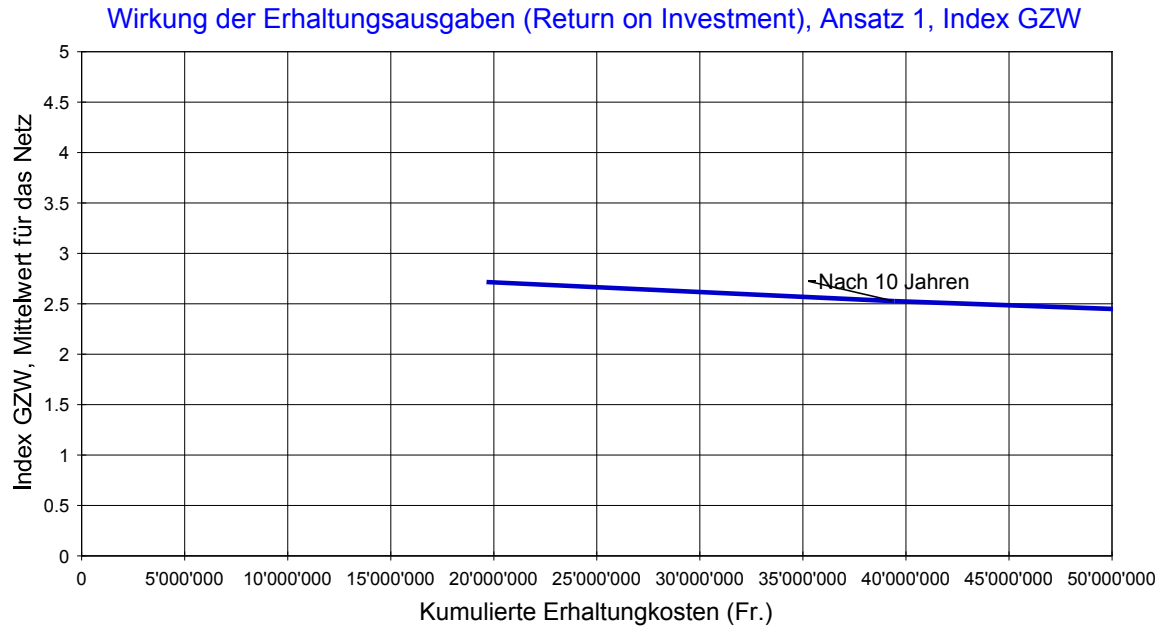


Abb. 7: Ansatz 1: Wirkung der Erhaltungsausgaben auf AV_GZW

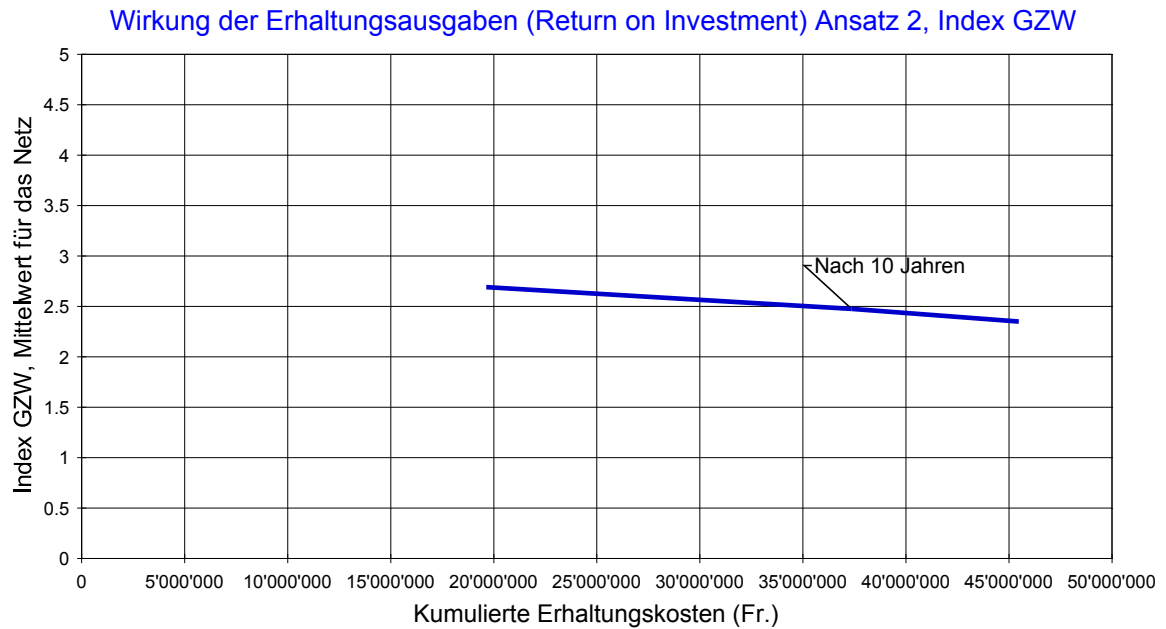


Abb. 8: Ansatz 2: Wirkung der Erhaltungsausgaben auf AV_GZW

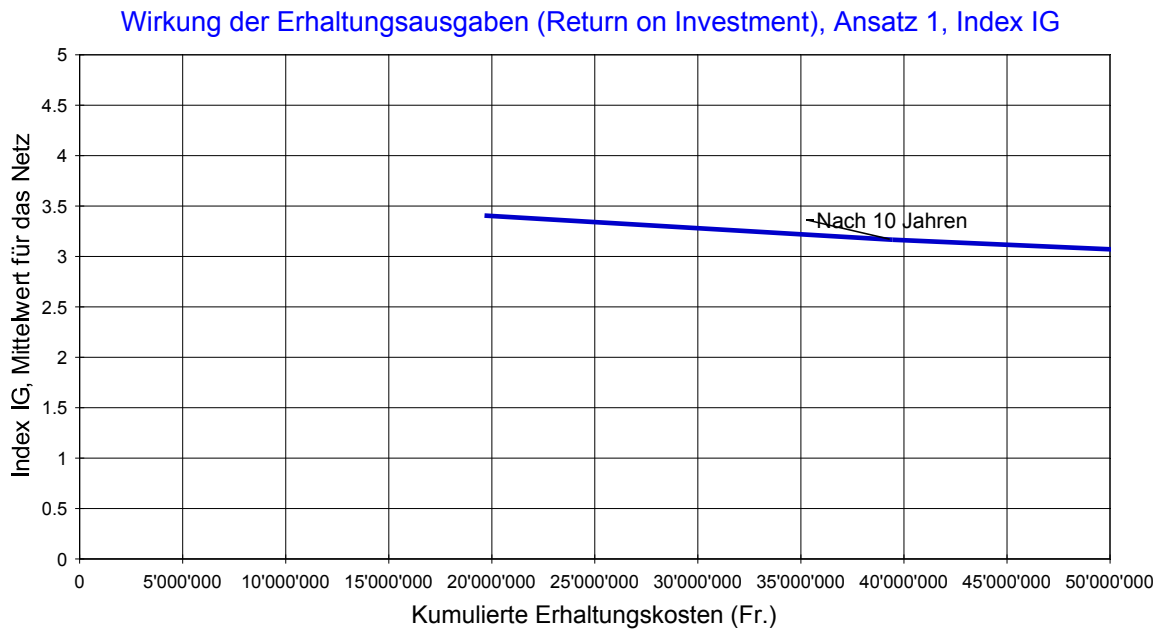


