

**Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation /  
Bundesamt für Strassen**

**Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la  
communication / Office fédéral des routes**

**Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni /  
Ufficio federale delle strade**

# Evaluation des Strassenzustandes

## Diagnostic d'état des chaussées

**Laboratoire des voies de circulation LAVOC, EPF Lausanne  
VIAGROUP SA, Winterthur und Romanel s/Lausanne**

**I. Scazziga, dipl. Ing. ETH, VIAGROUP SA**

**Forschungsauftrag Nr. 12/99 auf Antrag der  
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)**

**Schlussbericht, September 2000**

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	
Résumé	
Abstract	
1. Einleitung .....	7
2. Ausgangslage .....	8
2.1. Bestehende Situation in der Schweiz .....	8
2.1.1. SN 640 925a .....	8
2.1.2. SN 640 925a, Anhang: Richtlinie für die visuelle Zustandserfassung .....	8
2.1.3. SN 640 925, Beilage: Schadenkatalog .....	9
2.1.4. Schlussbericht zu Forschungsauftrag 09/95: "Erfahrungsbilanz in der Anwendung der Norm SN 640 925 – Ausarbeitung der Grundlagen für eine Anpassung der Gewichtungen und der Bewertungsskala" .....	11
2.1.5. Erfahrungen bei der netzweiten Erfassung des Indizes I1 auf allen Nationalstrassen im Jahre 1998. ....	12
2.2. Bestehende Situation im Ausland .....	12
2.2.1. AIPCR .....	12
2.2.2. Deutschland .....	14
2.2.3. Frankreich .....	17
2.2.4. Österreich .....	19
2.2.5. Belgien .....	20
2.2.6. Niederlande .....	22
2.2.7. Dänemark .....	23
2.2.8. USA .....	23
2.2.9. Weltbank .....	24
3. Der Bedarf und die Verwendung von Zustandsindizes .....	26
3.1. Allgemeines .....	26
3.2. Massnahmenwahl .....	27
3.2.1. Allgemeines .....	27
3.2.2. Schwellenwerte zur Auslösung von Massnahmen .....	30
3.3. Kostenberechnung .....	31
3.4. Evaluation des Zustandes von Abschnitten und Strassennetzen mit Hilfe eines einheitlichen Bewertungsmassstabes und Streckenvergleich .....	31
3.5. Verwendung als Verhaltensmodell .....	34
4. Anforderungen an Indizes .....	35
4.1. Bedarfskonformität .....	35
4.2. Wirtschaftliche Aspekte .....	35
4.3. Anforderungen an die Datenqualität .....	36
4.3.1. Aufnahme der Rohdaten und Qualitätsklassen von Indizes und Erfassungsmethoden .....	37
4.3.2. Datenunabhängigkeit .....	37
4.3.3. Kontrolle der Daten (Datenqualität) .....	38
5. Methoden für die Erfassung und für die Bewertung des Strassenzustandes .....	39

5.1.	Erfassung von Zustandsdaten.....	39
5.1.1.	Mögliche Erfassungsmethoden .....	39
5.1.2.	Wahl einer Erfassungsmethode .....	41
5.2.	Bewertungsmethoden .....	42
5.3.	Zeitliche Stabilität der Methoden.....	43
6.	Vorschläge für Einzelindizes.....	45
6.1.	Ausgangslage .....	45
6.2.	Vorgeschlagene Einzelindizes .....	48
6.3.	Bewertungsregeln.....	51
7.	Vorschläge für zusammengesetzte Indizes.....	54
7.1.	Frühere Praxis .....	54
7.2.	Wozu zusammengesetzte Indizes und wozu nicht .....	55
7.3.	Gesamtindizes und "Spartenindizes" .....	56
7.4.	Zusammengesetzte Indizes und verfügbare Daten.....	56
7.5.	Vorschläge für ein Gesamtindex.....	58
7.5.1.	Berücksichtigte Parameter .....	58
7.5.2.	Berechnungsverfahren .....	58
7.5.3.	Spartenindizes.....	60
8.	Schwellenwerte.....	61
8.1.	Definitionen.....	61
8.2.	Bestehende Grundlagen und Normvorgaben .....	62
8.2.1.	Ebenheit in Längsrichtung.....	62
8.2.2.	Ebenheit in Querrichtung.....	62
8.2.3.	Griffigkeit .....	63
8.2.4.	Grundlagen der Tragfähigkeitsbewertung.....	64
8.3.	Frühere Grundlagen .....	64
8.3.1.	Dimensionierungsnormen.....	64
8.3.2.	SN 640 925 Zustandserfassung und Bewertung von Strassen (Originalfassung) 65	
8.3.3.	Ebenheitsnormen SN 640 521 (Originalfassung).....	66
8.4.	Vorschläge für Schwellenwerte .....	66
8.4.1.	Schwellenwerte wofür? .....	66
8.4.2.	Schwellenwerte: Vorschläge für Einzelindizes .....	67
8.4.3.	Schwellenwerte für zusammengesetzte Indizes?.....	68
8.5.	Berechnung der massgebenden Abschnittswerte (Datenaggregation).....	70
9.	Schlussfolgerungen.....	72
10.	Literaturverzeichnis .....	74

**Beilage: Résumé technique**

## Zusammenfassung

Die vorliegende Forschungsarbeit geht auf die Initiative der Fachkommission 7 "Management der Strassenerhaltung" der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS zurück. Sie bezweckt die Ausarbeitung eines Konzeptes für die Festlegung von Indizes zur Kennzeichnung des Strassenzustandes, um damit die Schadenanalyse und die Wahl von Erhaltungsmassnahmen zu unterstützen.

Entsprechend der detaillierter formulierten weiteren Zielen und Anforderungen an die Forschungsarbeit sollte der "Lieferumfang" dieser Arbeit folgende Teilaufgaben und Vorschläge umfassen:

- Situationsanalyse in der Schweiz und im Ausland mittels Literaturlauswertung,
- Ausarbeitung von Vorschlägen für Einzelindizes mit Angabe von Schwellenwerten,
- Ausarbeitung von Vorschlägen für zusammengesetzte Indizes (ein "Gesamtindex" ist dabei nur eine von mehreren Varianten zusammengesetzter Indizes) mit Angabe von Schwellenwerten,
- Ausarbeitung von Vorschlägen für die Datenaggregation,
- Darstellung möglicher Methoden der Zustandserfassung.

"Fernziel" dieser Arbeit ist zudem einerseits die Angabe einer Liste der massgebenden Zustandsindizes zuhanden einer parallel durchgeführten Forschungsarbeit welche Vorschläge für die Entwicklung von Verhaltensmodellen zum Gegenstand hat und andererseits die Bereitstellung einiger Grundlagen für eine spätere Revision der Norm über die Zustandserfassung und Bewertung von Strassen.

Zur Lösung der gestellten Aufgabe wurde eine eingehende Untersuchung des Bedarfes und des Verwendungszweckes von Zustandsindizes im Rahmen des Managements der Strassenerhaltung durchgeführt, welche unter anderem den Einzelindizes und den zusammengesetzten Indizes voneinander verschiedene "Aufgaben" zuweist. Vor diesem Hintergrund wurde in der Folge die konkrete Ausarbeitung der gewünschten Vorschläge durchgeführt, beziehungsweise begründet, warum bestimmte Absichten unter den gegebenen Randbedingungen nicht realisierbar sind (z.B. Schwellenwerte für zusammengesetzte Indizes).

Das Ergebnis der Arbeit, insbesondere die Liste der vorgeschlagenen Einzelindizes und zusammengesetzter Indizes, lehnt sich in starkem Masse an die bisher gebräuchliche Methodik an; insbesondere wird die eigentliche Zustandserfassung, d.h. das Erheben und Messen von Rohdaten von den Ergebnissen dieser Arbeit kaum tangiert. Die ausgearbeiteten Vorschläge – welche gewisse Änderungen gegenüber der bisherigen Praxis beinhalten – betreffen aber ausschliesslich die nachträgliche Bearbeitung und Auswertung der Rohdaten, wodurch bisher mit teilweise hohem Aufwand erhobene Grunddatenbestände weiterhin ihre Gültigkeit und Verwendbarkeit behalten. Die Arbeit lehnt sich im übrigen an die Normen der VSS an sowie an die im Rahmen des Projektes PMS VS/NE ausgearbeiteten Vorschläge für die Datenaggregation.

## Résumé

Ce rapport de recherche répond à une initiative de la Commission 7 "Management de la Maintenance de Routes" de l'Union Suisse des Professionnels de la Route VSS. L'élaboration d'un concept pour la sélection d'un ensemble d'indices d'état individuels ou combinés, aptes à soutenir le processus de l'analyse d'une situation de dégradation et du choix d'une mesure d'entretien, sont le but principal de la recherche.

Selon la formulation plus détaillée des buts et des exigences pour ce travail de recherche, l'étude devait comprendre en particulier les tâches et les élaborations de propositions suivantes:

- analyse de la situation en Suisse et à l'étranger par recherche bibliographique,
- élaboration de propositions pour des indices individuels et des seuils correspondants,
- élaboration de propositions pour des indices combinés (un "indice global" est finalement une variante possible d'indice combiné) et des seuils correspondants ,
- élaboration de propositions pour l'agrégation des données,
- présentation des méthodes possibles pour le relevé de l'état des chaussées.

Les buts plus "à long terme" de cette recherche sont d'une part, la proposition des indices déterminants pour un mandat de recherche conduit en parallèle afin d'évaluer les méthodes de développement de lois d'évolution pour l'état des chaussées et d'autre part, la préparation de différents éléments de base pour une révision future de la norme concernant le relevé et l'évaluation de l'état des chaussées.

Une analyse approfondie des besoins en indices et de leur domaine d'utilisation dans le cadre du management de la maintenance des routes entreprise comme phase initiale de la recherche, a mis en évidence que les indices individuels d'une part et les indices combinés d'autre part ont des "fonctions" tout à fait différentes. C'est sur la base de cette constatation ou évidence qu'ont été élaborées les propositions concrètes selon le cahier de charges du mandat de recherche et qu'il a aussi été démontré pourquoi certaines tâches n'auraient pas pu être réalisées dans les conditions existantes (par exemple les seuils pour les indices combinés).

Le résultat du travail de recherche, et en particulier la liste proposée des indices individuels et combinés, reprend essentiellement dans les grandes lignes les méthodes des normes actuelles. Le relevé proprement dit, c'est-à-dire la saisie ou la mesure des valeurs brutes, n'est pratiquement pas concerné par les résultats de cette recherche. Les propositions élaborées – qui comportent quelques changements par rapport à la pratique courante – concernent exclusivement le traitement et l'exploitation successive de ces données. Ce patrimoine important (en considérant les efforts) que constituent les données d'état recueillies jusqu'ici continuera donc à rester valable et utilisable. Les différentes propositions de la recherche se réfèrent essentiellement aux normes de la VSS ainsi qu'aux propositions pour l'agrégation des données développées dans le cadre du projet PMS VS/NE.

## **Abstract**

The research work presented in this report has been proposed by the technical committee 7 on "Management of Road Maintenance" of the Swiss Association of Road and Traffic Experts VSS. The scope of the research is the development of a concept for defining indices for pavement condition to be used in a damage analysis and in the selection of maintenance treatments.

According to the detailed additional scopes and requirements for the research work, the deliverables of the final report should include the following partial tasks and proposals:

- Literature survey on the situation in Switzerland and abroad,
- Development of proposals for individual indices including trigger values,
- Development of proposals for composite indices ( a "global index" is only one of different possibilities to define a composite index calculated from different variables) including trigger values,
- Development of proposals for data aggregation,
- Presentation of different methods for condition surveys.

The proposals developed in this research work are also intended to be used within another research project conducted at the same time and with the purpose to develop guidelines for the development of performance curves. Finally these proposals should be used as the reference for a later revision of the method for condition surveys and evaluation of pavement surfaces.

A key part of the research was a detailed investigation on the needs and the use of condition indices within the management of pavement maintenance, where different and independent "tasks" have been identified for individual and for composite indices. Following this investigation the required proposals have been developed or else explications could be given why certain intentions could not be realized under the given boundary conditions (for instance trigger values for composite indices).

The result of the work, in particular the list of the proposed individual and composite indices, relies to a large extent on the methodology applied so far. The actual survey work, i.e. the collection and measurement of raw data, is not affected by the results of the research. The proposals which have been developed – and which lead to certain differences in the methods applied so far – are related exclusively to the post-processing and evaluation of raw data. This allows to maintain the validity of all the data which had previously been collected with sometimes great effort. Proposals from the research work also rely on the technical specifications of VSS and on the proposed approach for data aggregation developed in PMS project for the Cantons of Neuchâtel and Valais.

## 1. EINLEITUNG

Die vorliegende Forschungsarbeit geht auf die Definition eines Forschungsprojektes durch die Expertenkommission EK 7.05 der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS) zurück, welches die Grundlage für die öffentliche Ausschreibung der Forschungsarbeit bildete. Das Detailkonzept für die Durchführung des Projektes wurde durch die Forschungsgemeinschaft LAVOC und Viagroup SA so festgelegt, dass eine enge Koordination und dadurch auch möglichst viele Synergien mit dem durch die gleichen Forschungsnehmer bearbeiteten Forschungsauftrag 11/99 "Verhaltensmodelle" angestrebt werden.

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist die Definition der Methoden für die Erfassung des Strassenzustandes und die Ausarbeitung von Vorschlägen für die Bewertung mittels Einzelindizes und kombinierten Indizes. Die Arbeit steht in Zusammenhang mit der allgemeinen Ausarbeitung von Grundlagen für ein Pavement Management System, das die Bedürfnisse der schweizerischen Benutzer möglichst gut und umfassend abdecken kann.

Gemäss dem im Forschungsantrag ausformuliertem Konzept gehen die beteiligten Forschungsstellen davon aus, dass in einem ersten Schritt der Bedarf an solchen Indizes untersucht werden muss, und dass schliesslich aus der vorgesehenen Verwendung heraus diejenigen Kennziffern (Indizes) ausgewählt werden müssen, welche dem tatsächlichen Bedarf am besten entsprechen. Für diese Indizes gilt es dann, im Rahmen der parallel durchgeführten Forschungsarbeit zur Thematik der Verhaltensmodelle, die entsprechenden Modellansätze zu untersuchen und zu entwickeln.

Die ganze Arbeit wurde während ihrer Durchführung von der Expertenkommission EK 7.05 begleitet und wichtige Zwischenetappen der Arbeit durch diese EK validiert.

## 2. AUSGANGSLAGE

### 2.1. Bestehende Situation in der Schweiz

#### 2.1.1. SN 640 925a

Die im Jahre 1997 als erste Revision erschienene Norm SN 640 925a "Zustandserfassung und Bewertung von Fahrbahnen" enthält die derzeit gültigen Grundlagen für Zustandserfassung und Bewertung und orientiert sich im wesentlichen an die ursprüngliche Fassung von 1991 (SN 640 925) welche nach den folgenden Grundsätzen aufgebaut war:

- für die wesentlichen Zustandsindikatoren wird eine **einheitliche dimensionslose Bewertungsskala von 0 bis 5** eingeführt (die Wahl einer solchen Skala orientiert sich an der Praxis des Befahrbarkeitswertes oder Present Serviceability Index PSI – seit 1972 in der Normensammlung der VSS als SN 640 321 normiert – welcher anlässlich des AASHTO-Strassentests [17] definiert wurde und damit auch mit den seit 1972 bestehenden schweizerischen Dimensionierungsnormen [18] in Zusammenhang steht,
- in der genannten Werteskala werden soweit vorhanden und sinnvoll die **Anforderungswerte** an neue Deckschichten entsprechend der **Note 4** eingeordnet und die als unterer **Grenzwert** zu betrachtenden Normwerte entsprechend der **Note 1**,
- **Oberflächenschäden** (oder "surface distress" nach international anerkannter Terminologie), welche verschiedene Erscheinungsformen aufweisen, werden **zu einem einzigen Index zusammengefasst** (Index der Oberflächenschäden I1).

Nach der genannten Norm werden heute die folgenden Zustandsindizes verwendet:

- Index I1: Index der Oberflächenschäden,
- Index I2: Index der Ebenheit in Längsrichtung,
- Index I3: Index der Ebenheit in Querrichtung,
- Index I4: Index der Griffbarkeit,
- Index I5: Index der Tragfähigkeit.

#### 2.1.2. SN 640 925a, Anhang: Richtlinie für die visuelle Zustandserfassung

Diese Vornorm gibt eine konkrete Anleitung für die Durchführung der visuellen Zustandserfassung. Bei der visuellen Aufnahme von Oberflächenschäden im Sinne der Grobaufnahme (nach Hauptgruppen) müssen Schwere und Ausmass verschiedener Merkmale der gleichen Hauptgruppe richtig erkannt bzw. geschätzt werden.

Die Grobaufnahme ist die vereinfachte Erfassung und Bewertung des Fahrbahnzustandes. Sie kommt in erster Linie bei der systematischen Aufnahme ganzer Strassennetze oder Teilnetze zur Anwendung. Die Grobaufnahme der Schadenbilder erlaubt die Entwicklung von generellen Erhaltungsstrategien für den Erhaltungsbedarf und eine generelle Planung von Erhaltungsmaßnahmen.

Die Detailaufnahme ist die Erfassung und Bewertung der Fahrbahnschäden auf Projektebene. Betrachtet wird ein bezüglich Zustand und Erhaltung möglichst homogener Planungsabschnitt. Das Resultat der Detailaufnahme bildet eine Grundlage für die Projektierung der Erhaltungsmassnahmen.

Bei der visuellen Zustandserfassung werden die Fahrbahnschäden visuell erhoben. Die Erfassung erfolgt entweder von blossen Auge oder mittels optischer Hilfsmittel wie Fotos oder Filmaufnahmen. Dabei geht es um die Aufnahme von Art, Ausmass und Schwere der Schäden. Letztere richten sich nach den im Schadenkatalog festgelegten Grundsätzen :

- Das Schadenausmass wird flächenmässig, in Laufmetern oder anzahlmässig geschätzt bzw. gemessen.
- Die Schadensschwere wird nach den im Schadenkatalog festgelegten Grundsätzen geschätzt. Bei Vorkommen mehrerer Schwereklassen der gleichen Merkmalsgruppe ist in der Regel die schwerste Klasse für die Gruppenbewertung massgebend, wenn die Gesamtbeurteilung dies auch bestätigt.