Abb. 9: Ansatz 1: Wirkung der Erhaltungsausgaben auf AV_IG

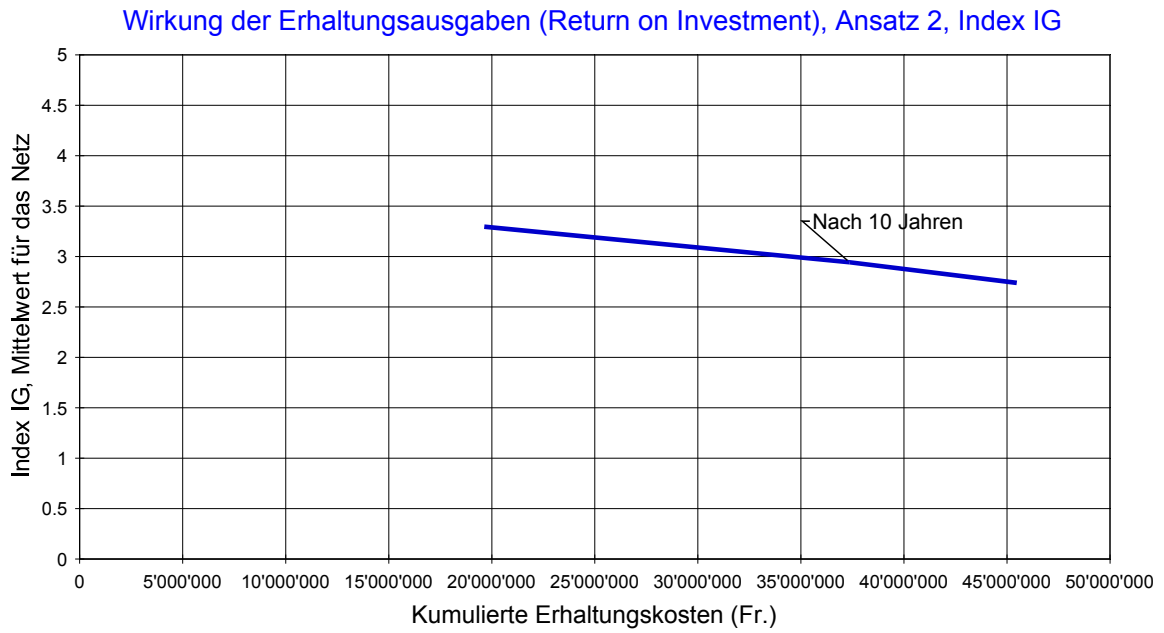


Abb. 10: Ansatz 2: Wirkung der Erhaltungsausgaben auf AV_IG

Wirkung der Erhaltungsausgaben (Return on Investment), Ansatz 1, Gebrauchswert GW

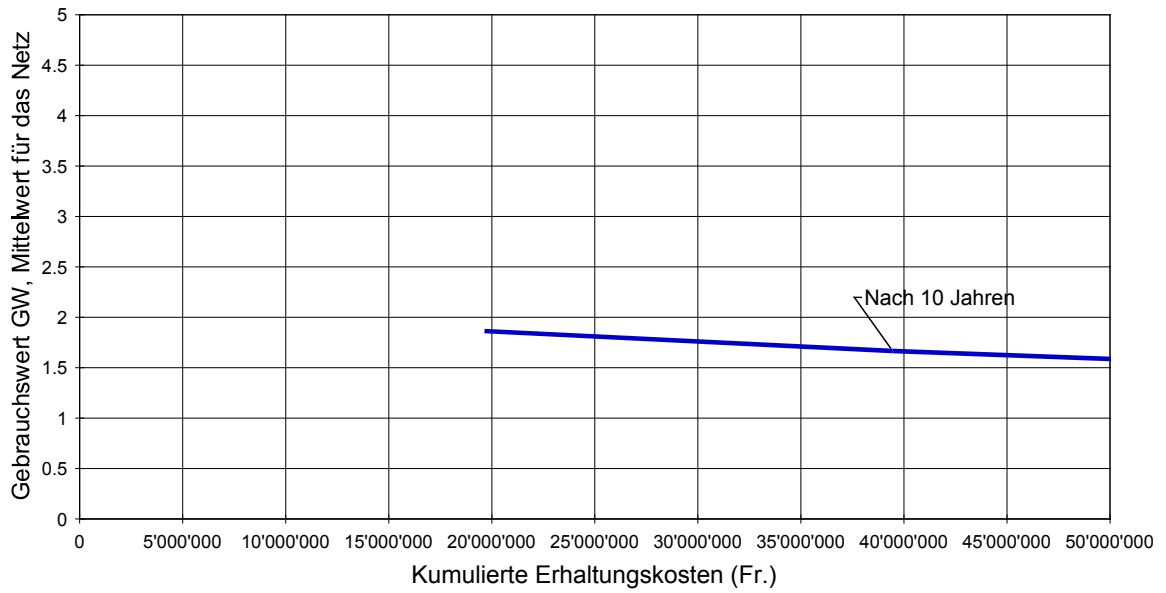


Abb. 11: Ansatz 1: Wirkung der Erhaltungsausgaben auf AV_GW

Wirkung der Erhaltungskosten (Return on Investment), Ansatz 2, Gebrauchswert GW

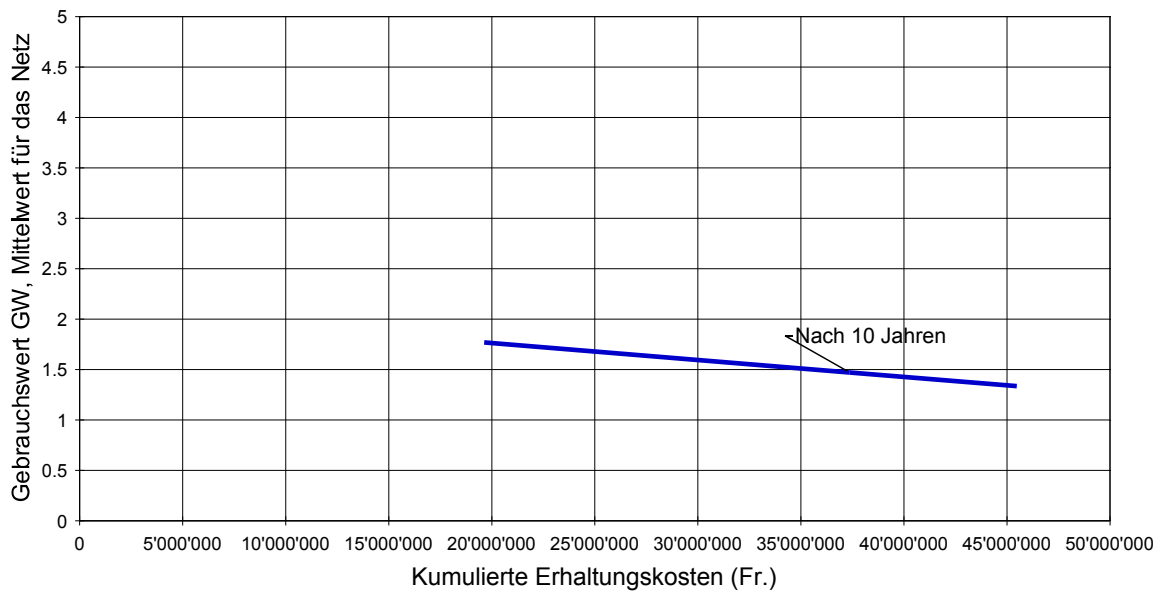


Abb. 12: Ansatz 2: Wirkung der Erhaltungsausgaben auf AV_GW

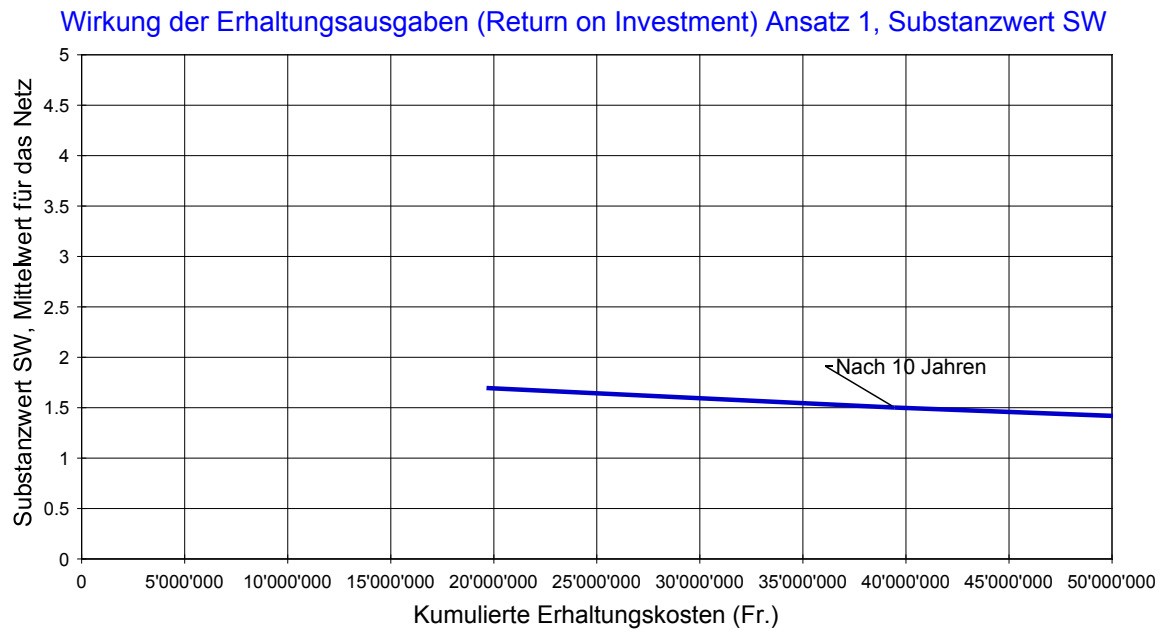


Abb. 13: Ansatz 1: Wirkung der Erhaltungsausgaben auf AV_SW

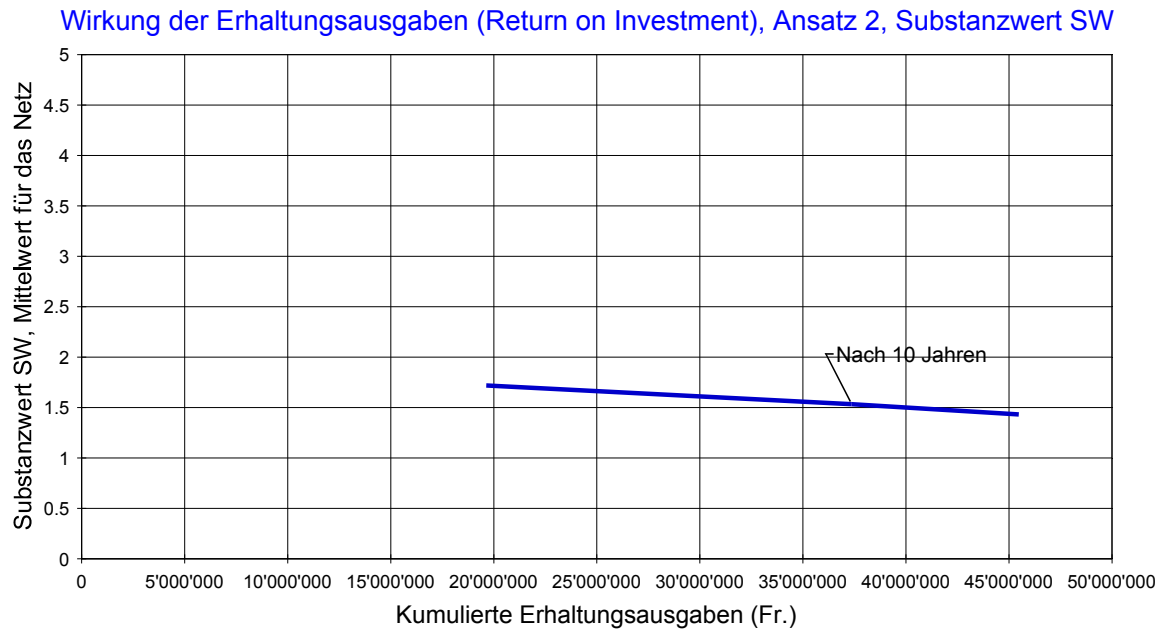


Abb. 14: Ansatz 2: Wirkung der Erhaltungsausgaben auf AV_SW

Verteilung der Art von Massnahmen, Ansatz 1

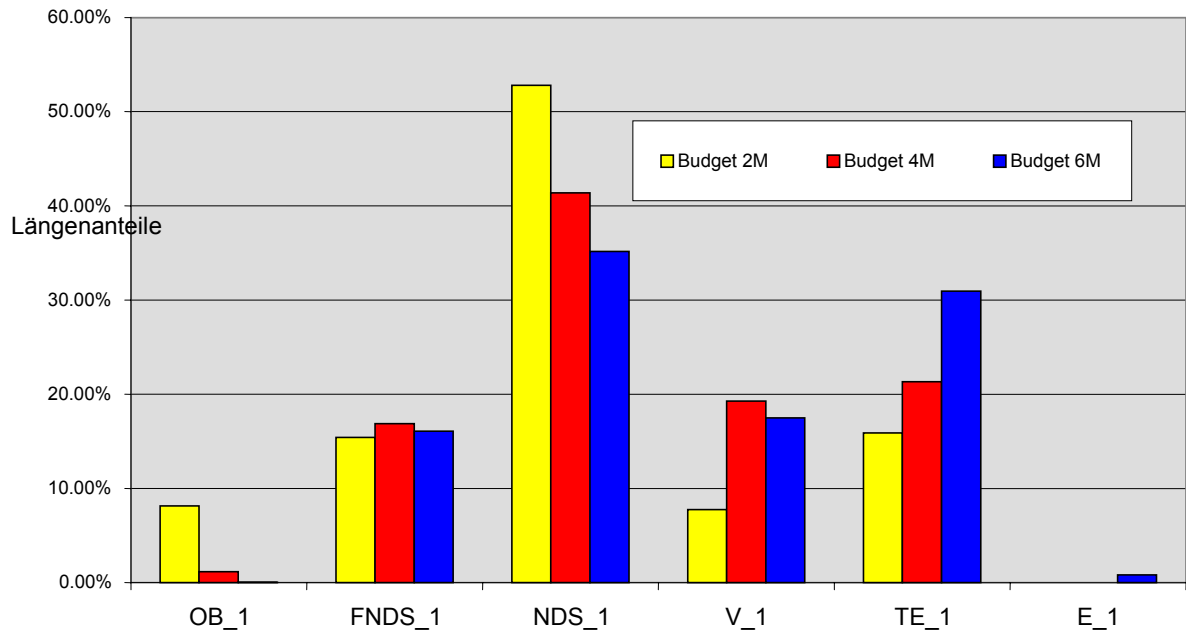


Abb. 15: Ansatz 1, Verteilung der Art der Massnahmen nach Budget-Szenario

Budget	OB_1	FNDS_1	NDS_1	V_1	TE_1	E_1	OB_2	FNDS_2	NDS_2	V_2	TE_2	E_2
2M	62.53%	18.38%	18.44%	0.04%	0.60%	0.00%	0.00%	40.46%	57.51%	1.94%	0.10%	0.00%
4M	43.43%	23.49%	30.33%	1.05%	1.70%	0.00%	0.00%	32.94%	62.98%	3.81%	0.28%	0.00%
6M	33.37%	22.56%	38.06%	2.21%	3.80%	0.00%	0.00%	31.78%	63.66%	3.55%	1.02%	0.00%