### 2.1.3. SN 640 925, Beilage: Schadenkatalog

Der Schadenkatalog wurde als ein Hilfsmittel für die Anwendung der Norm SN 640 925 konzipiert, welches einen wesentlichen Beitrag zur Herabminderung der bei einer visuellen Erfassung von Oberflächenschäden zu erwartenden Streuungen infolge subjektiver Einflüsse liefern sollte. Dies wurde einerseits durch eine möglichst klare Begriffsdefinition (in Wort und Bild) der einzelnen Schäden angestrebt und andererseits durch die Einführung einer Methodik mit der Erfassung von Ausmass und Schwere der einzelnen Schäden, was deren Quantifizierung möglichst zu vereinfachen vermag.

Als die Norm SN 640 925 ausgearbeitet wurde und auch anlässlich von deren Revision wurde bei der Zusammenstellung der Tabellen für eine detaillierte visuelle Aufnahme die Gesamtheit aller im Schadenkatalog aufgeführten Schadenmerkmale übernommen. Es muss in Zusammenhang mit der direkten praktischen Umsetzung des Schadenkataloges berücksichtigt werden, dass dieses "Nachschlagewerk" eine möglichst breite Palette von Schäden umfasst, unabhängig von der praktischen Möglichkeit, diese Schäden auch zuverlässig erkennen und quantifizieren zu können. So sind beispielsweise bei den folgenden Einzelmerkmalen gewisse Anmerkungen anzubringen:

**Tabelle 1:** Bemerkungen zu einzelnen Schadenmerkmalen im jetzigen Schadenkatalog.

<b>Schadenmerkmal</b>	<b>Bemerkungen</b>
<i>Bituminöse Beläge</i>	
Polieren	Das Polieren ist von blossen Auge nur schwer erkennbar und abschätzbar, beim Befahren einer Strecke oder mittels Bildauswertung nicht erkennbar. Jede Beobachtung gilt bloss als "Vermutung", die vorerst messtechnisch, z.B. mittels der kombinierten Pendel/Ausflussmesser-Methode zu überprüfen ist.

<b>Schadenmerkmal</b>	<b>Bemerkungen</b>
Ausmagerung/ Absanden	Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Schadenmerkmale Ausmagerung/Absanden, Kornausbrüche, Ablösungen und Schlaglöcher in vielen Fällen verschiedene Entwicklungsstufen desselben Phänomens darstellen. Demzufolge könnte man sich eine einzige Merkmalsbeschreibung vorstellen (z.B. Materialverlust) mit Zuordnung der verschiedenen Erscheinungsformen zu unterschiedlichen Schwerestufen (z.B. Ausmagerung/Absanden als Schwerestufe "leicht", Kornverluste als Schwerestufe "mittel" und Ablösungen und Schlaglöcher als Schwerestufe "schwer").
Abrieb	Bei fehlender mechanischer Beanspruchung (Spikes-Reifen) beträgt der normale Abrieb 1 mm/Jahr für Strassen mit einer Verkehrsbelastung von ca. DTV 20'000 [12] und dürfte damit visuell kaum erkennbar sein. Vielfach kann zunächst bloss ein Farbunterschied zwischen den Radspuren und der übrigen Fläche festgestellt werden. Bei bedeutenderem Ausmass ist eine deutliche Unterscheidung zwischen Abrieb und Verformung (Spurrinnen) kaum mehr möglich.
Frosthebungen	Dieses Schadenmerkmal hat nur temporären Charakter; nach der Frostperiode kann eine Hebung als solche nicht mehr erkannt werden, hingegen sind allfällige Folgeschäden – im allgemeinen Längsrisse die bei der Hebung und/oder beim anschliessenden Auftauen entstanden sind – eher erkennbar.
<b>Betonbeläge</b>	
Polieren	Das Polieren ist von blossen Auge nur schwer erkennbar und abschätzbar, beim Befahren einer Strecke oder mittels Bildauswertung nicht erkennbar. Jede Beobachtung gilt bloss als "Vermutung", die vorerst messtechnisch, z.B. mittels der kombinierten Pendel/Ausflussmesser-Methode zu überprüfen ist.
Abrieb	Bei fehlender mechanischer Beanspruchung (Spikes-Reifen) beträgt der normale Abrieb 1 mm/Jahr für Strassen mit einer Verkehrsbelastung von ca. DTV 20'000 [12] und dürfte damit visuell kaum erkennbar sein.
Hohlliegende Platten	Dieser Schaden ist nicht sichtbar; allenfalls können die daraus entstehenden Konsequenzen wie Stufenbildung und Risse (die vielfach wiederum zu einer besseren Plattenaufgabe führen) erkannt werden. Hohlliegende Platten können aber mit komplexen Messverfahren (z.B. Collographe, Radar) festgestellt werden, wobei es sich dann nicht mehr um eine "visuelle" Aufnahme handelt.
Pumpen	Beim Pumpen handelt es sich nicht um einen eigentlichen physischen Schaden an einer Betonplatte, sondern vielmehr um einen Vorgang, welcher zu weiteren Schäden führen kann (hohlliegende Platten, Stufenbildung, Risse). Pumpen kann unter gewissen Umständen (Regen) am Spritzwasser (als Träger von Feinanteilen aus Fundationsschicht und/oder Untergrund) aus Fugen und Rissen sowie an seitlichen Ablagerungen von Feinanteilen beobachtet werden.

Schadenmerkmal	Bemerkungen
Blow-Up	Dieser Schaden tritt schlagartig auf und erfordert eine sofortige Sanierungsmassnahme (eventuell zunächst mittels provisorischer Lösung). Der Schaden kann nicht vorausgesehen werden, geschweige denn als solcher im Voraus erkannt werden. Nach abgeschlossener Reparatur kann die entsprechende Stelle allenfalls als Flickstelle erfasst werden.

Der Schadenkatalog ist zur Zeit als Norm aufgelistet, welche kurzfristig revidiert werden soll (siehe auch 2.1.4).

#### **2.1.4. Schlussbericht zu Forschungsauftrag 09/95: "Erfahrungsbilanz in der Anwendung der Norm SN 640 925 – Ausarbeitung der Grundlagen für eine Anpassung der Gewichtungen und der Bewertungsskala"**

##### *Zweck und wesentliche Ergebnisse*

Die oben erwähnte Forschungsarbeit [11] hatte primär den Zweck, die Revisionsarbeiten an der Norm SN 640 925 zu unterstützen, indem einerseits die Erfahrungen in der Anwendung der Norm in ihrer ursprünglichen Version zusammengefasst und andererseits konkrete Vorschläge für neue Gewichtungen einzelner Merkmalsgruppen erarbeitet wurden. Die Forschungsarbeit unterzog auch den Inhalt der Norm einer kritischen Kontrolle. Die Forschungsarbeit hat die Vorbereitung der revidierten Norm SN 640 925a wesentlich mitgeprägt und der begleitenden Subkommission wichtige Entscheidungsgrundlagen geliefert. Schliesslich dient der Schlussbericht der Forschungsarbeit auch dazu, Hintergrundinformationen und Begründungen zu verschiedenen neuen Festlegungen der Norm zu liefern. Neben der Ausarbeitung der schliesslich bei der Revision übernommenen Vorschlägen befasste sich die Forschungsarbeit auch mit dem Aufzeigen alternativer Vorgehensweisen, die stärker vom bisherigen Konzept abwichen und bewusst einer späteren Überarbeitung der Norm vorbehalten blieben. Im Rahmen einer erneuten Diskussion über die Gestaltung und Auswahl von Zustandsindizes gewinnen diese Alternativvorschläge wieder an Aktualität. Der entsprechende Text wird deshalb im folgenden als Zitat (*kursiv*) aus dem Forschungsbericht übernommen.

*Als Alternative zu den vorstehend genannten Vorschlägen, welche sich im wesentlichen an die bisherige Norm anlehnen, könnte es durchaus denkbar sein, anstelle eines gemeinsamen Indizes der Oberflächenschäden mehrere Indizes für die jeweiligen Hauptgruppen zu verwenden, wie dies z.B. auch in den Arbeitspapieren der FGSV, dem HDM3-System der Weltbank sowie bei mehreren anderen Anwendungen üblich ist. Ein solches Vorgehen würde noch stärker als die bisherige, sowie neu vorgeschlagene Hauptvariante die direkte Koppelung mit der Massnahmenplanung erleichtern. Die nachträgliche Bildung eines Gesamtindizes zur Verwendung im Rahmen allgemeiner Aufgaben der Erhaltungsplanung (PMS auf der Netzebene), der Prioritätensetzung und der zeitlichen Verfolgung des durchschnittlichen Netzzustandes ist dadurch nicht beeinträchtigt.*

*Wenn dieser Vorschlag im Rahmen dieser Arbeit bloss als eine "Alternativvariante" präsentiert wird, so erfolgt dieser aus der Überlegung, dass ein solcher Schritt heute etwas verfrüht wäre. Die Verwendung von Indizes in einem PMS-System erfordert nämlich auch die Koppelung entsprechender Verhaltensmodelle. Es sind in der Schweiz z.Z. noch ungenügende Grundlagen für die Entwicklung von Verhaltensmodellen im entsprechenden Detailgrad (d.h. für getrennte Verhaltensmodelle nach Hauptgruppen) vorhanden, hingegen können auf den vorhandenen Grundlagen erste Ansätze von Verhaltensmodellen für Oberflächenschäden in ihrer Gesamtheit ausgearbeitet werden. Sobald die Ausgangslage eine bessere ist, gewinnt der genannte Alternativvorschlag an Aktualität. In diesem Sinne könnte er anlässlich einer späteren Normrevision im Vordergrund stehen. Als Voraussetzung dazu sollten zwischenzeitlich immer die Werte des Ausmasses und Schwere der Hauptgruppen (und nicht statt dessen der davon abgeleitete Index der Oberflächenschäden II) in einer Strassendatenbank abgelagert und nachgeführt werden.*

### **2.1.5. Erfahrungen bei der netzweiten Erfassung des Indizes II auf allen Nationalstrassen im Jahre 1998.**

Im Jahre 1998 wurde auf allen Nationalstrassen der Index der Oberflächenschäden II aufgenommen, wobei die Kantone im wesentlichen frei waren in der Entscheidung wie diese Aufgabe gelöst werden sollte, u.a. auch bezüglich der Frage ob die Aufnahmen durch entsprechend geschultes eigenes Personal durchgeführt werden sollten oder aber an Dritte zu vergeben seien. Ebenso offen waren verschiedene Parameter der konkreten Durchführung der visuellen Aufnahme und die Wahl möglicher Hilfsmittel.

Zur Sicherstellung einer möglichst einheitlichen Durchführung wurde für den Beginn der Arbeiten auf die Herausgabe des Normzusatzes: "SN 640 925a, Anhang: Richtlinie für die visuelle Zustandserfassung" gewartet und die Aufgabenstellung in einer zentral durchgeführten Tagung mit halbtägiger praktischer Schulung vorgestellt.

Die bereits anlässlich der Schulung festgestellten grossen Diskrepanzen in der Beurteilung durch verschiedene Beobachter widerspiegelt sich im Gesamtbild der heute netzweit verfügbaren Daten des Nationalstrassennetzes, welche durch eine sehr grosse Streuung der Werte gekennzeichnet sind. Berechtigte Zweifel an der uneingeschränkten Vergleichbarkeit der Ergebnisse haben dazu geführt, dass noch keine wesentlichen Vorentscheidungen aufgrund der vorliegenden Werte getroffen wurden.

Die zu erwartende Streuung der Werte wurde zwischenzeitlich auch durch die Ergebnisse einer unveröffentlichten Studie des Kantons Waadt bestätigt [30].

## **2.2. Bestehende Situation im Ausland**

### **2.2.1. AIPCR**

Im Rahmen der AIPCR, insbesondere der Arbeiten des Comité C1 über Oberflächeneigenschaften wurde in den letzten Jahren zunächst eine Bestandesaufnahme der bei der visuellen Aufnahme von Oberflächenschäden erfassten Parameter durchgeführt

[6], um anschliessend und auf den Ergebnissen dieser Umfrage aufbauend, Vorschläge für die Harmonisierung der Bewertung [7] auszuarbeiten.

Um eine Übersicht über den aktuellen Stand der Praxis bei der visuellen Schadenaufnahme sowie über den Stand der Entwicklung bei den automatisierten Methoden zur Erkennung und Bewertung von visuellen Schäden zu erhalten, wurde bei verschiedenen Strassenverwaltungen und Forschungsinstituten eine detaillierte Umfrage durchgeführt. Die Auswertung des Fragebogens umfasste die Beiträge folgender Länder: Algerien, Australien, Belgien, Canada-Québec, Finnland, Frankreich, Japan, Marokko, Mexiko, Niederlande, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakische Republik, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich. Das Ergebnis der Umfrage hat zu einer recht repräsentativen Zusammenfassung der Situation bei der visuellen Aufnahme geführt und einige Vorinformationen zum Entwicklungsstand bei den automatischen Schadenerkennungsmethoden zusammengetragen, die zu folgenden Schlussfolgerungen geleitet haben:

- Seit mehreren Jahren werden verschiedene Methoden der visuellen Schadenerfassung mit Erfolg angewendet. Meist beruhen diese Methoden auf eingehende Voruntersuchungen und Studien und die vorhandenen Schadenkataloge stellen eine ausgezeichnete Dokumentation dar. Daneben sind auch verschiedene Hilfsmittel auf EDV-Basis (PC-Lösungen) für die Ausbildung entwickelt worden. In diesem Bereich wird kein besonderer Forschungsbedarf festgestellt mit Ausnahme von Untersuchungen über die Bedeutung und die Folgen der Verwendung verschiedener Formeln für die Berechnung globaler Indizes.
- In bezug auf die automatischen Schadenerkennungssysteme lässt sich feststellen, dass Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf verschiedenen Ebenen laufen. Dabei wird hervorgehoben, dass zwei deutlich unterschiedliche Gruppen von Entwicklern am Werk sind: einerseits Forschungsprojekte mit dem Ziel der Entwicklung praktisch einsetzbarer Aufnahmegeräte und andererseits Forschergruppen die ausschliesslich (theoretisch) im Bereich der Bilderkennung arbeiten, unabhängig von der Art der Aufnahme und einer bestimmten Art der Bildverarbeitung. Beide Gruppen sind sehr aktiv und beide könnten zweifellos aus Empfehlungen für eine harmonisierte Methode der Quantifizierung von Ausmass und Schwere der Schäden, des Formats der Darstellung der Ergebnisse und der Berechnungsmethoden für Indizes Vorteile erzielen. Schliesslich gilt es für viele Forscher die Anstrengungen so zu intensivieren und auszudehnen, dass über die Problematik der Erkennung und Verarbeitung von Rissen hinaus auch sämtliche andere Formen von Oberflächenschäden der automatischen Bearbeitung zugeführt werden.
- Im Anschluss an den XX. Weltstrassenkongress sollte sich die AIPCR auf die Entwicklung harmonisierter Methoden für die Quantifizierung des Ausmasses und der Schwere von Oberflächenschäden, eines Formats der Darstellung der Ergebnisse und der Berechnungsmethoden für Indizes konzentrieren. Solche Empfehlungen sollten gleichermassen auf visuelle Aufnahmen und auf automatische Methoden der Erfassung von Oberflächenschäden angewendet werden können.

Alle 19 Länder haben detaillierte Listen verschiedener Schadentypen für bituminöse Beläge eingereicht aber nur deren 10 auch eine gleichartige Liste für Betonbeläge. In der Tabelle von Abbildung 1 ist eine Zusammenfassung der verschiedenen Schadentypen dargestellt mit Angabe der Priorität (entsprechend der Anzahl Nennungen) und des Anwendungsbereiches (Netz- oder Projektebene). Die Verwendung von kombinierten Indizes für die Darstellung der Ergebnisse einer visuellen Inspektion ist in 14 Ländern vorgesehen. Dabei können für die Berechnung dieser Indizes verschiedene Methoden angewendet werden: Mittelwert, gewichteter Mittelwert, Punkteaufsummierung (nach oben offene Skala), Abzugsformeln.

### 2.2.2. Deutschland

In der Bundesrepublik wurden in den 80-er und 90-er Jahren umfangreiche Arbeiten zur Thematik der Strassenerhaltung durchgeführt und unter anderem auch Vorschläge (FGSV-Arbeitspapier zur "Systematik der Strassenerhaltung", Teil D, Zustandsbewertung, 2. Entwurf, April 1990 [15]) für die systematische Zustandserfassung und Bewertung ausgearbeitet. Aufgrund dieser Unterlagen wurden seitdem verschiedene grössere Zustandserfassungskampagnen auf Bundesautobahnen und Bundesstrassen durchgeführt [15, inklusive Wiederholungsmessungen insgesamt über 100'000 Fahrstreifen-km. Nach diesem Arbeitspapier werden die relevanten Zustandsmerkmale und Indikatoren je nach Erfassungsmethode aufgelistet. Für Strassen mit bituminösen Belägen sind es die in Tabelle 2 aufgelisteten Merkmale.

**Tabelle 2:** Merkmale gemäss Zustandserfassungsmethoden in Deutschland

<b>Erfassungsmethode</b>	<b>Zustandsmerkmal</b>	<b>Indikator</b>
visuell-sensitiv	Allgemeine Unebenheiten (Befahrbarkeit)	verbal
	Spurrinnen	Spurrinntiefe $s_T$
	Wasserrückhalt	Prozent der Fläche
	Netzrisse/Risshäufungen	Prozent der Fläche
	Ausmagerung/Splittverlust	Prozent der Fläche
	Flickstellen	Prozent der Fläche
messtechnisch	Ebenheit im Längsprofil	Spektrale Dichte $\Phi_h(\Omega_0)$
	Ebenheit im Querprofil	Spurrinntiefe $s_T$
		Spurkantenhöhe $h_S$
		Spurrinntiefe $s_H$
Griffigkeit	Gleitbeiwert $\mu_{SRM}$	

Tableau VI.1 - Liste des dégradations

<i>priorité</i>	<i>dégradation</i>	<i>niveau</i>	<i>type</i>	<i>étendue 1</i>	<i>étendue 2</i>	<i>gravité</i>
<b>Routes souples</b>						
1	groupe déform. locales	RP	PTA	% of A	nb	profondeur
1	dépression localisée	P	A	% of A	nb	profondeur
1	affaissement	P	A	% of A	nb	profondeur
1	groupe des fissures	RP	LTA			
1	fissures longitudinales	RP	L	% of L	L	larg.+descr
1	fissures transversales	RP	T	nb		larg.+descr
1	faïençage	RP	A	% of L	L	larg.+descr
1	groupe perte de matériaux	RP	PLA			
1	nid de poule	RP	P	% de L	nb	diamètre+ nb
1	plumage	P	A	% de A	A	niveau ext
1	désenrobage	P	A	% de A	A	niveau ext
1	pelade	P	A	% de A	A	niveau ext
1	réparations locales	RP	A	% de L	% de A	niveau ext
1	groupe de remontées	P	TA	% de L		
1	ressuage	P	A	% de A		descriptif
2	bourrelet latéral	P	T	% de L		profondeur
2	bourrelet transversal	P	T	% de L	% de A	profondeur
2	fissuration par fatigue	RP	L	% de L	L	larg.+descr
2	fissuration aux bords	RP	L	% de L	L	larg.+descr
2	fiss. long. aux raccords	RP	L	% de L	L	larg.+descr
2	remontée de fissures	RP	T	% de L	nb	larg.+descr
2	fiss. transv. aux raccords	P	T	% de L	nb	larg.+descr
2	usure (normale)	P	L	% de A		
2	orniérage	RP	L	% de L	L	prof. moy.
<b>Routes en béton</b>						
1	cassure des coins	P	P	% de A		niveau ext
1	groupe des fissures	RP	LTA			
1	fissures longitudinales	RP	L	% de L		larg.+descr
1	fissures transversales	RP	T	nb		larg.+descr
1	réparations locales	RP	A	% de L		niveau ext
1	pompage	P	T	% de L		descriptif
1	plumage	P	A	% de A		niveau ext
1	jointoyage absent ou friable	P	T	% de L		descriptif
1	épaufures aux joints	P	T	% de L		descriptif
2	blow-up	P	A	% de A		
2	fissures diagonales	RP	A	% de L		larg.+descr
2	fissures de retrait	P	A	% de A		largeur
2	écaillage	P	A	% de A		profondeur
2	mise en marches d'escalier	RP	T	% de L		
2	épaufures aux bords	P	L	% de L		profondeur

Niveau : R = réseau P = projet (priorité 1 seulement P signifie priorité 2 au niveau R)  
 Type : P = ponctuel T = transversal L = longitudinal A = surface  
 Etendue : A = surface en m<sup>2</sup> L = longueur en m nb = nombre  
 Gravité : profondeur, largeur, diamètre en mm descr = descriptif ext = étendue

Abbildung 1: Zusammenstellung von Schadenmerkmalen gemäss AIPCR [6].