Verteilung der Art von Massnahmen, Ansatz 1

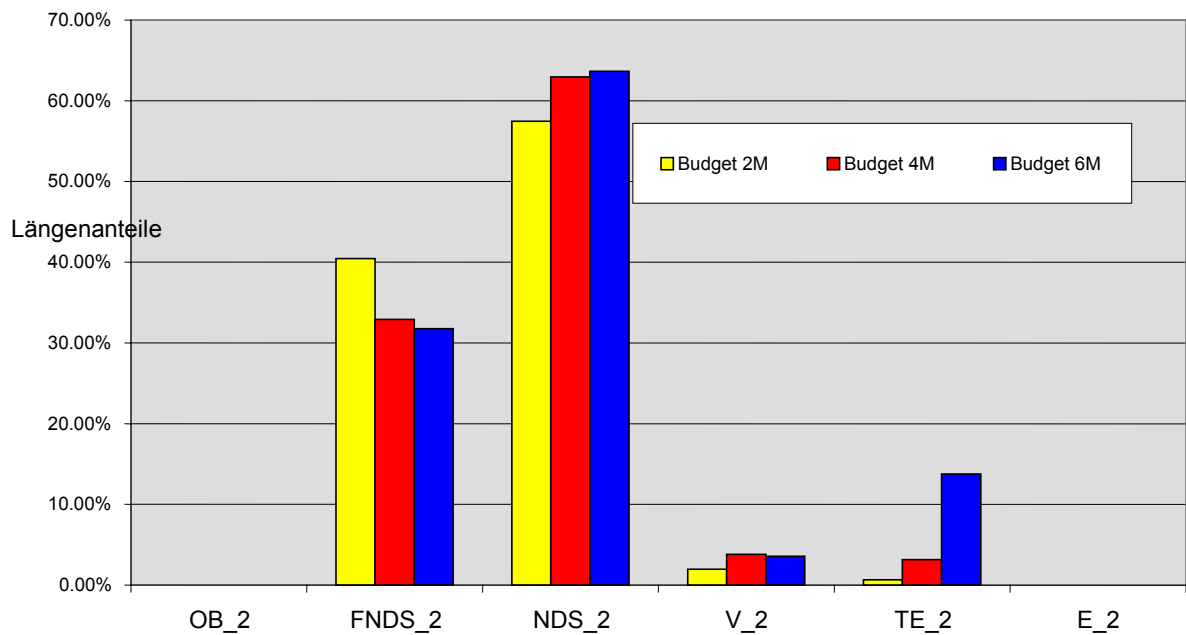


Abb. 16: Ansatz 2, Verteilung der Art der Massnahmen nach Budget-Szenario

5.10 Auswertung und Kommentar

5.10.1 Wirkung der Erhaltungsaufwendungen

Tabelle 20 enthält die Indexwerte für vier charakteristische Indexes welche bei beiden Ansätzen nach 10 Jahren mit einem kumulierten Erhaltungsaufwand von 45 Millionen Franken erreicht werden können (dieser Betrag entspricht dem oberen Extremwert der Kurven für Ansatz 2, bei welchem die verfügbaren Mittel weniger ausgeschöpft wurden als im Fall von Ansatz 1). In Tabelle 21 sind die Beträge dargestellt, die nach Ansatz 2 in 10 Jahren ausgegeben werden müssten, um das gleiche Ergebnis wie gemäss Ansatz 1 und mit 45 Millionen Erhaltungsaufwand zu erreichen.

Tab. 20: Indexwerte nach Erhaltungskosten von 45 Millionen für beide Ansätze

Index	Wert Ansatz 1	Wert Ansatz 2	Differenz abs.	Differenz %
Gesamtzielwert GZW	2.49	2.36	0.13	5.18%
Gesamtindex IG	3.12	2.75	0.37	11.73%
Gebrauchswert GW	1.62	1.34	0.28	17.28%
Substanzwert SW	1.46	1.44	0.02	1.41%

Tab. 21: Aufwand nach Ansatz 2 für gleiche Ergebnisse in 10 Jahren mit 45 Millionen nach Ansatz 1

Index	Aufwand Ansatz 2	Differenz abs.	Differenz %
Gesamtzielwert GZW	36'159'771	8'840'229	19.64%
Gesamtindex IG	28'467'909	16'532'091	36.74%
Gebrauchswert GW	28'499'745	16'500'255	36.67%
Substanzwert SW	44'396'310	603'690	1.34%

Die Durchführung einer Massnahmenplanung nach Ansatz 2 hat sich im Rahmen der definierten Randbedingungen der Vergleichsberechnungen als vorteilhafter gezeigt. Wenn nach 10 Jahren die Differenzen im Ergebnis bezüglich des erreichten Netzmittelwertes für die verschiedenen Indizes als gering bis leicht (bis über 15%) bezeichnet werden können und dabei alle auf der positiven Seite liegen, so sind doch die möglichen Einsparungen bei vergleichbarem Ergebnis durchaus bedeutend (bis über ein Drittel).