In der Merkmalsliste von Tabelle 2 können gewisse “Doppelspurigkeiten” ausgemacht werden, welche allerdings, mittels unterschiedlicher Benennung des entsprechenden Indikators, doch zu einer eindeutigen Situation führen. So besteht einerseits die Möglichkeit, mit der visuell sensitiven Methode die beim Befahren empfundene Längsebenheit verbal auszudrücken (allgemeine Unebenheiten sehr schwach, schwach, deutlich, stark und sehr stark ausgeprägt) oder messtechnisch die Längsebenheit mit der berechneten spektralen Dichte des Längsprofils  $\Phi_h(\Omega_0)$  zu bezeichnen und andererseits bezüglich Wasseranreicherungen an der Oberfläche solche bei Regen visuell als Prozent der betrachteten Fläche zu erheben oder messtechnisch als Spurrinnentiefe  $s_H$  auszudrücken (dieser Wert entspricht der theoretischen Wassertiefe  $t$  gemäss SN 640 520). Im Falle der eigentlichen Spurrinnenbildung (max. Spurrinnentiefe  $T$  gemäss VSS-Normen) wird hingegen sowohl bei der messtechnischen als auch bei der visuell-sensitiven Methode zu recht derselbe Indikator Spurrinnentiefe  $s_T$  verwendet, wird doch in beiden Fällen, wenn auch mit unterschiedlichen Geräten, die Spurrinnentiefe in mm **gemessen**.

Die in Deutschland ausgearbeitete Systematik der Bewertung geht auch über die Bewertung von Einzelparameter hinaus und umfasst auch deren unterschiedliche gewichtete Gruppierung in je einen Gebrauchs- und einen Substanzwert und in Kombination der beiden in einen Gesamtwert.

Die systematische Bewertung sieht die Erfassung der folgenden Parameter vor [24]:

- allgemeine Unebenheiten
- Spurrinnen
- Wasserrückhalt
- Griffbarkeit
- Risse/Oberflächenschäden

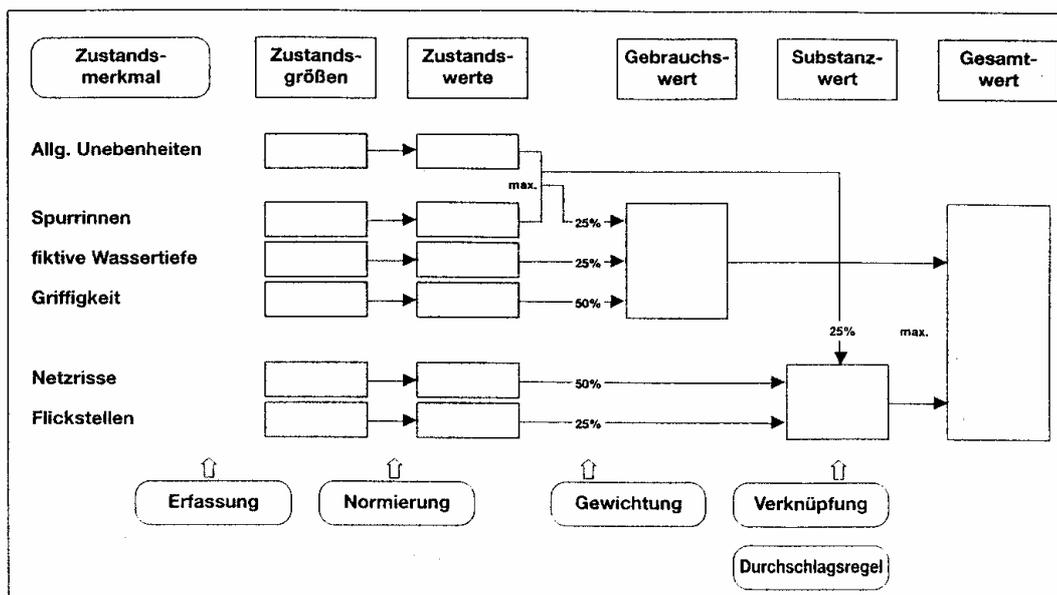


Abbildung 2: Verknüpfung von Einzelmerkmalen zu Teil- und Gesamtwert

Für die Bewertung werden die gemessenen Zustandgrössen zu je 100 m langen Erfassungsabschnitten zusammengefasst. Diese Zustandgrössen werden nach einer entwickelten Bewertungsmethode über Normierungsfunktionen in dimensionslose und damit vergleichbare Zustandswerte umgewandelt. Diese Zustandswerte werden mit den Noten 1-5 dargestellt. Über teilzielbezogene Gewichtungen und Verknüpfungsvorschriften werden dann die Teilwerte "Gebrauchswert" und "Substanzwert" gebildet. Der schlechteste beider Werte wird als "Gesamtwert" angegeben.

Für jede Zustandgrösse, z. B. die Spurrinntiefe oder die Griffigkeit, sind Ziel-, Warn- und Schwellenwerte erarbeitet worden. Sie basieren zum Teil auf technischen Anforderungen, zum Teil auf Häufigkeitsverteilung repräsentativer Datenkollektive.

- Der "Zielwert" (Note 1,5) entspricht in der Regel dem Abnahmewert, wie er in deutschen technischen Vorschriften gefordert wird.
- Der "Warnwert" (Note 3,5) beschreibt einen Zustand, dessen Erreichen bzw. Überschreiten zu einer intensiveren Beobachtung und zur Ursachenanalyse führt. Die Überschreitung führt gegebenenfalls zur Planung geeigneter Massnahmen.
- Der "Schwellenwert" (Note 4,5) beschreibt einen Zustand, bei dessen Erreichen bzw. Überschreiten die Einleitung von baulichen oder verkehrsbeschränkenden Massnahmen geprüft werden muss.

### 2.2.3. Frankreich

Zur Situation in Frankreich gilt es zu unterscheiden zwischen der Praxis auf dem Autobahnnetz und der Praxis auf den routes nationales und départementales.

In Frankreich werden in einer Versuchsmethode des LCPC drei unterschiedliche Verfahren für die Zustandserfassung behandelt, die Methoden M1, M2 und M3, welche je nach Art des Netzes und Umfang/Zweck (Netz- bzw. Projektebene) der Zustandserfassung anzuwenden sind [6]. Von besonderem Interesse aus der Sicht des vorliegenden Forschungsauftrages ist die für periodische Netzaufnahmen auf Autobahnen und Hauptstrassen (routes nationales) vorgesehene Methode M3. Nach dieser Methode werden normalerweise in einem Intervall von 3 Jahren die folgenden Oberflächenschäden erfasst:

**Tabelle 3:** Merkmalsgruppen nach der französischen Methode M3

Gruppenbeschreibung	Untergruppe	Ausmass	Bemerkungen
Verformungen (Setzungen/Hebungen)	signifikant	m	mehr als x mm
	schwer	m	mehr als y mm
Belagschäden	Schwitzen, Überfettung	m	Wirkung auf die Oberfläche
	Ablösungen, Ausmagerung	m	Wirkung auf Struktur der Deckschicht
Querrisse	signifikant	Anzahl	klarer Riss
	schwer	Anzahl	schadhafter Riss

Andere Risse	signifikant schwer	m m	Längs-, NetZRisse Längs-, NetZRisse mit Schlaglöcher
Flicke	lokal bedeutend	m m	Breite < ½ Spur Breite > ½ Spur

In Ergänzung zu den Oberflächenschäden gemäss Tabelle 3 werden die Längsebenheit und die Querebenheit im gleichen Rhythmus erfasst. Die Erfassung der Tragfähigkeit erfolgt mit längeren Intervallen.

Eine weitere Methode für die Erfassung und Bewertung des Fahrbahnzustands, welche vor allem auf den "Routes Nationales" angewendet wird, ist die Bestimmung des sog. IQRN, oder Indice de Qualité des Routes Nationales [22]. Der Zweck dieses Indizes wird wie folgt umschrieben:

Für die zentrale Strassenverwaltung (Direction des Routes):

- Bessere Kenntnis des Zustandes des nationalen Strassennetzes
- Grundlage für eine Erhaltungsbilanz und für die Diskussion über die Verträge zwischen der Strassenverwaltung und den Verwaltungen in den Départements (DDE: Direction Départementale de l'Équipement)

Für die Départements (DDE):

- Möglichkeit der Evaluation der Erhaltungspolitik
- Bessere Kenntnis der Netzabschnitte mit Oberflächen- oder strukturellen Mängeln in genügender Homogenität

Für die Bestimmung des IQRN werden folgende Zustandsmerkmale berücksichtigt:

Strukturelle Merkmale:

- Verformungen
- Längs- und NetZRisse
- Flicke
- Querrisse

Oberflächenmerkmale:

- Verformungen
- Schwitzen
- Polieren
- Materialverluste
- Griffigkeitsniveau

Die Beziehung zwischen den Zustandsmerkmalen und den Kosten sind in verschiedenen Tabellen definiert, deren Grundlage durch folgende generelle schematische Unterteilung verschiedener Mechanismen der Schadensbildung gegeben ist:

- Abschnitte mit ausschliesslich bloss wahrnehmbarer Rissbildung sind mit Problemen thermisch bedingter Rissbildung konfrontiert,
- Abschnitte mit Verformungen und bloss wahrnehmbarer Rissbildung sind mit Problemen plastischer Verformung der bituminös gebundenen Schichten konfrontiert,
- Abschnitte mit schwerer Rissbildung, aber ohne Verformungen, sind mit Problemen einer Ermüdung der Beläge konfrontiert,

- Abschnitte mit starken Verformungen und schwerer Rissbildung sind mit dem Problem einer ungenügenden Tragfähigkeit (und mit auch der Ermüdung) konfrontiert.

Die Ergebnisse der Zustandserfassung und allgemeine Angaben über den jeweiligen Erfassungsabschnitt von 200 m Länge gestatten die Berechnung der Kosten für konventionelle Massnahmen zur Instandsetzung. Aus diesen werden dann direkt die Indexwerte oder IQRN-Noten abgeleitet. Diese Noten sind:

- Eine Bestandesnote (note patrimoine), welche von den (aktuellen) Instandsetzungskosten für den Oberbau und von den Maximalkosten für die Instandsetzung des Oberbaus am Ende der Gebrauchsdauer abhängig ist.
- Eine Oberflächennote (note de surface), welche von den (aktuellen) Instandsetzungskosten für die Deckschicht und von den Maximalkosten für die Instandsetzung der Deckschicht am Ende der Gebrauchsdauer abhängig ist.
- Eine Gesamtnote (note globale), welche einerseits von den (aktuellen) Instandsetzungskosten für die Deckschicht und für den Oberbau und andererseits von den Maximalkosten für die Instandsetzung der Deckschicht und des Oberbaus am Ende der Gebrauchsdauer abhängig ist.

#### 2.2.4. Österreich

Eine eigentliche “normierte” Erfassungsmethode ist in Österreich z.z. nicht vorhanden; verstärkte Aktivitäten in Zusammenhang mit der Vorbereitung der Einführung eines Managements der Strassenerhaltung haben dennoch zur Festlegung einer bestimmten Systematik geführt, wie sie bereits in einigen Bundesländern zur Anwendung gekommen ist. Eine Beschreibung dazu ist in einem Referat von Litzka enthalten [16]. Danach sind, *“in Zusammenhang mit der baulichen Strassenerhaltung, alle Zustandsgrössen von Interesse, die sich auf die Sicherheit der Strassenbenützer bzw. auf den strukturellen Zustand des Strassenoberbaus auswirken”*.

Dabei werden die aufzunehmenden Schäden folgendermassen unterteilt:

- Fahrbahnschäden, mit den Schadenarten: Einzelrisse, Netzrisse, Ausmagerungen, sonstige Oberflächenschäden, lokale Verformungen und Setzungen, Flickstellen, etc. Dabei werden Fahrbahnschäden bezüglich der **Schadenart** und ihrer jeweiligen **Lage** aufgenommen.
- Griffigkeit,
- Querebenheit, Spurrinnentiefe,
- Längsebenheit,
- Tragfähigkeit.

Die vorstehend angegebene Auflistung, welche bis auf kleine Nuancen (Begriff und Detailauflistung der Fahrbahnschäden) mit der Struktur der VSS-Norm praktisch identisch ist, erfolgt unabhängig von der eingesetzten Erfassungsmethode und den dabei verwendeten Geräten. Bezüglich der Spurrinnenmessung wird beispielsweise aufgeführt: *“Diese kann entweder mit Einfachmethoden erfolgen, d.h. Messungen mit Latte und Keil stichprobenweise oder an ausgewählten Stellen, oder mit Hochleistungsgeräten”*.

Die Entscheidung über die Wahl der Methode wird von der Abschätzung des erzielbaren Kosten-Nutzen-Verhältnisses abhängig gemacht, wie auch von der vorgesehenen weiteren Verwendung der erhobenen Daten.

Im Rahmen des zur Zeit laufenden Aufbaus eines Pavement Management Systems für das landesweite Netz der Bundesautobahnen und der Bundesstrassen werden die folgenden Parameter erhoben und im Rahmen der PMS-Konfiguration implementiert [23]:

- Risse (Einzelrisse, offene Nähte, Netzkrisse)
- Oberflächenschäden (Ausmagerungen, Ausbrüche)
- Spurrinnen
- Längsebenheit
- Griffigkeit

Die Zustandswerte der oben genannten Parameter werden ähnlich wie in Deutschland mit einer von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) reichenden Werteskala gekennzeichnet auf welcher Ziel-, Warn- und Schwellenwerte festgelegt werden.

Wiederum in Anlehnung an die deutsche Praxis werden aus den Zustandsmerkmalen Teil- und Gesamtwerte gebildet. Bei bituminösen Strassen ergibt sich der Substanzwert  $SI_A$  aus den Zustandsmerkmalen Risse und Oberflächenschäden, wobei bei der Verknüpfung noch das Alter des Oberbaus und eine strukturelle Kennzahl nach AASHTO berücksichtigt werden. Der Gebrauchswert  $GI_A$  entspricht dem schlechtesten Wert der Zustandsmerkmale Spurrinnen, Längsebenheit und Griffigkeit.

Der Gesamtwert entspricht für bituminöse Strassen einer gewichteten Verknüpfung von Substanz- (40%) und Gebrauchswert (60%) nach der folgenden Formel:

$$GW_A = \max\left(GI_A, \frac{0.4}{0.6} * SI_A\right)$$

### **2.2.5. Belgien**

Zuständig für die Staatsstrassen sind in Belgien die Ministerien der jeweiligen regionalen Verwaltungen: flämische Gemeinschaft, wallonische Gemeinschaft und Region Brüssel. Nachfolgend wird stellvertretend für die übrigen Regionen die Praxis der flämischen Gemeinschaft dargestellt.

Im Rahmen periodischer Zustandserfassungen (jeweils im 1-Jahres-Rhythmus) werden die folgenden Kenngrößen erfasst [10]:

- Längsebenheit
- Spurrinnen
- Griffigkeit

### ***Längsebenheit***

Die Längsebenheit wird im flämischen Teil Belgiens mit dem französischen APL-Gerät erfasst und die gemessenen Werte werden als Längsebenheitskoeffizienten EC<sub>x</sub> ausgedrückt, wobei unterschiedliche Wellenlängenbereiche von 2,5, 10 und 40 m (kurz, mittel und lang als EC2.5, EC10 und EC40) separat betrachtet werden.

### ***Die Ebenheit in Querrichtung (oder Spurrinnenbildung)***

Die Spurrinnenbildung auf Asphaltbelägen mit einem Ultraschallmessbalken erfasst, das ursprünglich von der Queens University of Belfast (IRL) entwickelt und später in Belgien weiter ausgebaut wurde. Das Gerät, welches mit 31 Ultraschallsensoren im Querabstand von 75 mm bestückt ist erfasst das Querprofil einer halben Fahrstreifenbreite (2.1 m). Ein Inklinometer dient zur Erfassung der Querneigung. Seit 1999 wird das bestehende Gerät durch einen neu angeschafften ARAN-Messwagen ersetzt.

### ***Die Griffigkeit (und die Textur)***

Für die Messung der Griffigkeit wird das vom TRRL entwickelte SCRIM-Gerät eingesetzt. Dieses Gerät arbeitet mit einem frei rotierenden, in einem Winkel von 20° zur Fahrriichtung schräggestellten profillosen Testreifen. Der gemessene Seitenkraftbeiwert SFC (sideway-force coefficient) ist das Verhältnis der im rechten Winkel zur Ebene des Messrades erzeugten Kraft zur Vertikalkraft auf das Rad.

### ***Die visuelle Inspektion***

Die visuelle Schadenaufnahme betrifft die Aufnahme der sichtbaren Schäden wie Risse, Verformungen, Materialverluste und Flickstellen. Die Inspektion wurde üblicherweise durch Handeinträge in papierene Formulare vorgenommen, neuerdings wird auch das System Informant angewendet. Letzterer ist ein speziell programmierter PC mit einer Hilfstastatur zur kodierte Eingabe von Rissen, Verformungen, Materialverluste, Flickstellen und verschiedenen weiteren charakteristischen Merkmale der Fahrbahn.