Die im Vergleich beider Ansätze festgestellten Ergebnisse sind im Rahmen einer Optimierung über einer längeren Analyse-Periode zustande gekommen und können nicht mit den Ergebnissen einer Dringlichkeitsreihung ohne Optimierung verglichen werden. Es sei dennoch darauf hingewiesen, dass die ökonomischen Vorzüge der Optimierung gegenüber der Dringlichkeitsreihung hinlänglich nachgewiesen worden sind [11].

Es stellt sich nun aber dennoch die Frage, auf was denn die Unterschiede im Ergebnis beider Ansätze zurückzuführen sind.

- Ein erster Faktor, welcher nicht aus den hier gezeigten Ergebnissen ersichtlich ist, a-

ber bei näherer Betrachtung der Ergebnisdatei auffällt, ist die Anzahl der möglichen Varianten. Unter den Bedingungen von Ansatz 1 hat das System insgesamt 7521 Strategien erzeugt, d.h. Kombinationen von Art der Massnahme und Jahr der Ausführung (zusätzlich zur Variante "nichts tun"). Bei einer Analyse-Periode von 10 Jahren und einem Netz mit total 485 Abschnitten ergibt dies pro Abschnitt und Jahr 1.5 Varianten (wobei sich diese Varianten bei der gegebenen Definition des Anwendungsbereiches und der Zuordnung von Massnahmen auf die Wahlmöglichkeit zwischen Überzügen NDS und Deckschichtersatz nach Fräsen FNDS beschränkt. Beim Ansatz 2 wurden insgesamt 11352 Strategien erzeugt, also gut 50% mehr mit 2.3 Varianten pro Abschnitt und Jahr im Durchschnitt, welche auch die Möglichkeit der (späteren) Verstärkung und der teilweisen Erneuerung im Tiefeinbau umfassen.

- Bei dieser Ausgangslage beschränkt sich der Spielraum für die Nutzen/Kosten- Optimierung bei Ansatz 1 insbesondere auf das Verschieben des Ausführungszeitpunktes einer Massnahme auf der Zeitachse, währenddem bei Ansatz 2 auch die zusätzliche Möglichkeit besteht, im selben Jahr unter verschiedenen Lösungen zu wählen. Die gewissermassen vorweggenommene Optimierung in den Bedingungen zur Massnahmenwahl, welche auf dieser Ebene wohl für den einzelnen Abschnitt gut sein kann, die Gesamtsicht des Netzes jedoch nicht berücksichtigt, schränkt das Optimierungspotential beim eigentlichen Optimierungsprozess (hier: der Maximierung des Nutzens auf Netzebene im Rahmen der verfügbaren Mittel über einer definierten Zeitperiode) in drastischer Weise ein.
- Die Gründe für die praktische Gleichheit der Ergebnisse aus beiden Ansätzen bezüglich des Substanzwertes müssten noch mittels einer detaillierteren Überprüfung der Einzelparameter des Substanzwertes untersucht werden. Der aus Ansatz 1 hervorgehende Massnahmenmix mit einem kleinen Anteil an Massnahmen ohne Auswirkungen auf die Tragfähigkeit (OB, FNDS) dürfte in diesem Fall die beschränkten Wahlmöglichkeiten für die Optimierung kompensieren und damit auch Grund für den relativ geringen Unterschied sein.

5.10.2 Verteilung der Art der Massnahmen

Gemäss den Ergebnissen beider Ansätze hat die Instandsetzungsmassnahme NDS, Anbringen einer neuen Deckschicht als Überzug, die deutlich häufigsten Anwendungen. Bezüglich der übrigen Massnahme führt Ansatz 1 zu einem breiter gestreuten Mix der Massnahmen (Ausnahme: Erneuerungen, bei beiden Ansätzen nicht oder kaum vorgeschlagen), wobei bei Ansatz 2 Vorschläge zur Wahl einer Oberflächenbehandlung gänzlich ausbleiben.

Die Definitionen der Anwendungsbereiche der Massnahmen und weitere Regeln zur Selektion sind zwischen beiden Ansätzen verschieden und stellen eine der möglichen Lösungen dar (in beiden Systemen liesse sich an der Definition des Anwendungsbereiches weiter verbessern). Dennoch können die oben erwähnten Feststellungen mit grosser Zuverlässigkeit auf ganz bestimmte, systembedingte Faktoren zurückgeführt werden:

- Für Instandsetzungsmassnahmen, Verstärkungen, Teilerneuerungen und Erneuerungen wurden im wesentlichen die gleichen Rücksetzwerte gewählt, einzig bezüglich der Tragfähigkeit wurden einzelne Massnahmen mit einer unterschiedlichen Wirkung definiert. Dies führt dazu, dass der Nutzen sowohl in der Definition des Gesamtzielwertes – im Rahmen des durchgeführten Vergleichs ausschliesslich aus gewichteten Zustandsindizes der Fahrbahn hergeleitet – als auch in der Definition des Gesamtindex für die meisten Massnahmen praktisch gleich ausfällt.