Das Programm registriert den Standort lokal vorkommender Schäden und mittels einer Routine für die Verdichtung der Information wird eine Gesamtevaluation für 100 m Abschnitte vorgenommen. Viele der aufgenommenen Schäden sind im Allgemeinen kleiner als 1 m<sup>2</sup> oder kürzer als 1m.

1. Querrisse und offene Nähte. Querrisse in einem Betonbelag (mit Fugen) oder einzelne, isolierte Querrisse auf bituminösen Belägen. Unbehandelte offene Querfugen in Betonbelägen und bituminösen Belägen.
2. Lokale Längsrisse oder offene Nähte. Längsrisse auf Betonbelägen und bituminösen Belägen. Unbehandelte offene Längsfugen/-Nähte in Betonbelägen und bituminösen Belägen.

3. Vergossene Querrisse.
4. Vergossene Längsrisse.
5. Lokal Verformungen.
6. Lokale Flickstellen.
7. Überfettete Stellen.
8. Lokale Schäden am Aussenrand des Fahrstreifens.
9. Lokale Schäden am Innenrand des Fahrstreifens.

Das Programm registriert auch den Anfangs- und den Endort weiterer, gestreut vorkommender Schäden. Bei der Datenverdichtung wird die betroffene Länge bzw. Fläche für jeden 100 m Abschnitt festgehalten. Diese Schäden sind im Allgemeinen grösser als 1m<sup>2</sup> oder länger als 1 m.

1. Allgemeine Rissbildung.
2. Allgemeine Verformungen.
3. Generelle Materialverluste.
4. Verstreut vorkommende Flickstellen.
5. Allgemeines Vorkommen von Längsrissen und offenen Fugen oder Nähten.

Das Programm dient auch der Aufnahme allgemeiner Informationen wie z.B. einen Belagswechsel, die Standorte von Bezugspunkten (Kilometer, Hektometer), Bahnübergängen. usw. Die Datenverdichtung erfolgt automatisch nach der Eingabe dieser Informationen und ergibt schliesslich die definitive Liste der Parameter der visuellen Aufnahme.

Diese Parameter gestatten es der Strassenverwaltung einen "Beschädigungsgrad" zu berechnen. Letzterer wird zusammen mit der Information betreffend der Tragfähigkeit zur strukturellen Bewertung der Fahrbahn und zur Berechnung einer allfälligen Schichtdicke der Verstärkung verwendet. Der "Beschädigungsgrad" stellt eine Schätzung der Fahrbahnanteile dar, welche eine Instandsetzung erfordern um den ursprünglichen Sollzustand wieder herzustellen. Dabei wird bei der Zusammenfassung aller Schäden mit individuellen Gewichtungsfaktoren gearbeitet.

### ***Tragfähigkeit***

Für die Messung der Tragfähigkeit verwendet die flämische Strassenverwaltung einen Fallgewichtsdeflektometer vom Typ PRI 1509.

#### **2.2.6. Niederlande**

Das Autobahnnetz der Niederlande mit einer Gesamtlänge von circa 3000 km wird systematisch alle 2 Jahre gemessen. Die mit dem ARAN-Gerät durchgeführten Messungen betreffend in erster Linie die Längsebenheit und die Querebenheit. Für die Aufnahme der Oberflächenschäden wird zur Zeit noch eine spezielle Art der visuellen Aufnahme

angewendet, bei welcher aus einer Kombination verschiedener Video-Bilder – aufgenommen mit schräg nach vorne und vertikal nach unten gerichteter Kameras – die vorkommenden Schäden nach Häufigkeit und Schwere im Büro ausgewertet werden. Dieses relativ aufwendige Verfahren wurde hauptsächlich aus zwei Gründen eingeführt:

- aus Sicherheitsgründen ist eine visuelle Aufnahme zu Fuss in den Niederlanden auf Autobahnen verboten,
- durch die Auswertung der Video-Bilder mit geschultem Personal im Büro wird die Streuung der Ergebnisse verschiedener Beobachter kleiner.

Derzeit wird die Einführung der automatisierten Erfassung und Auswertung eines Teils der Oberflächenschäden (in erster Linie Risse) geprüft. Dabei stützt man sich auf die Methode der automatischen Bildauswertung.

Das Verfahren für die visuelle Schadenaufnahme mit einer Bewertung anhand einer Notenskala zwischen 1 = sehr gut bis 5 = sehr schlecht ist in einem Schadenkatalog beschrieben [31].

Auf den Strassennetzen der Provinzen werden grundsätzlich dieselben Parameter wie auf dem Autobahnnetz erfasst, hier allerdings mit einer geringeren Frequenz.

#### **2.2.7. Dänemark**

Auf dem Hauptstrassennetz wird der Strassenzustand systematisch und periodisch mittels Messung der Längsebenheit, der Griffigkeit und der Spurrinnenbildung evaluiert. Die Datenbank – welche auch Grundinformationen über das Strassennetz wie z.B. Fahrbahnbreite, Fahrbahnaufbau, usw. beinhaltet, wird regelmässig mit diesen Zustandsdaten aktualisiert. Gleichzeitig werden Auswertungen über die Dauerhaftigkeit der Deck- und Tragschichten vorgenommen und die Ergebnisse ebenfalls aktualisiert.

Die Längs und die Querebenheit (Spurrinnenbildung) werden mit dem dänischen Profilographen aufgenommen, die Griffigkeit mit dem Stradographe und die Tragfähigkeit mit dem Fallgewichtsgerät gemessen. Die zur Bewertung des Strassenzustandes gebräuchlichen Grössen sind die durchschnittliche Ebenheit als Befahrbarkeitswert PSI, die Griffigkeit in % und für die Tragfähigkeit die Restlebensdauer in Jahren.

#### **2.2.8. USA**

In den USA kennt man an sich keine einheitliche Zustandserfassungsmethode. Die einzelnen Staaten haben in der Vergangenheit jeweils eigene Klassierungen vorgenommen, deren Unterschiede zum Teil durch die geographisch/klimatische Lage und entsprechend häufig vorkommenden Schadenbilder bedingt sind. Allgemein werden bei einer Aufzählung der wichtigsten Parameter die Längsebenheit (roughness), die Querebenheit (rutting) sowie Oberflächenschäden (distress) aufgeführt, eine Unterteilung, welche der ursprünglichen Definition des Befahrbarkeitswertes für bituminöse Beläge entspricht.

In neuerer Zeit sind als erste Grundlage für eine mögliche “einheitliche” Lösung einerseits Zusammenstellungen der Methoden der einzelnen Staaten bearbeitet worden, andererseits wurden im Rahmen der Langzeitbeobachtung von gegen 1000 Strassenabschnitten beim SHRP-Programm detaillierte Richtlinien für die Zustandserfassung dieser Abschnitte ausgearbeitet, bei denen im Unterschied zur sonstigen Praxis auch den Aspekten der Tragfähigkeit (Deflektionsmessung mittels Fallgewichtsdeflektometer) vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt wurden.

Der SHRP-Schadenkatalog [20] kann nicht unbedingt mit der Praxis der einzelnen Staaten bei der netzweiten Zustandserfassung gleichgesetzt werden, ist doch das SHRP-Programm in erster Linie ein riesiges Forschungsprojekt, das seiner Natur gemäss einen grösseren Detaillierungsbedarf der Information verlangt.

In Nordamerika erfolgen zur Zeit die grössten Anstrengungen betreffend der Entwicklung von automatischen Verfahren für die Erfassung und Bewertung von Oberflächenschäden, wobei nebst der verständlichen praktischen Seite des Problems angesichts sehr grosser Strassennetze vor allem folgende Aspekte herausgestrichen werden:

- Sicherheit des eingesetzten Personals,
- ungenügende Zuverlässigkeit visueller Erfassungen aufgrund subjektiver Beurteilungen.

Das letzte Thema wurde vielfach anlässlich von nationalen Seminaren und Vergleichsuntersuchungen [21] behandelt, an welchen unter anderem die folgende Liste von Schadengruppen für bituminöse Beläge vorgeschlagen wurde:

- Netzkrisse,
- Querrisse,
- Längsrisse,
- Belagschäden,
- Setzungen/Hebungen.

### *ASTM*

Im Rahmen der Normierungsarbeiten der ASTM (American Society for Testing of Materials) sind z.Z. auch Richtlinienentwürfe [19] ausgearbeitet worden, die eine Vielzahl von Oberflächeneigenschaften betreffen. Bei der jetzt noch bestehenden Vielfalt an Kenngrössen in den USA stellen diese Entwürfe, zusammen mit den Unterlagen welche für die Langzeitbeobachtung beim SHRP-Projekt ausgearbeitet wurden, eine breit abgestützte Grundlage für eine spätere Vereinheitlichung der Erfassungsmethoden dar.

### **2.2.9. Weltbank**

Die Weltbank hat sich relativ früh, wenn nicht in Teilfragen gar als Pionier, mit der Problematik der Zustandsindizes befasst. Dieses für ein Finanzierungsinstitut (das aber recht bedeutende Infrastrukturprojekte in Entwicklungsländern finanziert hat, bzw. weiter finanziert) eher erstaunliche Interesse liegt in der Tatsache begründet, dass einerseits der

Wunsch nach einem quantifizierbaren Vergleich zwischen der Ausgangslage verschiedener Finanzierungskandidaten bestand und andererseits, aus der Sicht einer Bewertung der langfristigen wirtschaftlichen Vorteile, auch die Einführung von Managementsystemen für die Erhaltung bestehender Netze als weitere Voraussetzung für die Kreditfreigabe verlangt wurde.

Aus der verschiedenen Arbeiten der Weltbank seien in diesem Zusammenhang vor allem Konzept und Entwicklung von HDM III [3] genannt (dieses System, welche verschiedenenorts seit Jahren eingesetzt wurde, wurde mittlerweile mit der Unterstützung auch anderer Finanzierungsquellen weiter entwickelt und sollte ab Herbst 1999 verfügbar sein) sowie die erstmalige Einführung eines "grenzüberschreitenden" Indikators für die Längsebenheit, des International Roughness Index (IRI). Zu diesem Zweck wurden neben umfangreichen Grundlagenstudien [4] auch breit angelegte Feldexperimente [5] durchgeführt.

### 3. DER BEDARF UND DIE VERWENDUNG VON ZUSTANDSINDICES

#### 3.1. Allgemeines

Das Thema der Forschungsarbeit wurde durch die FK7 "Management der Strassenerhaltung" der VSS formuliert, mit dem Ziel entsprechende Kenngrößen für deren Implementierung in EDV-Lösungen – besser bekannt unter dem Begriff PMS oder Pavement Management System - festzulegen. Damit ist bereits eine erste, allgemeine Bedarfsaussage gegeben:

**Zustandsindizes (oder: Kenngrößen des Strassenzustandes) sind eine der wichtigen Eingangsgrossen in einem PMS-Prozess und stellen eine der Grundvoraussetzungen für die Anwendung solcher Systeme dar.**

Die Berücksichtigung der Zustandsindizes in einem PMS-Prozess hängt im besonderen auch noch davon ab, nach welchen Hauptkriterien für die Entscheidung ein PMS-Prozess aufgebaut ist. So kann insbesondere unterschieden werden einerseits nach Verfahren, welche auf eine Dringlichkeitsreihung oder Prioritätenliste basieren und andererseits nach Methoden bei denen die Massnahmenvorschläge aufgrund einer Optimierung vorgenommen werden. Bei letzterer kann überdies noch unter den folgenden Hauptkriterien der Optimierung unterschieden werden:

- Kosten des Strassenbetreibers (Minimierung der Kosten, bzw. Maximierung des Nutzens des Strassenbetreibers),
- Kosten des Strassennutzers,
- gesamte Transportkosten.

Unabhängig von der gewählten Art der Methodik und des Optimierungskriteriums gilt es zunächst sich über den konkreten Verwendungsbedarf von Zustandsindizes im Klaren zu sein [1]. Zu dieser Klarheit gelangt man, wenn man sich beispielsweise folgende Fragen stellt:

- warum erleiden Strassen Schäden?, und
- wie können diese Schäden behoben werden?

Die Beantwortung dieser Fragen führt zunächst zu den Mechanismen der Schadenbildung im Strassenbau und darüber hinaus zum Erkennen der Symptome, welche den Anlass für eine Erhaltungsentscheidung bilden. Das Verständnis der Schadenmechanismen und der "Auslösersymptome" stellt den ersten Schritt in Prozess der Definition der in einem Pavement Management System benötigten Zustandsindikatoren dar. Bei diesem Prozess geht es auch darum, die bewährte Praxis in ein PMS einzubringen.

Im speziellen gibt es vier Gründe, warum ein Pavement Management System Zustandsindikatoren braucht:

- Massnahmen auswählen und zuordnen
- Kosten berechnen
- den Zustand des Strassennetzes evaluieren
- und die Verwendung desselben Bewertungsmaßstabes für den Vergleich einzelner Abschnitte/Strassen/Teilnetze.

Die zur Verwendung kommenden Indizes müssen für mindestens eine der erwähnten Bestimmungen brauchbar sein, sonst sind sie unnötig und der entsprechende Erhebungsaufwand vollkommen nutzlos.

Unter Berücksichtigung der allgemeinen Ziele eines Pavement Management Systems kann die Verwendung von Indizes allgemein mit den folgenden Entscheidungselementen in Verbindung gebracht werden:

- Darstellung eines Gesamtzustandes eines Abschnittes oder eines Strassennetzes,
- Bezeichnung von Qualitätsstufen,
- Wahl der richtigen Massnahme (Massnahmenwahl),
- Angabe eines Schwellenwertes, bei welchem bestimmte Massnahmen ausgelöst werden müssen,
- Verwendung als Verhaltensmodell,
- Darstellung der Verbesserung nach Durchführung der Massnahme und damit Möglichkeit der Definition eines Nutzens aus der durchgeführten Massnahme.
- und die Verwendung desselben Bewertungsmaßstabes für den Vergleich einzelner Abschnitte/Strassen/Teilnetze.

## **3.2. Massnahmenwahl**

### **3.2.1. Allgemeines**

Die technisch und wirtschaftlich richtige Wahl einer Erhaltungsmassnahme hängt von verschiedenen Faktoren ab, in erster Linie aber vom Ergebnis einer Schadenanalyse und von der dabei ermittelten Schadenursache. Letztere ist insbesondere mit einem bestimmten Schadenbild verbunden, wie dies auch durch Normen und andere Studien belegt ist. So werden beispielsweise sowohl in Normen [8] als auch in Forschungsarbeiten [9] die Anwendungsbereiche (-Bedingungen) verschiedener Massnahmen mit einer Beschreibung des Schadenbildes gekoppelt.

Es ist also deshalb nur logisch, dass im Rahmen der Massnahmenwahl die Berücksichtigung der Zustandswerte eine bestimmende Rolle spielt. Dabei müssen die Zustandswerte so gewählt werden, dass auch eine möglichst eindeutige Zuordnung der Schadenursache (Schadenanalyse  $\Rightarrow$  Diagnose) und damit auch der richtigen Massnahme ermöglicht werden kann.

Bei der Implementierung einer PMS-Anwendung gilt es die bestehenden und anerkannten Beschreibungen des Anwendungsbereichs einer Massnahme in "maschinenlesbarer Form"

umzuschreiben, so dass die Logik des Computerprogrammes damit umgehen kann. Dafür werden vielfach sogenannte Entscheidungsbäume ausgearbeitet, wie sie z.T. auch in den VSS-Normen zu finden sind (siehe Beispiel in Abbildung 4). Eine Alternative zu solchen Entscheidungsbäumen ist die Bestimmung des genauen Anwendungsbereiches und dessen Eingabe in Form eines "Filters der Anwendungsbedingungen". Abbildung 3 enthält ein Beispiel eines solchen Filters, welches im Rahmen des Projektes PMS VS-NE auf der Grundlage einer Forschungsarbeit von Blumer und Stahel [9] ausgearbeitet wurde.

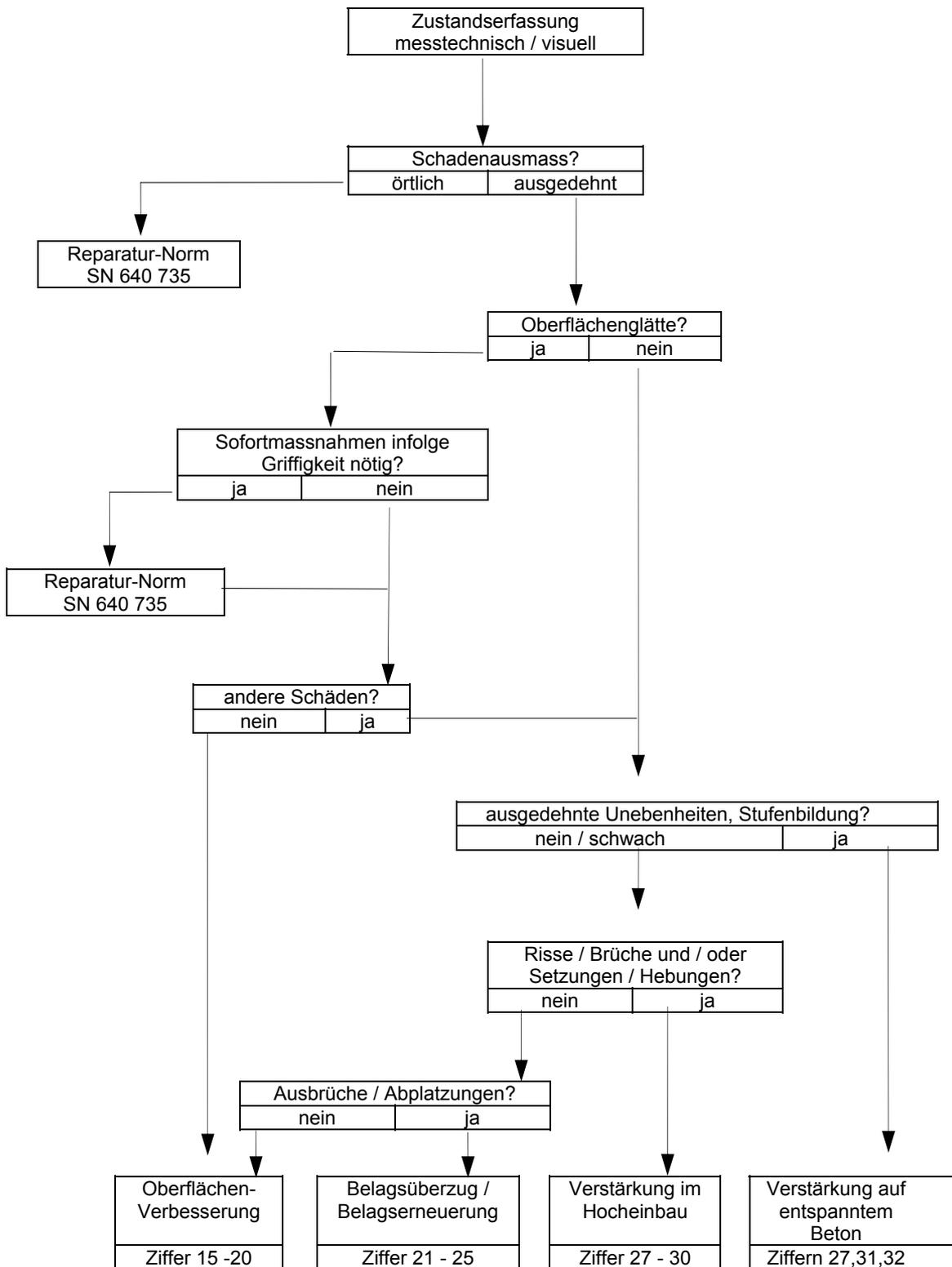
*Beispiele der Implementierung: PMS NE-RC, PMSNE-VS-FR.*

Instandsetzung der Oberfläche / I Oberflächenbehandlungen - IESN / IESD & Kaltmikrobelag - IRMF & Dünnschichtbeläge - ICMN / ICMS	
<b>Anwendungsbereich</b>	: - <i>Instandsetzung leicht beschädigter Deckschichten</i> ⇒ <b>3,5 &lt; I1 &lt; 4,5</b> , : - <i>dringende Wiederherstellung genügender Griffigkeit</i> ⇒ <b>I4 &lt; 2</b> .
<b>Grundbedingungen</b>	: - Schäden auf die Deckschicht beschränkt ⇒ ... : - verformungsfester Oberbau ⇒ ... : - <i>genügende Tragfähigkeit</i> ⇒ <b>I5 &gt; 3,5</b> : - bei grösseren Schäden (Ebenheit,...) vorgängige Reparaturmassnahmen notwendig ⇒ ...
<b>Ausnahmebestimmung</b>	: - <i>nicht anwendbar bei grosser Spurrinnenbildung</i> ⇒ <b>I3 &gt; 3</b> , sowie in Zonen mit starken Horizontalkräften ⇒ ...
<b>IESN, IESD</b>	: - <i>bei schwerem Verkehr mit Spezialbindemittel</i> , ⇒ also <b>IESN nur bis DTV &lt; 10'000</b> .
<b>Kaltmikrobelag MF Dünnschichtbeläge</b>	: - <i>bei schwerem Verkehr nicht anwendbar</i> ⇒ <b>DTV &lt; 10'000</b> : - <i>bei schwerem Verkehr mit Spezialbindemittel</i> , ⇒ also <b>ICMN nur bis DTV &lt; 10'000</b> .

#### Festlegung des Anwendungsbereiches

Filter-Name	Reihenfolge	Bedingungen
D_IESNA	1	I5 > 3,5 und I3 > 3 und 3,5 < I1 < 4,5 und DTV < 10'000
D_IESNB	2	I5 > 3,5 und I3 > 3 und DTV < 10'000 und I4 < 2
D_IESDA	1	I5 > 3,5 und I3 > 3 und 3,5 < I1 < 4,5
D_IESDB	2	I5 > 3,5 und I3 > 3 und I4 < 2
D_IRMFA	1	I5 > 3,5 und I3 > 3 und 3,5 < I1 < 4,5 und DTV < 10'000
D_IRMFB	2	I5 > 3,5 und I3 > 3 und DTV < 10'000 und I4 < 2
D_ICMNA	1	I5 > 3,5 und I3 > 3 und 3,5 < I1 < 4,5 und DTV < 10'000
D_ICMNB	2	I5 > 3,5 und I3 > 3 und DTV < 10'000 und I4 < 2
D_ICMSA	1	I5 > 3,5 und I3 > 3 und 3,5 < I1 < 4,5
D_ICMSB	2	I5 > 3,5 und I3 > 3 und I4 < 2

**Abbildung 3:** Beispiel der Herleitung einer Systematik der Zuordnung von Massnahmen mit beschreibendem Teil (oben) und Ausformulierung von Filtern (unten)



**Abbildung 4:** Beispiel eines Entscheidungsbaums für die Massnahmenwahl gemäss SN 640 736

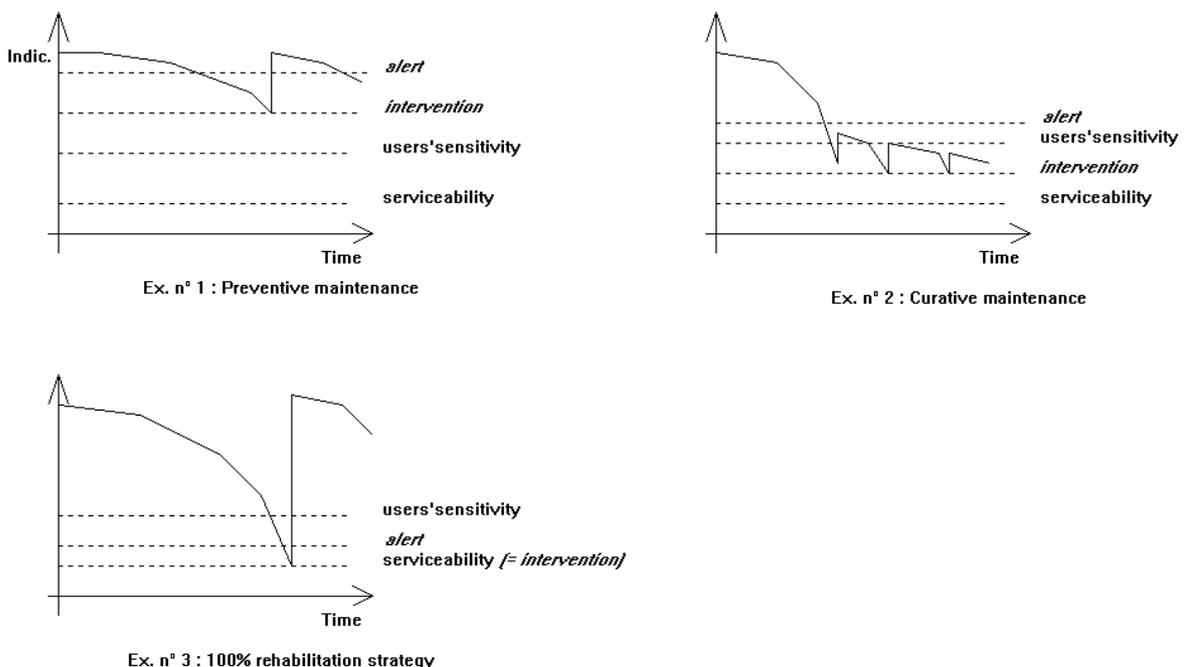
### 3.2.2. Schwellenwerte zur Auslösung von Massnahmen

Im gleichen Zug wie die Verwendung von Zustandswerten für die Zuordnung von Massnahmen ist gleich auch die Verwendung in Zusammenhang mit der Definition von Eingreifgrenzen zu nennen. Schon heute werden Zustandskenngrössen unter anderem zur Definition von Qualitätsanforderungen für den Neubau einerseits [13] und von "Grenzwerten" andererseits verwendet, auch wenn letztere zuweilen unter anderen Begriffsbestimmungen "versteckt" werden [14].

So ist es durchaus logisch, dass neben dem Setzen von bestimmten Grenzwerten als Auslöser von Sofortmassnahmen auch vorgelagerte "kritische Zonen" definiert werden können, innerhalb derer die Vorbereitung einer Massnahme getroffen werden kann.

Wenn die vorgenannten Schwellenwerte nicht nur von einem Zustandswert abhängig sind, sondern auch durch weitere Parameter in ihrer Gültigkeit eingeschränkt sein können – z.B. die Koppelung mit einer Strassenklasse oder stellvertretend dafür mit einer bestimmten Verkehrsbelastung – so bleibt doch das Zustandsmerkmal die ausschlaggebende Grösse. Es macht ja wenig Sinn –und auch hier bestätigen sowohl einzelne Ausnahmen als auch das Konzept einer vorbeugenden Erhaltung (entretien préventif) die Regel – an einer an sich noch guten Strasse Massnahmen zu ergreifen, die dann auch noch einer weiteren Öffentlichkeit von Politikern, Medienleuten, usw. plausibel erklärt werden müssen.

Exemple de différents types de stratégies d'entretien / Example of different types of maintenance strategies



**Abbildung 5:** Beispiele möglicher Erhaltungsstrategien und entsprechender Schwellenwerte [25].

### **3.3. Kostenberechnung**

Die Bedeutung und der Einfluss der Zustandsindizes auf Kostenberechnungen leitet sich ab aus der Verwendung dieser Indizes zur Definition des Anwendungsbereiches von Massnahmen. Es ist dabei offensichtlich, dass Bereiche, bzw. Schwellenwerte für "leichte" Massnahmen wie beispielsweise Oberflächenbehandlungen oder Dünnschichtbeläge sich deutlich von den Bereichen und Schwellenwerten unterscheiden, die für "schwere" Massnahmen wie eine Oberbauverstärkung oder eine Erneuerung unterscheiden. Beide Arten von Massnahmen haben auch unterschiedliche Einheitskosten. Damit ergibt sich eine deutliche, wenn auch indirekte Beziehung zwischen den Werten von Zustandsindizes einerseits und den Erhaltungskosten andererseits.

Es gibt indes auch Fälle, bei denen der durch einen Index repräsentierte Wert einen direkten Bezug zu den Kosten hat. Dies ist dann der Fall, wenn der Indexwert eine Mengeninformation impliziert: wenn beispielsweise ein Risse-Index die Gesamtlänge der Risse repräsentiert, dann kann ein direkter Bezug zu den Kosten für ein Verfüllen von Rissen hergestellt werden.

Die Kenntnis über die Längenanteile eines Strassennetzes entsprechend bestimmten vordefinierten Bereichen von Indexwerten (es kann sich dabei auch um kombinierte Indizes handeln) kann für eine erste Schätzung des allgemeinen Erhaltungsbedarfs herangezogen werden. Die durchschnittlichen Kosten für Erneuerungsprojekte – welche normalerweise für Strassenabschnitte der Kategorie "schlecht" oder "sehr schlecht" in Frage kommen – können aufgrund empirischer Kenntnisse oder durch eine Auswertung der Kosten kürzlich ausgeführter Projekte geschätzt werden. Ähnliche Schätzungen können vorgenommen werden durch eine Kombination der Alters- und der Zustandsverteilung von Netzen oder aber durch eine "Umrechnung" von Zustandswerten in eine "Restlebensdauer", welches wiederum eine gute Grundlage für Kostenschätzungen darstellt. Die sich aus solchen provisorischen Kostenschätzungen ergebenden Zahlen stellen eine gute Grundlage dar für die Definition von (erforderlichen) Budgetbeträgen, die als Eingabewert in ein PMS verwendet werden können.

### **3.4. Evaluation des Zustandes von Abschnitten und Strassennetzen mit Hilfe eines einheitlichen Bewertungsmassstabes und Streckenvergleich**

Ein Hauptzweck für die Verwendung von Zustandsindizes ist eine möglichst objektive Quantifizierung eines bestehenden Strassenzustandes. Die Verwendung von Zustandsindizes setzt allerdings die Lösung gewisser Probleme voraus und dies fängt mit der Wahl der Skala für die Zahlenwerte an. Der Vergleich einer "Ebenheitseinheit" mit einer "Risseinheit" oder einer "Tragfähigkeitseinheit" ist alles andere als ein leichtes Unterfangen. Wenn die Einheiten nicht dieselben sind ist deren Vergleich unmöglich. Deshalb wird vielfach der Umweg über dimensionslose Zustandsindizes gewählt, welche direkt miteinander verglichen werden können.

In einem Zustandsindex werden also im Allgemeinen den Werten eines gemessenen Parameters, z.B. der Spurrinntiefe, die Werte einer dimensionslosen Skala zugeordnet. Bei einer solchen Skala entspricht der eine Extremwert einem ausgezeichneten Zustand und der andere Extremwert dem schlechtest möglichen Zustand. Einige Indizes weichen allerdings von diesem generellen Schema ab. Dies trifft auf gewisse „offene“ Skalen zu, bei welchen ein Wert von 0 dem bestmöglichen Zustand entspricht während es keine eigentliche obere Grenze für den schlechtesten Zustand gibt.

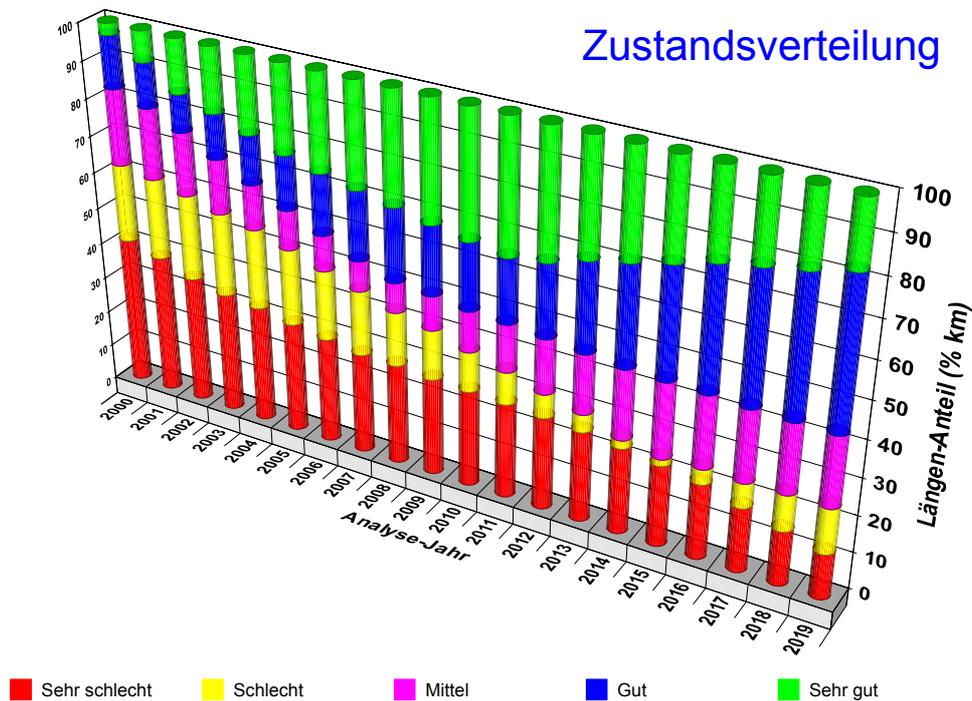
Um einen quantitativen Vergleich des Einflusses verschiedener Indizes auf den Zustand einer Fahrbahn zu ermöglichen sollte dieselbe Skala (derselbe Wertebereich) für sämtliche zur Anwendung kommende Indizes herangezogen werden. Die Verwendung unterschiedlicher Skalen ist an sich nicht unmöglich, allerdings werden dadurch direkte Vergleiche stark erschwert, die Mittelung und die Kombination von Indexwerten erfordern erhöhte Aufmerksamkeit und das Risiko einer totalen Unübersichtlichkeit ist wesentlich erhöht.

Die Verwendung einer „normierten“ Skala für die Quantifizierung des Zustandes bezüglich verschiedener Oberflächenmerkmale und –eigenschaften ist die einzige praktische Möglichkeit um einerseits einen Abschnitt mit einem bestimmten Schadenbild mit einem anderen Abschnitt mit einem ähnlichen Schadenbild objektiv zu vergleichen und andererseits auch um Abschnitte mit einem unterschiedlichen Schadenbild mit den ersteren zu vergleichen. Das heisst also, dass es beispielsweise möglich ist Abschnitte mit einer unterschiedlichen Spurrinntiefe untereinander zu vergleichen (welcher Abschnitt hat den besseren Zustand?) ebenso wie es möglich ist Abschnitte mit unterschiedlichen Schäden zu vergleichen. Mittels Verwendung derselben Werteskala – die z.T. auch mit Qualitätsniveaus verbunden sein kann – kann ein Abschnitt mit einer "mittleren" Spurrinntiefe mit einem Abschnitt verglichen werden, bei welchem strukturelle Risse einem als "schlecht" bezeichneten Zustand entsprechen.

Zusammengesetzte oder kombinierte bzw. Globalindizes sind eher als Grundlage für den Vergleich von Abschnitten mit unterschiedlichen Schadentypen geeignet und drücken gewissermassen den "allgemeinen Gesundheitszustand" einer Fahrbahn aus. Kombinierte oder Globalindizes sind deshalb besonders geeignet für die Bewertung von Netzen. Sie werden deshalb vielfach auch als Bezugsgrösse beim Optimierungsprozess im Rahmen von Pavement Management-Anwendungen gewählt, um damit den "Nutzen" der Applikation bestimmter Massnahmen darzustellen und gleichzeitig zu quantifizieren.

Der alleinige Vergleich und die damit verbundene Verwendung von Zustandsindizes sind allerdings kein Selbstzweck. Vergleiche und Bewertungen werden für eine ganze Reihe von Zwecken durchgeführt:

- Auswahl von Abschnitten für Erhaltungsprojekte,
- Dringlichkeits- oder Prioritätsreihung verschiedener Abschnitte,
- Bewertung der Zustandsverteilung von Abschnitten (wie viele Abschnitte, bzw. welche Längenanteile des Netzes können als gut, mittel und schlecht betrachtet werden?),



**Abbildung 6:** Beispiel einer Zustandsverteilung

- Bestimmung des mittleren Netzzustandes für die verschiedenen Verwaltungskreise, einer Strassenverwaltung. Diese Art von Information kann als Gewichtungselement bei der Verteilung der Budgetmittel verwendet werden,
- Vergleich des mittleren Netzzustandes und dessen Entwicklung über die Zeit. Diese Art von Vergleich kann dazu verwendet werden, um die Angemessenheit der verfügbaren Mittel in der entsprechenden Periode zu evaluieren: waren die Mittel genügend oder ungenügend?
- Vergleichen des eigenen Netzes mit dem Strassenetz einer anderen Verwaltung,
- Nachweis der Verbesserungen infolge Applikation einer Massnahme und des daraus hervorgehenden Nutzens.