Bei gegebener Wahlmöglichkeit unter verschiedenen Optionen – so wie dies bei An-

satz 2 durch eine gewisse und gewollte Überlappung im Anwendungsbereich der Massnahmen gegeben ist – wird im Rahmen der Optimierung unter Berücksichtigung der Kosten und Nutzen automatisch die kostengünstigere Lösung gewählt, eben eine Instandsetzung mittels Überzug. Die an sich gleichwertige aber etwas teurere Lösung des Belagsersatzes mit Abfräsen der bestehenden Deckschicht bleibt auf jene Fälle beschränkt, wo die Überzüge bewusst ausgeschlossen werden (Innerortsbereich).

Bei Ansatz 1 ist eine Überlappung des Anwendungsbereiches der einzelnen Massnahmen ausgeschlossen und überdies wird zwingend die ranghöhere Massnahme gewählt, was sich in einem deutlich höheren Anteil an Massnahmen vom Typ Verstärkung und Teilerneuerung niederschlägt.

- Das Fehlen der Option Oberflächenbehandlungen bei den vorgeschlagenen Lösungen gemäss Ansatz 2 liegt darin begründet, dass die untere Grenze des Anwendungsbereichs für diese Massnahme bei Ansatz 1 bereits relativ früh angesetzt ist (insbesondere für kantonale HVS, siehe Tab. 9a), in einem Indexbereich zwischen 1 und 2. Beim Ansatz 2 wird die untere Grenze des Anwendungsbereiches hingegen etwas höher angesetzt und die Option Obeflächenbehandlung offenbart sich auch als nicht ökonomisch. Derselbe Effekt lässt sich auch bei den Ergebnissen für Ansatz 1 beobachten, wo die Wahl einer Oberflächenbehandlung bei zunehmenden Mitteln (Budget-Szenarien mit 4 oder 6 Millionen jährlich) ebenfalls verschwindet.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

6.1 Ergebnisse des Forschungsauftrages

6.1.1 Indikatoren für die Gesamtbewertung der Fahrbahnen

Die in den Kapiteln 2 und 3 des Berichtes dargestellten Möglichkeiten der Bildung von zusammengesetzten Indizes stellen unterschiedlich konzipierte Beispiele für die Definition von Indikatoren für die Gesamtbewertung von Fahrbahnen dar und sind als eine Ergänzung der Möglichkeiten zu verstehen, welche bereits in der Norm SN 640 904 beschrieben sind.

Die Indexbildungen gemäss Ansatz 1 (in Kapitel 2 beschrieben) beruhen auf einer Kombination von Zustandsindikatoren mit verschiedenen Zielen zur Erhaltung von Strassen und führen unter anderem auf die Bestimmung zielbezogener Gebrauchs- und Substanzwerte. In einer Ergänzung zu diesen Teilzielen wurde im Rahmen des Vergleichs beider Ansätze bei der Massnahmenplanung auch ein Gesamtzielwert oder Zielerfüllungsgrad definiert (Kapitel 5).

Die Indexbildungen gemäss Ansatz 2 (in Kapitel 3 beschrieben) ergänzen die bisher gebräuchlichen Begriffe des Gebrauchs- und des Substanzwertes um einen Sicherheitsindex, welcher bei spezifischer Zielsetzung eingesetzt werden kann. Bezüglich der Berechnungsformeln für den Gebrauchs- und den Substanzwert wird in Kapitel 3 gegenüber der Norm SN 640 904 einer veränderten Formel der Vorzug gegeben. Die vorgeschlagene Formel, ähnlich konzipiert wie die in der Norm angegebene Formel für Gesamtindizes, berücksichtigt die Streuung der Einzelergebnisse und stützt sich nicht nur auf den alleinigen Mittelwert ab.

Beide Ansätze, die im Rahmen dieser Arbeit ausschliesslich aus der Optik der Erhaltung von Fahrbahnen ausformuliert und angewendet wurden, können so ergänzt werden, dass auch andere, für die Erhaltung der Strassen wichtige Kriterien einbezogen werden können.

6.1.2 Verwendung der Indikatoren im Rahmen der Massnahmenplanung

Die Forschungsarbeit hat sich über die engere Thematik der Definition von Indikatoren hinaus auch mit deren unmittelbaren Verwendung im Rahmen der Massnahmenplanung auseinandergesetzt.

Im ersten Ansatz (Ansatz 1) werden die Zustandsindikatoren direkt mit den Zielen der Erhaltung von Fahrbahnen verknüpft um in einem Schritt direkt zur Massnahmenwahl verwendet werden zu können.

Im zweiten Ansatz (Ansatz 2) wird von einem zweistufigen Vorgehen ausgegangen, bei welchem in einem ersten Schritt eine Auswahl technisch sinnvoller Massnahmen bestimmt wird aus welcher in einem zweiten Schritt unter Beachtung der verfügbaren Mittel und einer frei definierbaren Zielgrösse die optimale Kombination von Massnahmen berechnet wird.

Die Differenzen dieser beiden Ansätze liegen weniger in einem unterschiedlichen technischen Konzept der Massnahmenplanung als vielmehr in deren "geschichtlichen" Entwicklung. Das Konzept nach Ansatz 1 ist für die Gesamtbeurteilung der Funktionsfähigkeit der Fahrbahnen und deren Zubehör entworfen, worin ein ausschliesslich zur Beurteilung des Fahrbahnzustandes definierter „PMS- Kern“ enthalten ist. Die Massnahmenplanung gemäss diesem Ansatz beruht auf einer vorgängigen Optimierung nach Kriterien wie Lebensdauer und Kosten mit eigens entwickelten Massnahmen- und Optimierungsmodell. In diesem Sinne

eignet sich dieser Ansatz besonders für die detaillierte Beurteilung der Strasse.