Schliesslich ist bei der ganzen Diskussion über die Verwendung von Indizes zur Evaluation des Strassenzustandes zu erwähnen, dass dies meist im Rahmen des Managements der Strassenerhaltung stattfindet, und dass dabei für den Bereich der Fahrbahnen das PMS das spezifische Instrumentarium darstellt. Ein Pavement Management System ist ein Hilfsmittel für die Entscheidungsfindung. Dabei werden Ziele definiert und vorgegeben. Es muss dann kontrolliert werden, ob diese Ziele auch erreicht werden. Deshalb also werden Daten erhoben und Indexwerte berechnet.

### **3.5. Verwendung als Verhaltensmodell**

Die Schwierigkeiten bei der empirischen Ermittlung von Verhaltensmodellen sind hinlänglich bekannt und können vielfach mit zwei Hauptbegriffen umschrieben werden: einerseits Mangel an einer genügenden Datenbasis und andererseits extreme Streuung der verfügbaren Daten. Während im ersten Fall – mangelnde Daten – die entsprechende Lösung ausschliesslich in einer Problembhebung gesucht werden kann, d.h. es müssen entsprechend mehr Daten erhoben werden, können im zweiten Fall durch gezielte Analyseschritte die Streuungen auf ein "vernünftiges" Mass reduziert werden. Diese Analyseschritte bedingen die Unterteilung der verfügbaren Datenmenge in Teilmengen, bei welchen weitere Einflussfaktoren konstant bleiben.

Die vorstehend skizzierte Unterteilung in Teilmengen muss logischerweise auch dann angewendet werden, wenn der untersuchte Parameter bereits die Kombination mehrerer Teilgrössen umfasst, wie dies beim Index der Oberflächenschäden I1 der Fall ist. Der Momentanwert dieses Indizes für eine bestimmte Teilstrecke kann aus den verschiedensten Ursachen, bzw. den Teilbeiträgen verschiedener Hauptgruppen von Schäden (Oberflächenglätte, Belagschäden, Belagsverformungen, strukturelle Schäden, Flickstellen) bedingt sein und unter diesen Umständen ist eine grosse Streuung der Ergebnisse durchaus normal. Ein deutlich besseres und überhaupt brauchbares Ergebnis kann erst dann erwartet werden, wenn die verschiedenen Einflüsse separat untersucht werden können, so z.B. die Entwicklung der Oberflächenglätte, der Belagschäden, der Belagsverformungen und der strukturellen Schäden. Die direkte Ableitung von Verhaltensfunktionen für den Index I1 dürfte hingegen kaum zu einem Erfolg führen wenn nicht prinzipiell gar unmöglich sein: eine zusammengesetzte Grösse ist für eine solche Aufgabe denkbar schlecht geeignet wie auch bereits bei früherer Gelegenheit hervorgehoben wurde (siehe 2.1.4 und [11]).

## 4. ANFORDERUNGEN AN INDIZES

### 4.1. Bedarfskonformität

Im vorausgehenden Kapitel ist ausführlich dargelegt worden, weshalb für die Bewertung von Fahrbahnen mit Vorteil Zustandsindizes verwendet werden sollten und zu welchen verschiedenen Zwecken dieselben eingesetzt werden können. Eine Diskussion über die Auswahl bestimmter Kenngrössen und deren Übertragung in einen Zustandsindex muss also in erster Linie die praktische Verwendbarkeit eines bestimmten Zustandsindizes überprüfen. Dabei geht es keinesfalls darum, die gesamte Palette möglicher, detaillierter Schadenbilder, wie sie im Rahmen von Projektuntersuchungen und auch der Forschung gebräuchlich sind, grundsätzlich in Frage zu stellen. Vielmehr geht es darum, für einen gezielten Einsatz im Rahmen des Managements der Strassenerhaltung diejenige Auswahl an Kenngrössen und Indizes festzulegen, welche dem Hauptziel am ehesten gerecht wird.

Im Sinne der vorstehend aufgelisteten Einsatzbereiche von Zustandsindizes sollte auch bei jedem einzelnen Vorschlag geprüft werden:

- Kann der vorgesehene Zustandsindex dazu dienen, allein oder allenfalls in Kombination mit anderen Indikatoren, die Ursache einer Schadensituation zu ermitteln um auf dieser Grundlage dann die richtige Massnahme auswählen zu können?
- Ist der vorgesehene Zustandsindex dafür geeignet, den Anwendungsbereich einer Massnahme einzugrenzen und allenfalls Grenzwerte festzulegen?
- Wie geeignet ist ein bestimmter Zustandsindex dafür, als Grundlage für die Berechnung von Kosten verwendet zu werden?
- Stellt der vorgeschlagene Index eine typische Schadensituation für das ganze Strassennetz dar, kann man diesen Index also auch für repräsentative, netzweite Vergleiche verwenden?
- Wird ein bestimmter Zustandsindex auch als Bestandteil eines möglichen kombinierten Indizes oder Gesamtindizes eingesetzt?
- Wie steht es um die zeitliche Entwicklung der betrachteten Kenngrösse; ist der Wert oder Index dafür geeignet, brauchbare Verhaltensfunktionen herzuleiten oder in Zusammenhang mit der Anwendung von Verhaltensfunktionen eingesetzt zu werden?
- Gibt es für alle oben angegebenen Einsatzbereiche allenfalls alternative Lösungsansätze oder Ersatzlösungen?

Die Bewertung der Antworten zu den oben aufgeführten Fragen für jeden einzelnen Index dient der Ermittlung der tatsächlichen Bedarfskonformität eines Indexvorschlages.

### 4.2. Wirtschaftliche Aspekte

Die Erhebung von Zustandsdaten kostet Geld (auch bei Durchführung der Zustandsaufnahmen durch verwaltungseigenes Personal) und die gesamte Organisation der Datenaufnahme, der Datenkontrolle, der Übertragung der erhobenen Daten in eine

Strassendatenbank, die Auswertung der Daten und deren spätere Nachführung nehmen nicht unbedeutende Anteile der personellen Ressourcen in Anspruch.

Die nachfolgenden Ausführungen betreffen die wirtschaftlichen Aspekte in Zusammenhang mit der Frage der Auswahl von Zustandsindizes. Es sei an dieser Stelle aber darauf hingewiesen, dass sich die Problematik der Wirtschaftlichkeit auch noch in Zusammenhang mit der Art der Zustandserfassung (in folgenden Kapitel 5 behandelt) stellt.

Aus den Ausführungen bezüglich der Bedarfskonformität lässt sich ableiten, dass ein einzelner Zustandsindex verschiedenen Zwecken dienen kann. Aus der Optik der Wirtschaftlichkeit ist es als erstrebenswert zu betrachten, dass ein Zustandsindex nach Möglichkeit "universell" verwendet werden kann, das heisst, dass die Verwendung eines einzelnen Indizes nicht auf einen einzigen spezifischen Zweck beschränkt bleibt, sondern möglichst für viele verschiedene Zwecke in Frage kommt. Es dürfte daher von Vorteil sein, vor allem dort wo sich offensichtliche Variantenlösungen anbieten, jede einzelne dieser Varianten bezüglich der Anzahl Einsatzmöglichkeiten zu überprüfen und dieses Ergebnis bei der definitiven Auswahl der Indizes gezielt zu berücksichtigen.

Wenn auch die (nicht abschliessende) Liste der aufgeführten Fragestellungen zum Einsatzbereich von Zustandsindizes vielleicht Anwendungen betrifft, die aufgrund bestimmter Randbedingungen (z.B. aufgrund eines ungenügenden Datenbestandes) im jetzigen Zeitpunkt bei einer Strassenverwaltung (noch) nicht der Praxis entsprechen, sollte nicht ausser acht gelassen werden, dass mit der fortschreitenden Einführung eines Erhaltungsmanagements, auch heute eher unberücksichtigte Anwendungen zu erhöhter Aktualität kommen können. Auf jeden Fall ist es zu unterlassen Zustandsindizes festlegen zu wollen und dementsprechend Daten aufzunehmen, wenn über deren weitere Verwendung keine klaren Vorstellungen bestehen.

Wirtschaftliche Aspekte sind schliesslich relativ direkt in Zusammenhang mit einigen spezifischen Einsatzbereichen der Zustandsindizes betroffen, so z.B. mit der Möglichkeit aufgrund von Zustandsindizes auf Erhaltungskosten zu schliessen, oder aber auch bei der Massnahmenwahl. Die "technische Zuverlässigkeit" mit welcher mittels eines Zustandsindizes der Anwendungsbereich einer Massnahme festgelegt werden kann, hat auch einen Einfluss auf die Höhe des Risikos der Wahl, bzw. des Vorschlages einer unwirtschaftlichen Massnahme in bestimmten Situationen.

### **4.3. Anforderungen an die Datenqualität**

Bezüglich der Datenqualität gibt es über allgemeine Aspekte wie:

- Ausbildungsgrad des eingesetzten Personals,
- Referenzen und Erfahrungen des Personals,
- Art und Zustand der eingesetzten Messgeräte,

weitere Kriterien zu berücksichtigen, welche einerseits die eigentliche Aufnahme der Rohdaten betreffen, andererseits aber auch deren Verarbeitung und die grundsätzlichen Kontrollmöglichkeiten.

#### **4.3.1. Aufnahme der Rohdaten und Qualitätsklassen von Indizes und Erfassungsmethoden**

Die Qualität der erfassten Daten, wobei unter dem Begriff Qualität sowohl die messtechnische Präzision wie auch die Repräsentativität der Ergebnisse zu verstehen sind, ist in starkem Masse von der Messpunktedichte abhängig. Wenn einerseits relativ klar nachvollziehbar ist, dass beispielsweise die Messung eines Tragfähigkeitswertes pro km Streckenlänge ein viel zufälligeres Ergebnis für den betreffenden Streckenkilometer darstellt, als die Gesamtheit aller Ergebnisse, die beispielsweise in einem 50 m Punkteraster aufgenommen worden sind, so werden Einzelergebnisse die mit verschiedenen Messgeräten erhoben worden sind, nicht ohne weiteres auch differenziert betrachtet.

Beim Vergleich verschiedener Messverfahren muss also das Ergebnis bezüglich der Dichte der Messpunkte beurteilt werden. So wird beispielsweise für die Bestimmung des  $s_w$ -Wertes verlangt, dass für eine Teilstrecke von 250 m Länge mindestens 1000 Winkelwerte vorliegen müssen, was einem Punkteabstand von 0.25 m entspricht. Bei anderen Messgrössen liegen die Abstände in einer etwas anderen Grössenordnung, beispielsweise zwischen 2 und 20 m für Spurrinntiefen, wenn die Ergebnisse für Teilstrecken von 100 m aufbereitet werden müssen.

Weiter muss auch geprüft werden, ob die einem Abschnitt zugeordneten Daten das Ergebnis einer kontinuierlichen Erfassung darstellen oder ob hingegen nur ausdehnungsmässig limitierte Stichproben auf eine grössere Länge umgesetzt werden. So wird beispielsweise in einigen Ländern bei der arbeitsintensiven visuellen Aufnahme nur eine Teilmenge tatsächlich erhoben, das Ergebnis aber einer grösseren Streckenlänge zugeordnet, z.B. wird die visuelle Aufnahme auf die ersten 100 m eines Streckenkilometers beschränkt und als repräsentativ für den ganzen km betrachtet.

In verschiedenen ausländischen normierten Methoden, so unter anderem auch gemäss den Vorschlägen der europäischen Normung, werden die Aufnahmeverfahren und die damit errechneten Werte, z.B. Zustandsindizes, nach Genauigkeitsklassen eingeteilt.

#### **4.3.2. Datenunabhängigkeit**

Ein wichtiger Aspekt der Zustandserfassung ist derjenige der Datenunabhängigkeit. Darunter versteht man die Notwendigkeit, die Erhebung von Daten vollkommen unabhängig durchzuführen, denn nur so kann sichergestellt werden, dass deren weitere Verwendung für die unterschiedlichsten Zwecke auch tatsächlich erfolgen kann. Diese Thematik wurde bereits im Schlussbericht zu Forschungsauftrag 09/95: "Erfahrungsbilanz

in der Anwendung der Norm SN 640 925 – Ausarbeitung der Grundlagen für eine Anpassung der Gewichtungen und der Bewertungsskala" [11] bearbeitet und mit einem Beispiel erläutert. Aus diesem Bericht sei der folgende Absatz zitiert:

*Durch die Einbettung der Norm SN 640 925a in die Normengruppe Management der Strassenerhaltung ist gewissermassen automatisch auch die Koppelung mit der Anwendung von Strassendatenbanken gegeben, welche das Informationssystem des MSE darstellen. Die Norm Zustandserfassung und Bewertung von Strassen muss deshalb insbesondere auch den bei der Anwendung von Datenbanken geltenden Grundsatz der **Datenunabhängigkeit** beachten. Unter diesem Begriff versteht man die Erhebung und Erfassung von Daten unabhängig von einem bestimmten Verwendungszweck. Damit wird sichergestellt, dass die erhobenen Daten vielfältigen und nicht nur einem einzigen Verwendungszweck dienen können.*

#### **4.3.3. Kontrolle der Daten (Datenqualität)**

Es ist für jede Strassenverwaltung wichtig, dass die selbst erhobenen oder die zugelieferten Zustandsdaten einer eingehenden Kontrolle unterzogen werden, bevor diese in eine Datenbank eingegeben und für die weitere Bearbeitung freigegeben werden.

Noch bevor Zustandsdaten kontrolliert werden gilt es aber sicherzustellen, dass die Angaben zum Streckenbezug, insbesondere die Abfolge und Bezeichnung vorhandener Bezugspunkte, die entsprechenden Sektorlängen und die Gesamtlänge der Strasse stimmen. Diese Angaben dienen unter anderem dazu, die Ortsangaben aus der Datenerfassung Dritter kontrollieren und richtig zuordnen zu können.

Für die Datenkontrolle stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, welche einerseits die Feldarbeit selbst betreffen, z.B. mittels Wiederholungsmessungen auf sog. Kontrollabschnitten, oder aber nur auf die Daten angewendet werden, so. z.B. Plausibilitätskontrollen mit Wertbereichsgrenzen, statistische Auswertungen in Form von Histogrammen, usw..

## 5.       METHODEN FÜR DIE ERFASSUNG UND FÜR DIE BEWERTUNG DES STRASSENZUSTANDES

Die nachfolgenden Ausführungen zur Thematik der Methoden für die Zustandserfassung und die Bewertung von Fahrbahnen, welche u.a. eine recht grosse Auswahl an Möglichkeiten aufzeigen, wird ergänzt um einen Abschnitt zum Thema "zeitliche Stabilität der Methoden". Dieser Hinweis schient uns insofern wichtig, als die in den letzten Jahren z.T. praktizierten Änderungen von normierten Methoden – in einer Anfangsphase der Entwicklung an sich verständlich – bei den betroffenen Strassenverwaltungen nicht nur Freude bereitet haben. Erste Anstrengungen im Bereiche der Datenbeschaffung wurden dadurch recht bald um die Möglichkeit der weiteren Verwendung dieser Daten als Ausgangsbasis für eine spätere Entwicklungsbeobachtung "beraubt". Normenvorschriften sind an sich auch nicht für die Ewigkeit festgelegt und auch der technische Fortschritt sowie die Anwendung neuer Erkenntnisse sollten durch bestehenden Normen nicht behindert werden. Dennoch gilt es aus ökonomischen Gründen gründlich zu überlegen, ob gewisse Änderungen tatsächlich relevant und sinnvoll sind, bevor entsprechende Entscheidungen getroffen werden.

### 5.1.       Erfassung von Zustandsdaten

Unabhängig von der definitiven Auswahl von Zustandsindizes gilt es die Methoden auszuwählen, nach welchen die erforderlichen Daten erhoben werden sollen.

Sehr viele Strassenverwaltungen erheben Zustandsdaten aus der Optik der im Kapitel 3 dargestellten, verschiedenen Verwendungszwecken der Zustandsbewertung. Viele der angewendeten Methoden sind normiert, insbesondere die Verfahren für die Aufnahme der Längsebenheit und der Griffigkeit von Fahrbahnen. Im Bereich der Erfassung der Tragfähigkeit kann man deutlich unterschiedliche Praktiken erkennen, wobei diese Unterschiede die eingesetzten Messgeräte, die Intensität der Messprogramme und der Netzabdeckung und schliesslich die Form der Berichterstattung (welche Indikatoren?) betreffen. Die grössten Unterschiede bei der praktischen Anwendung kommen aber bei der Aufnahme und der Verwendung von Daten aus der Aufnahme von Oberflächenschäden vor. Die Verfahren für die Feldaufnahme sowie die Typenauswahl und Angaben über Ausmass und Schwere der erhobenen Schäden weisen grosse Unterschiede auf.

#### 5.1.1.     Mögliche Erfassungsmethoden

Vielfalt der Formen kennzeichnet nicht nur die Inhalte, das „was“, mit denen eine Strassenverwaltung den Zustand von Fahrbahnen beschreibt, sondern auch die Art und Weise, das „wie“ dieser Zustand erhoben wird. Allgemein kann festgestellt werden, dass Rohdaten messtechnisch gemessen oder visuell erhoben werden und dementsprechend werden diese Daten auch automatisch oder manuell registriert.

Messtechnische Aufnahmen sind generell sehr objektiv und erfordern teilweise, je nach aufgenommener Grösse, technologisch komplexe Messgeräte. Visuell erhobene Daten sind subjektiv, weil der Mensch eine Beobachtung in ein Messergebnis übertragen (z.T. interpretieren) muss. Eine automatische Registrierung bedeutet, dass ein Messwert direkt in elektronischer Form übertragen und aufgespeichert wird. Eine manuelle Registrierung bedeutet, dass der Mensch die Werte auf papierene Unterlagen einträgt, meist als Vorstufe für die spätere Übertragung in ein elektronisches Format.

Es werden weltweit verschiedene Verfahren für die Zustandserfassung angewendet. Neben der allgemeinen Unterteilung in visuelle und messtechnische Verfahren wird vielfach auch die folgende Art der Unterteilung in der Fachliteratur erwähnt:

- Zustandsaufnahmen durch Beobachter zu Fuss,
- Zustandsaufnahmen aus einem fahrenden Fahrzeug,
- automatische Aufnahmeverfahren,
- andere Verfahren.

Zustandsaufnahmen zu Fuss werden meistens zur Aufnahme der folgenden Arten von Daten eingesetzt: einerseits einen generellen Zustandsindex (Gesamtindex) und andererseits Rohdaten von Oberflächenschäden. Während der Aufnahme schreitet der Beobachter die Strasse seitlich ab und trägt seine Beobachtungen auf Formulare ein oder durch Eingabe in Kleincomputer. Die dem Beobachter gebotene, unbehinderte direkte Nah-Sicht auf die Fahrbahn stellt den klarsten Vorteil von Zustandsaufnahmen zu Fuss dar, insbesondere wenn Oberflächenschäden aufgenommen werden. Diese Art von Aufnahme eignet sich nicht für die Erhebung weiterer Parameter wie die Ebenheit, die Griffigkeit und die Tragfähigkeit.