Das Konzept nach Ansatz 2 stammt hingegen aus Anwendungserfahrungen mit Einbezug des Langzeitverhaltens und der Optimierung, bei denen das erwähnte zweistufige Vorgehen eben im Vordergrund steht.

6.1.3 Vergleich verschiedener Ansätze zur Massnahmenplanung

Der Vergleich der beiden Ansätze im Rahmen von ausführlichen Beispielberechnungen für ein Strassennetz von ca. 360 km Länge konnte durch entsprechende Modellierung beider Vorgehensweisen in VIAPMS für eine längere Planungsperiode mit Optimierung durchgeführt werden (gewählte Dauer der Analyseperiode: 10 Jahre).

Der Vergleich hat ergeben, dass im Rahmen einer langfristigen Planung mit Optimierung nach Zielgrössen, der zweistufige Ansatz vorteilhafter ist. Dies liegt im wesentlichen darin begründet, dass damit das eigentliche Optimierungspotential tatsächlich ausgeschöpft werden kann während die direkte Kombination der Auswahlkriterien von Massnahmen mit den Erhaltungszielen die Anzahl möglicher Varianten stark einschränkt.

Die ursprünglich unterschiedlichen Ansätze lassen sich insofern mit einem "Mehrwert" kombinieren, als für die Massnahmenplanung in einem mittel- bis langfristigen Optimierungsprozess von einem zweistufigen Vorgehen ausgegangen wird mit vorwiegend technischen Kriterien für die Ausarbeitung einer Anzahl von Varianten und einer der Wahl einer zielorientierten Grösse als Kriterium für die Optimierung und die definitive Massnahmenwahl.

6.2 Schlussfolgerungen

Der Bericht beschreibt ausführlich die im Rahmen der Auftragsdefinition genannten Arbeitsschritte und geht auf die Ziele der Forschungsauftrages ein, die damit als erfüllt betrachtet werden können.

Die bisher bereits in der Norm SN 640 904 enthaltene Liste von Indikatoren für die Erhaltung von Fahrbahnen wurde um einige konkrete Beispiele bereichert.

Die über die ursprüngliche Absicht weiter vertiefte Auseinandersetzung mit der Thematik der Verwendung der Zustandsindikatoren bei der Planung von Erhaltungsmassnahmen von Fahrbahnen liefert präzise Hinweise bezüglich des Vorgehens für den optimalen Mitteleinsatz unter einer mittel- und langfristigen Optik.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] SN 640 900: „Erhaltungsmanagement/ Management der Strassenerhaltung MSE- Grundsätze und Begriffssystematik“
- [2] SN 640 901: „Erhaltungsmanagement/ Management der Strassenerhaltung MSE - Zielsystem“
- [3] SN 640 904: „Erhaltungsmanagement (EM) - Gesamtbewertung von Fahrbahnen, Kunstbauten und Technischen Ausrüstungen: Substanz- und Gebrauchswert“
- [4] SN 640 908: „Erhaltungsmanagement (EM) - Bewertung von Strassenabschnitten im Netz, Funktionelle Bewertung
- [5] SN 640 925b: „Erhaltungsmanagement (EM) – Zustandserhebung und Indexbewertung von Fahrbahnen“
- [6] I. Scazziga, „Evaluation des Strassenzustandes- Diagnostic d'état des chaussées“, Laboratoire des voies de circulation LAVOC, EPF Lausanne, VIAGROUP SA, Winterthur und Romanel s/Lausanne, VSS- Forschungsbericht 10402000
- [7] A. Rafi, "Einführung des Konzeptes "Management der Strassenerhaltung" (MSE) für das National- und Kantonsstrassennetz Graubünden- Phase: Massnahmenplanung und Dringlichkeit", Januar 2000
- [8] SN 640 907: „Erhaltungsmanagement (EM) – Grundlagen zur Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement“
- [9] SN 640 730: Erhaltung von Fahrbahnen - Kopfnorm; Massnahmenkonzept"
- [10] M. Blumer und E. Stahel: „Management der Strassenerhaltung (MSE) Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell“, Forschungsbericht Nr. 357,
- [11] G. T. Rhode, Long-Term Network Performance (A Function of PMS Maintenance Selection Policy) Transportation Research Record No 1592, Transportation Research Board, National Research Council, National Press Academy, Washington, D.C., 1997.
- [12] I. Scazziga, Erfahrungsbilanz in der Anwendung der Norm SN 640 925 – Ausarbeitung der Grundlagen für eine Anpassung der Gewichtungen und der Bewertungsskala, VSS- Forschungsbericht Nr. 392, 1997
- [13] Laboratoire des voies de circulation LAVOC, EPF Lausanne Analyse des modèles de comportement des chaussées, VSS- Forschungsbericht 1002, 2001
- [14] I. Scazziga, Grundlagen zur Revision der Norm SN 640 925a inkl. Schadenkatalog, , VSS- Forschungsbericht1041, 2002
- [15] Gestion de l'entretien des chaussées – Exploitation des données d'auscultation et analyse optimisées des résultats, Viagroup- Bericht für den Service des Routes et Cours d'Eau du Canton du Valais, 2004 (unveröffentlicht).
- [16] A. Rafi, R. Hajdin, U. Welte, „Optimierungsprozesse im Management der Strassenerhaltung MSE“, VSS- Forschungsbericht 1109 2005
- [17] I. Scazziga, Ermittlung der Nutzerkosten für das Management der Strassenerhaltung, VSS- Forschungsbericht Nr.427, 1998.