Zustandsaufnahmen aus einem fahrenden Fahrzeug werden meistens zur Aufnahme von drei Arten von Daten eingesetzt: erstens einen generellen Zustandsindex, zweitens Rohdaten von Oberflächenschäden und drittens eine subjektive Bewertung des Fahrkomforts. Während einer Aufnahmefahrt werden die Beobachtungen laufend in normalerweise kodierter Form auf Formulare eingetragen oder in Kleincomputer eingegeben. Aufnahmen aus fahrenden Fahrzeugen können sowohl bei langsamer Fahrgeschwindigkeit als auch bei normalen Verkehrsgeschwindigkeiten durchgeführt werden. Im letzteren Fall wird das Ergebnis allerdings fraglich sein, den bei erhöhtem Tempo besteht kaum die Möglichkeit Schäden zuverlässig zu erkennen, einzuordnen, zu klassieren und festzuhalten.

Die Sicherheit des beteiligten Personals ist der Hauptvorteil von visuellen Aufnahmen aus einem fahrenden Fahrzeug gegenüber einer Schadenaufnahme zu Fuss, sind doch die Bewerter im Fahrzeug den Verkehrsgefahren weniger ausgesetzt. Ein weiterer Vorteil von Aufnahmen aus Fahrzeugen ist die schnellere Fortschritt und die erhöhte Produktivität.

Automatische Aufnahmen beruhen auf den gezielten Einsatz von meist hochentwickelter Messtechnik mit Ultraschallsensoren, Radar, Lasertechnik, Beschleunigungsgeber, Bildaufnahme und Bilderkennung um sowohl die Messung als auch die Speicherung der Ergebnisse automatisch vorzunehmen. Dabei wird neuerdings so weit als möglich den

berührungslosen Verfahren gegenüber den Methoden mit einer mechanischen Abtastung der Vorzug gegeben. Zur Zeit sind automatische Verfahren für nahezu alle Zustandsparameter (Ausnahme: Oberflächenschäden, siehe folgenden Absatz) vorhanden und die Entwicklung entsprechender Messgeräte ist längst nicht abgeschlossen. Spezialisierte Messgeräte mit Spitzentechnologie haben allerdings ihren Preis, welcher sich auch je nach Markt und Messumfang in den Kosten der Messungen reflektiert. Die hohe Messkadenz und Produktivität, vor allem wenn auf Hochleistungsstrassen kontinuierlich gemessen werden kann, erfordern auch entsprechend leistungsfähige Auswerteverfahren und idealerweise die direkte Übertragung der Ergebnisse in eine Strassendatenbank um die teilweise gewaltigen Datenmengen zu bewältigen und über eine entsprechende Datenverdichtung anschliessend zu einer übersichtlichen Darstellung bringen zu können.

Automatische Aufnahmen von Oberflächenschäden sind derzeit noch in der Entwicklung und nur in wenigen Fällen haben einige Messgeräte und Verfahren erste praktische Einsätze vorbehaltlos überstanden (siehe auch Kapitel 2.2.1). Zudem werden durch diese Methoden vorerst nur wenige der vielen Formen von Oberflächenschäden (normalerweise Risse, welche je nach Methode auch in verschiedene Unterarten – z.B. Längs-, Quer-Netzrisse- unterteilt werden können) tatsächlich automatisch verarbeitet.

In Ergänzung zu den oben angegebenen Verfahren gib es weitere Methoden der Erfassung von Zustandsdaten wie z.B. Film- oder Video-Aufnahmen, die in verschiedenen Ländern auch tatsächlich angewendet werden. Bei diesen Methoden werden auf der Strasse die Aufnahmen durchgeführt (teilweise nachts oder mit künstlicher Beleuchtung auch am Tag) und später die Bilder im Büro durch einen Beobachter gesichtet und ausgewertet. Es werden hier die Sicherheitsvorteile der automatischen Methoden mit der Erhebungsmethodik von Zustandsaufnahmen aus fahrenden Fahrzeugen kombiniert. Dabei ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die ermüdende und langweilige Auswertungsarbeit am Bildschirm bzw. an einer Projektionswand dennoch gut geschulte Leute für die Auswertung erfordert. Bezüglich der Bildqualität (Auflösung) stellen Aufnahmen auf 35 mm Film nach wie vor die beste Qualität dar, aber die Videotechnik hat in den vergangenen Jahren gewaltig aufgeholt, einerseits durch unterschiedliche Bildformate, VHS, S-VHS, Betacam und HDTV und andererseits durch die Möglichkeit der Kombination von Aufnahmen mittels parallel angeordneten Einzelkameras zu einem einzelnen Gesamtbild. Die Entwicklungsrichtung geht aber auch bei diesen Systemen zu den automatischen Bildauswertungsverfahren hin.

### **5.1.2. Wahl einer Erfassungsmethode**

Es gibt grundsätzlich keine „richtige“ und keine „falsche“ Methode der Zustandserfassung von Fahrbahnen. Allerdings gibt es eine „optimale“ Methode um den eigenen Datenbedarf abzudecken. Diese Methode wird von verschiedenen Faktoren abhängig sein, wie der Netzgrösse, den Möglichkeiten (Ressourcen, Ausbildungsniveau, Kosten) des Einsatzes des eigenen Personals einer Strassenverwaltung, der festgelegten Datenauswahl. Wird nur ein genereller Gesamtindikator benötigt, dann kann ohne weitere grosse Überlegungen eine Aufnahme aus dem fahrenden Fahrzeug geplant und unmittelbar ausgeführt werden.

Werden hingegen weitere Anforderungen an die Daten gestellt, bzw. für die Daten unterschiedliche Verwendungszwecke erwogen, dann gilt es aus den gebotenen Möglichkeiten eine sinnvolle und wirtschaftliche Auswahl zu treffen.

Bei der Festlegung einer Zustandserfassungsmethode sollten jedenfalls zumindest folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- (a) Qualitätsniveau der erhobenen Daten, sowie Relevanz, Zuverlässigkeit und Kostenfolge der Daten einerseits und Relevanz der berücksichtigten Kriterien für die Auswahl der Daten,
- (b) Abschnittsbildung und Unabhängigkeit der Daten,
- (c) Kontrollmöglichkeiten der erhobenen Werte,
- (d) Vorgegebene technische Normen,
- (e) Verfügbare Budgetmittel für die erstmalige Zustandserfassung und für die spätere Nachführung der Daten,
- (f) Gegenüberstellung der Kosten für eine Intensivierung des Stichprobenumfanges und der Aufnahmeschrittfolge und den Kosten infolge fehlerhaften Daten und schliesslich,
- (g) Unterschiede zwischen subjektiv erfassten und objektiv gemessenen Daten..

## 5.2. Bewertungsmethoden

Wie bereits in Kapitel 3.4 dargestellt wurde, erfordert das Verlangen nach einem Vergleich von Strecken und Netzen eine gemeinsame Basis, welche normalerweise durch die Umwandlung der Rohdaten in meist dimensionslose Kenngrössen (Indizes) erfolgt. Für diese Umwandlung wird eine bestimmte Übertragungsfunktion gewählt. Dabei spielt eigentlich die Art der verwendeten Skala keine grosse Rolle. So werden verschiedene Arten von Skalen verwendet die folgende Unterschiede aufweisen können:

- die Skala verläuft abwärts, d.h. der höhere Wert stellt den besseren Zustand dar,
- die Skala verläuft aufwärts, d.h. der tiefere Wert stellt den besseren Zustand dar,
- die aufwärts gerichtete Skala hat einen bestimmten Endwert,
- die aufwärts gerichtete Skala ist nach oben offen (.. es kann also immer noch schlimmer werden...),
- die Skala ist mit fixen Qualitätsbezeichnungen (z.B. "gut", "schlecht") gekoppelt,
- Qualitätsbezeichnungen sind von der Strassenklasse oder weiteren Parametern abhängig.

Bezüglich der Übertragungsfunktionen werden bei Einzelindizes meist direkte Umwandlungsregeln angewendet, die mit einer einfachen Formel beziehungsweise mit der Zuordnung eines Umwandlungsdiagramms dargestellt werden, wie dies in der Norm SN 640 925a für die Längsebenheit, die Querebenheit, die Griffigkeit und die Tragfähigkeit der Fall ist.

Bei zusammengesetzten Indizes können verschiedene Formen auftreten:

- Mittelwertbildung
- gewichtete Mittelwertbildung (beispielsweise der in der alten Norm SN 640 925 vorgeschlagene Gesamtindex)

- Summenbildung
- Abzugsformel (beispielsweise die in der Norm SN 640 925a praktizierte Methode zur Berechnung des Indizes I<sub>1</sub> oder die Berechnung des Befahrbarkeitswertes mit den in Kapitel 7.1 erwähnten Formeln)
- Anwendung statistischer Grössen (siehe Vorschläge für ein Gesamtindex in Kapitel 7.5.2).

Welche der hier kurz vorgestellten Methoden auch immer gewählt wird, spielt schliesslich keine besondere Rolle. Jede Methode hat ihre Vor- und Nachteile, die je nach Verwendungszweck unterschiedlich sein können. Wichtig ist hingegen, dass die Gesamtheit der gewählten Lösungen ein in sich geschlossenes Ganzes darstellt.

### **5.3. Zeitliche Stabilität der Methoden**

In Ergänzung zur stetigen Weiterentwicklung bestehender und zur Konzeption und dem Bau neuer Messgeräte gilt es zu berücksichtigen, dass im Zuge der europäischen Normung auch die Oberflächeneigenschaften von Strassen Gegenstand von internationalen Harmonisierungsbestrebungen sind, welche nicht ohne Auswirkung auf die Schweiz bleiben werden.

Die im Rahmen der CEN jetzt laufenden Normierungsarbeiten umfassen, soweit es den Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit betrifft, die folgenden Oberflächeneigenschaften:

- Längsebenheit: Normvorschläge betreffen die Messlatte, welche auf 3m Länge festgelegt wurde und die eigentliche Längsebenheit. Dazu liegen Normentwürfe vor für die Definition der Ebenheitskennziffern wie auch für die Messmethode für die Erfassung des Längsprofils.
- Querebenheit: die bereits bei der Längsebenheit erwähnte 3 m Messlatte ist auch auf die Querebenheit anwendbar. Ein Normentwurf betrifft die Definition der Parameter der Querebenheit sowie die Methode der dynamischen Messung der Querebenheit.
- Griffigkeit: im Bereich der Griffigkeit sind Normentwürfe vorhanden für den SRT-Pendel und für den Ausflussmesser, beides auch in SN 640 510 normierte Geräte. Darüber hinaus wird an einem Normentwurf für eine geräteunabhängige dynamische Messmethode gearbeitet, welche auf die Bestimmung des europäischen Griffigkeitsindizes hinzielt.
- Textur: die Oberflächentextur – in der Schweiz nicht normiert und auch sonst in der Normengruppe Zustandserfassung nicht erwähnt – ist eine Eigenschaft welche die akustischen Eigenschaften und die Griffigkeitscharakteristik eines Strassenbelages beeinflusst. Der z.Z. als geräteunabhängige Vergleichsgrösse zur Diskussion stehende europäische Griffigkeitsindex wird definiert in Funktion eines Reibungswertes und der an gleicher Stelle gemessenen mittleren Texturtiefe. Zur Textur wurde bisher Normentwürfe ausgearbeitet betr. der Messung der Texturtiefe nach der volumetrischen und der profilometrischen Methode, sowie der Bestimmung der Megatextur.

Die Normierungsarbeit innerhalb von CEN stützt sich neben bestehenden internationalen (ISO) und nationalen Normen auch auf die Ergebnisse international angelegter Vergleichsmessungen unter verschiedenen Geräten.

Es dürfte im Rahmen der laufenden Diskussion auch von Interesse sein, dass gemäss CEN für die einzelnen Geräte für die Erfassung von Oberflächeneigenschaften Qualitätsklassen eingeführt werden, welche eine Einteilung der Geräte u.a. aufgrund technischer Eigenschaften (z.B. Auflösung der verwendeten Sensoren) sowie der Schrittfolge einzelner Signale (z.B. Aufnahme des Längsprofils mit Punkteabstand von 50, 100 oder 200 mm) vorsieht.

## 6. VORSCHLÄGE FÜR EINZELINDIZES

### ***Vorbemerkung***

*In den nachfolgenden Ausführungen wurde eine abschliessende Behandlung der Oberflächenschäden nur bezüglich des Anwendungsfalls "bituminöse Beläge" vorgenommen. Angaben bezüglich der Oberflächenschäden beim Betonbelag sind im Bericht ebenfalls beigelegt worden, sind aber nicht konsequent überall vorhanden. Dies hat damit zu tun, dass bei der geplanten Revision der Norm Zustandserfassung und Bewertung von Strassen inkl. dem dazugehörigen Schadenkatalog bezüglich der Oberflächenschäden des Betonbelages noch einige begriffliche Änderungen und eventuelle Umgruppierungen der Einzelmerkmale bevorstehen, auf die im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit und ohne Konsultation in einer Expertenkommission nicht vorgegriffen werden wollte. Es wird allerdings davon ausgegangen – und entsprechende Vorabklärungen haben dies bestätigt – dass der für die Behandlung von Oberflächenschäden beim bituminösen Belag vorgeschlagene Lösungsansatz auch für die Oberflächenschäden beim Betonbelag anwendbar ist.*

### **6.1. Ausgangslage**

Im Rahmen von Pavement Management Anwendungen gilt es eine optimale Planung von Massnahmen anzustreben, welche den effizientesten Einsatz der verfügbaren Mittel ermöglicht. In der "Mechanik" der entsprechenden Analyse stellt die Zuordnung der geeigneten Massnahmen eine wichtige Schnittstelle dar. Es ist deshalb besonders wichtig, dass die Vorschläge für Einzelindizes auf diese besondere Verwendung ausgerichtet sind.

Die nachfolgenden Ausführungen sind ausschliesslich unter dem Gesichtspunkt der diesem Forschungsauftrag zugrunde liegenden Verwendung beim Management der Strassenerhaltung, insbesondere auf der Netzebene zu betrachten. Allfällige Mängel einzelner Merkmale gemäss dieser Optik bedeuten nicht automatisch eine mangelhafte Eignung im Rahmen von Projektstudien.

Die Ausarbeitung einer Liste von Vorschlägen für Einzelindizes beruht auf die allgemeinen Ausführungen dieses Berichtes aus der Sicht des Bedarfes und der Anforderungen an Zustandsindikatoren und erfolgt unter der Randbedingung, die bisherige Praxis soweit als möglich beibehalten zu können. Aus diesem Grund wird zunächst eine zusammenfassende Beurteilung aller bisher gebräuchlichen Indikatoren vorgenommen und in einem zweiten Schritt die Liste der Vorschläge ausgearbeitet. Schliesslich werden Lösungsvorschläge formuliert für jene Kenngrössen die neu in eine Indexskala eingebettet werden können.

**Tabelle 4:** Beurteilung vorhandener Zustandsgrössen  
(Abkürzungen: A: bituminöser Belag; B: Betonbelag)

Zustandsindikator	Vorteile/Verwendung	Nachteile
Hauptgruppe Oberflächenglätte A	wesentlicher Faktor für die Verkehrssicherheit, Grund für Sofortmassnahmen	von den Einzelmerkmalen Polieren und Schwitzen ist nur letzteres zuverlässig erkennbar; die Ursache beider Merkmale ist verschieden und voneinander unabhängig; <b>kein Beispiel von Verhaltensmodellen für das Merkmal Schwitzen bekannt</b>
Hauptgruppe Belagschäden A	gute Zuordnung zu einer Ursachengruppe und zum Problembereich "Schäden an der Deckschicht"	das Auseinanderhalten von Rissen mit verschiedener Ursache (Alterung/Versprödung/ Temperatur bzw. strukturelle Mängel) ist nicht einfach und kann zu Fehlern führen
Hauptgruppe Belagsverformungen A	gute Zuordnung zum Problembereich "Schäden an der Deckschicht", z.T. mit unterschiedlichen Ursachen	<b>Wertbereiche von Spurtiefen zu grob, unbrauchbar für eine vorausschauende Planung; Stichprobenumfang ungelöst</b>
Hauptgruppe strukturelle Schäden A	gute Zuordnung zum Problembereich "ungenügender Oberbau", z.T. mit unterschiedlichen Ursachen	das Auseinanderhalten von Rissen mit verschiedener Ursache (Alterung/Versprödung/ Temperatur bzw. strukturelle Mängel) ist nicht einfach und kann zu Fehlern führen
Hauptgruppe Flicke A	Flicke ermöglichen keine direkte Zuordnung zu einer spezifischen Ursache, sie stellen jedoch einen Hinweis auf den allgemeinen Belagszustand dar.	Flicke sind eine Funktion der allg. Schadenbildung und der Unterhaltspolitik; aus diesem Grund sind keine Verhaltensmodelle möglich.
Index I1 A (bituminöser Belag)		der Index I1 stellt eine zusammengesetzte Grösse aus mehreren Teilwerten zusammen, von denen jeder eine "Eigendynamik" hat; <b>es kann deshalb keine zuverlässige Verhaltensfunktion ausgearbeitet werden; ungeeignet für die Ermittlung der Schadenursache</b>
Hauptgruppe Oberflächenglätte B	wesentlicher Faktor für die Verkehrssicherheit, Grund für Sofortmassnahmen	Das Merkmal "Polieren" ist kaum zuverlässig erkennbar und quantifizierbar.

Zustandsindikator	Vorteile/Verwendung	Nachteile
Hauptgruppe Materialverluste B	gute Zuordnung zu Probleme der Oberfläche bzw. Oberschicht	
Hauptgruppe Fugen- und Kantenschäden B	gute Zuordnung zu den erforderlichen Massnahmen	Fugen- und Kantenschäden sind nicht nur von Verkehrslast und Witterung abhängig, sondern auch von Qualität und Intensität des Unterhalts; deshalb sind Verhaltensfunktionen praktisch kaum bestimmbar.
Hauptgruppe Verformungen B	diese eher mit dem Begriff "Vertikalversatz" definierbare Gruppe weist auf Probleme von Foundationsschicht und Untergrund hin	bei der visuellen Aufnahme sind praktisch nur Setzungen und die Stufenbildung sichtbar
Hauptgruppe Risse B	gute Zuordnung zu strukturelle Probleme und je nach Wert-Bereich auch zu den erforderlichen Massnahmen	Schwindrisse werden nicht unterschieden
Hauptgruppe Flicke B	Flicke ermöglichen keine direkte Zuordnung zu einer spezifischen Ursache, sie stellen jedoch einen Hinweis auf den allgemeinen Belagszustand dar.	Flicke sind eine Funktion der allg. Schadenbildung und der Unterhaltspolitik; aus diesem Grund sind keine Verhaltensmodelle möglich.
Index I1 B (Betonbelag)		der Index I1 stellt eine zusammengesetzte Grösse aus mehreren Teilwerten zusammen, von denen jeder eine "Eigendynamik" hat; <b>es kann deshalb keine zuverlässige Verhaltensfunktion ausgearbeitet werden; ungeeignet für die Ermittlung der Schadenursache</b>
Index I2 Längsebenheit	die Längsebenheit lässt indirekt auch auf Tragfähigkeitsmängel schliessen	
Längsebenheit, Winkelwert	Angabe eines lokalen Mangels	<b>keine Relevanz als Kenngrösse für die langfristige Planung</b>
Index I3 Querebenheit	gute Abstufung des Ausmasses der Verformungen	Ursache der Verformung (plastische Deformation, Abrieb, Setzungen) mit diesem Index nicht eindeutig feststellbar
Spurtiefe T	präzise Quantifizierung des Schadenausmasses, Grundlage zur Bestimmung des Indexes I3	

Zustandsindikator	Vorteile/Verwendung	Nachteile
Wassertiefe t	wesentlicher Faktor für die Verkehrssicherheit, Grund für Sofortmassnahmen	die Wassertiefe hängt von der zunehmenden Spurtiefe und von der konstanten Querneigung ab; <b>es kann keine Verhaltensfunktion entwickelt werden</b>
Index I4 Griffigkeit	wesentlicher Faktor für die Verkehrssicherheit, Grund für Sofortmassnahmen	
Griffigkeit, SRT-Wert	wesentlicher Faktor für die Verkehrssicherheit, Grund für Sofortmassnahmen	die punktuelle Messung mit Handgeräten ist <b>für einen systematischen Einsatz auf Netzebene ungeeignet</b>
Griffigkeit, Ausflussmesser	wesentlicher Faktor für die Verkehrssicherheit, Grund für Sofortmassnahmen	die punktuelle Messung mit Handgeräten ist <b>für einen systematischen Einsatz auf Netzebene ungeeignet</b>
Index I5 Tragfähigkeit	die direkte Kenntnis der Tragfähigkeitsverhältnisse aus der Deflektionsmessung ist eine wertvolle Zusatzinformation für die Ursachenermittlung und die Unterscheidung zwischen oberflächliche und strukturelle Probleme	im Verlauf der Zeit sind die Änderungen weitaus geringer als die saisonalen Schwankungen, häufig führen die Konsolidation und die Nachverdichtung zu einer Verbesserung der Tragfähigkeit. <b>Die Messung auf Netzebene ist aufwendig.</b>

## 6.2. Vorgeschlagene Einzelindizes

Der nachfolgende Vorschlag lehnt sich soweit als möglich an die bisherige Praxis gemäss SN 640 925a an. Es umfasst eine Liste von Indizes, welches in Verbindung mit einem Verhaltensmodell für die mittel- und langfristige Planung verwendet werden können als auch solche, welche einzig als Auslöser von Sofortmassnahmen Anwendung finden. Die vorgeschlagenen Indizes sind in Tabelle 5 mit Angabe der möglichen Messmethoden aufgeführt während in Tabelle 6 die Möglichkeiten der Verwendung der genannten Indizes im Rahmen der Massnahmenwahl aufgelistet werden.

Aus der Sicht der Zustandserfassungsmethodik beruhen fünf der insgesamt neun Indizes (bituminöse Beläge) auf eine visuelle Aufnahme, während die übrigen eine eigentliche Messung voraussetzen. Dabei können mit einer Ausnahme – der Messung der Griffigkeit – sowohl leistungsfähige dynamische Geräte eingesetzt werden als auch langsamere "Handgeräte". Letztere werden allerdings für einen netzweiten Einsatz aus wirtschaftlichen Gründen und wegen dem potentiellen Mangel einer ungenügenden Messdichte nicht empfohlen.

**Tabelle 5:** Vorschlag für Einzelindikatoren

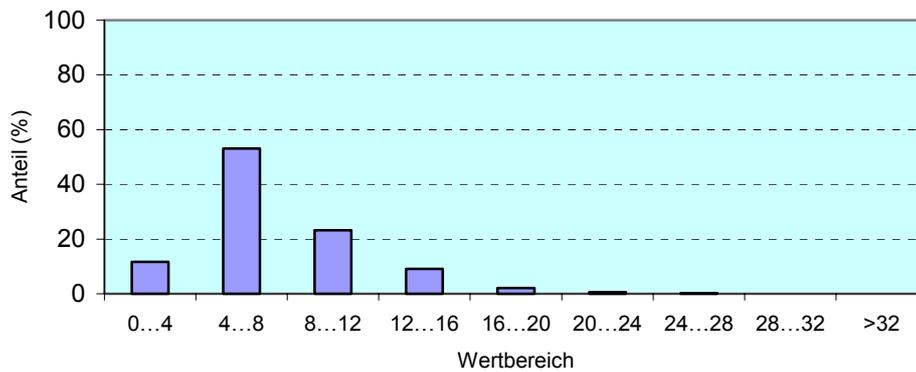
<b>Kenngrosse</b>	<b>Messmethode 1</b>	<b>Messmethode 2</b>	<b>Bemerkungen</b>
Hauptgruppe Oberflächenglätte A	Visuelle Aufnahme	visuelle Aufnahme	ohne Verhaltensmodell, als Auslöser von Sofortmassnahmen
Hauptgruppe Belagschäden A	Visuelle Aufnahme	visuelle Aufnahme	mit Einzelmerkmalen gemäss SN 640 925a
Hauptgruppe Belags- verformungen A*	visuelle Aufnahme	visuelle Aufnahme	*: gegenüber der heutigen Praxis ohne das Merkmal Spurrinnen
Hauptgruppe strukturelle Schäden A	visuelle Aufnahme	visuelle Aufnahme	mit Einzelmerkmalen gemäss SN 640 925a
Hauptgruppe Flicke A	visuelle Aufnahme	visuelle Aufnahme	ohne Verhaltensmodell
Index 12 Längsebenheit	dynamische Messgeräte	Winkelmessgerät, Nivellement	
Index 13 Spurrinnen	dynamische Messgeräte	Messlatte, Planum- Gerät	
Index I4 Griffigkeit	dynamische Messgeräte	---	
Index 15 Tragfähigkeit	FWD, Deflectographe Lacroix	Benkelman-Balken	

Im Vergleich zur bisherigen Praxis erkennt man aus den Angaben der vorstehenden Tabelle, dass die Hauptgruppe Belagsverformungen im Unterschied zur heutigen Praxis das Merkmal Spurrinnen nicht mehr umfasst. Das liegt darin begründet, dass die Angaben über die Spurrinnenbildung aus der visuellen Aufnahme als unbrauchbar für die langfristige Planung betrachtet werden und sich in dieser Form auch nicht für die Zuordnung, geschweige denn die Herleitung von Verhaltensfunktionen eignen. Dies als Folge der Tatsache, dass die anwendbaren Wertbereiche einerseits viel zu grob sind und andererseits keine "saubere" Trennung zwischen dem "Fehlen" von Spurrinnen und dem "Vorhandensein" von Spurrinnen ermöglichen. Gilt ein Zwischenraum unter der Latte ab 2, 3, 4, 5... mm als Spurrinne? Eine in der Praxis fehlende systematische Kontrolle der Querebenheit – d.h. mit der Messlatte in gleichmässigen Abständen – bei der visuellen Aufnahme dieses Zustandsmerkmals führt auch zu einer verminderten Datenqualität und verunmöglicht einen Vergleich aufgrund ungleichmässiger Aufnahmen.

Zur Veranschaulichung der Problematik des Wertbereiches (der Schadenkatalog nennt für die Spurtiefe eine Schadensschwere "leicht" bis 15 mm, eine Schadensschwere "mittel" zwischen 16 und 30 mm und eine Schadensschwere "schwer" ab 31 mm) sei auf die Ergebnisse der Auswertung aller Nebenstrassen eines kantonalen Strassennetzes hingewiesen, bei welcher Häufigkeitsverteilungen einerseits unter der Voraussetzung der

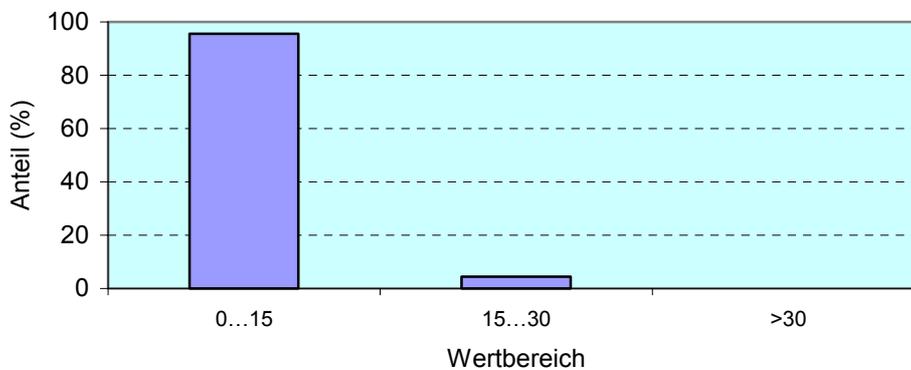
Verfügbarkeit einer "feinen" Auflösung der Spurrinntiefen und andererseits mit der Auflösung gemäss Schadenkatalog mit den gleichen Ausgangsdaten erstellt wurden.

### Häufigkeitsverteilung Tmax



**Abbildung 7:** Häufigkeitsverteilung der maximalen Spurrinntiefe bei Verfügbarkeit gemessener Werte.

### Häufigkeitsverteilung Tmax



**Abbildung 8:** Häufigkeitsverteilung der maximalen Spurrinntiefe bei ausschliesslicher Verfügbarkeit von Schwerestufen nach Schadenkatalog.

Die Verwendung der vorgeschlagenen Einzelindizes als Indikator bei der Ermittlung einer Schadenursache und bei der Massnahmenplanung ist schematisch in der folgenden Tabelle 6 zusammengefasst.

**Tabelle 6:** Verwendung der vorgeschlagenen Indizes im Rahmen der Massnahmenplanung

Zustandsindex	Problemkreis Deckschicht (Oberflächenproblem)	Problemkreis Oberbau (strukturelles Problem)
Hauptgruppe Oberflächenglätte A	X	
Hauptgruppe Belagschäden A	X	
Hauptgruppe Belagsverformungen A*	X	
Hauptgruppe strukt. Schäden A		X
Hauptgruppe Flicke A		
Index I2 Längsebenheit		X
Index I3 Spurrinnen	X	
Index I4 Griffigkeit	X	
Index I5 Tragfähigkeit		X
<b>Massnahmengruppe</b>	<b>Instandsetzung</b>	<b>Verstärkung/ Erneuerung</b>

### 6.3. Bewertungsregeln

Bei der Ausarbeitung von Bewertungsregeln wurde als Grundprinzip die Beibehaltung der bisherigen Praxis angestrebt. Für diese Lösung spricht die Tatsache, dass den Anwendern der Norm, die durch die bisherigen Änderungen zum Teil verwirrt und verunsichert worden sind und sich auch zu Recht über den "Verlust" früher aufgenommener Daten beklagt haben, ein möglichst reibungsloser Übergang auf eine neue Normfassung angeboten werden soll.

Für fünf der neuen vorgeschlagenen Indizes (bituminöse Beläge), die der bisherigen Definition entsprechen (I2 bis I5), ändert sich somit nichts an der Bewertungsskala und an den Bewertungsregeln. Neue Vorschläge sind hingegen für die Hauptgruppen aus den bisherigen visuellen Aufnahme erforderlich.

Die Praxis der Erfassung von Oberflächenschäden nach den Aspekten des Schadenausmasses und der Schadensschwere, im Schadenkatalog detailliert dokumentiert, ist bisher kaum Gegenstand wesentlicher kritischer Bemerkungen gewesen und eine Abkehr von diesem System drängt sich nicht auf.

Damit wird es naheliegend den Matrixwert (von 0 bis 9), das heisst das Produkt aus Schadenausmass und Schadensschwere, als den Wertebereich der Rohdaten zu betrachten. Dies ermöglicht an sich eine direkte Weiterverwendung der Matrixwerte als dimensionslose Indexwerte, ebenfalls auf einer Skala von 0 bis 9. Damit entstünde aber eine verwirrende Situation in welcher

- die Skalen der verwendeten Indizes nicht den gleichen Bereich belegen: 0 bis 5, bzw. 0 bis 9,

- die Skalen umgekehrt verlaufen: bei den Indizes I2 bis I5 entspricht der Wert 0 dem schlechtesten Zustand, bei den Indizes der Hauptgruppen entspricht der Wert 0 dem besten Zustand.

Die oben erwähnten Mängel können vermieden werden, wenn auch für die Indizes der Hauptgruppen von Oberflächenschäden eine Werteskala von 0 bis 5 zur Verwendung kommt, in welche ein Wert vom 5 den besten und ein Wert von 0 den schlechtesten Zustand widerspiegelt. Ein solches Vorgehen entspricht auch den generellen Grundsätzen eines möglichst klaren Vergleichs verschiedener Strecken, wie dies in Kapitel 3.5 dargestellt worden ist. **Es wird deshalb vorgeschlagen, für die Indizes der Hauptgruppen von Oberflächenschäden eine Werteskala von 0 bis 5 zu verwenden.**

Was jetzt noch fehlt ist eine Bewertungsregel, d.h. die Bestimmung der Umwandlung der Rohdaten, d.h. der zwischen 0 und 9 streuenden Matrixwerte, in entsprechende Indexwerte. Aus Gründen der Einfachheit wird dafür die Verwendung einer gleichen linearen Umwandlungsfunktion für alle diese Indizes, wie in Abbildung 9 dargestellt.



**Abbildung 9:** Umwandlungsregel von Matrixwerte in Indexwerte

Diese Umwandlungsfunktion kann auch als Formel dargestellt werden:

$$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$$

wobei:  $I_x$  = Indexwert  
 $M_x$  = Matrixwert

Die Bewertungsskalen und die Bewertungsregeln für die vorgeschlagenen Indizes sind in Tabelle 7 zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 7:** Bewertungsskalen und Bewertungsregeln für die Zustandsindizes

<b>Zustandsindex</b>	<b>Bewertungsskala</b>	<b>Bewertungsregel</b>
Hauptgruppe Oberflächenglätte A	<b>neu: 5 bis 0</b>	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Hauptgruppe Belagschäden A	<b>neu: 5 bis 0</b>	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Hauptgruppe Belagsverformungen A*	<b>neu: 5 bis 0</b>	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Hauptgruppe strukt. Schäden A	<b>neu: 5 bis 0</b>	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Hauptgruppe Flicke A	<b>neu: 5 bis 0</b>	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Index I2 Längsebenheit	wie bisher 5 bis 0	SN 640 925a, Abb. 1
Index I3 Spurrinnen	wie bisher 5 bis 0	SN 640 925a, Abb. 2
Index I4 Griffigkeit	wie bisher 5 bis 0	SN 640 925a, Abb. 3
Index I5 Tragfähigkeit	wie bisher 5 bis 0	SN 640 925a, Abb. 4

## 7. VORSCHLÄGE FÜR ZUSAMMENGESETZTE INDIZES

Der Titel dieses Abschnittes verwendet bewusst die Form der Mehrzahl (bez. der Indizes), hat doch die Analyse der Praxis in verschiedenen Ländern ergeben, dass u.U. mehrere kombinierte Indizes zur Anwendung kommen. Im Rahmen der Ausarbeitung von Vorschlägen wird man demnach nicht um die Frage kommen ob es denn ein einziger Gesamtindex sein soll, oder aber ob systematisch oder fallweise unterschiedliche zusammengesetzten Indizes exklusiv oder nebeneinander zur Anwendung kommen können.

Darüber hinaus gilt es zu berücksichtigen, dass die Berechnung zusammengesetzter Indizes die Verfügbarkeit der entsprechenden Einzelwerte voraussetzt. So gilt es bei der Festlegung oder der Wahl von zusammengesetzter Indizes zu prüfen, wo und in welchem Umfeld diese Indizes Verwendung finden und ob im betroffenen Bereich die notwendigen Einzelwerte auch zur Verfügung stehen und regelmässig erhoben und nachgeführt werden.

### 7.1. Frühere Praxis

Im Rahmen der ersten Fassung der Norm SN 640 925 wurde ein Gesamtindex vorgeschlagen, welche die visuellen Schäden, die Längsebenheit und die Querebenheit berücksichtigt. Dieser Gesamtindex wurde wie folgt definiert:

$$GI = 1/100 (20 \cdot I1 + 45 \cdot I2 + 35 \cdot I3)$$

Die Auswahl der Einflussgrössen bei diesem Gesamtindex orientierte sich an den Befahrbarkeitswert  $p$  nach dem AASHTO-Strassentest, wie es auch in den Normen der VSS normiert war und vor allem in Zusammenhang mit verschiedenen Grundlagen der Dimensionierung immer wieder zur Anwendung oder Berücksichtigung kam. Der Befahrbarkeitswert nach AASHTO wird je nach Belagsart gemäss folgenden Formeln unterschiedlich berechnet:

Strassen mit bituminösen Belag:

$$p = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 0.01 \sqrt{C+P} - 1.38 RD^2$$

Strassen mit Betonbelag:

$$p = 5.41 - 1.80 \log(1 + SV) - 0.09 \sqrt{C+P}$$

wobei: SV = Mittel der Streuung der Längsneigungen in beiden Radspuren,  
C + P = Mass der Rissbildung und der Ausbesserungen (Flicke) des Belages,  
RD = Tiefe der Spurrinnen in Zoll unter einer Messlatte von 1.2 m (4 Fuss)

Bei der Version der ersten Fassung der Norm SN 640 925 wurde im Unterschied zur AASHTO Version:

- nur eine generelle Formel vorgeschlagen, ohne Unterschiede nach Belagsart (bituminös, Beton)
- an Stelle einer Abzugsformel eine solche mit einem gewichteten Mittelwert gewählt
- gegenüber der AASHTO-Vorlage für Strassen mit bituminösem Belag eine stärkere Gewichtung der Querebenheit zu Lasten der Längsebenheit gewählt.

Die Norm Zustandserfassung und Bewertung von Strassen enthielt neben einem "deklarierten" kombinierten Index bereits einem anderen "versteckten" kombinierten Index, nämlich den Index der Oberflächenschäden I1, welcher nach einer gewichteten Abzugsformel berechnet wird:

$$I1 = 5 - 1/10 * \sum (g_i * a_i * s_i)$$

wobei:

g = Gewicht der Schadengruppe

a = Ausmass der Schadengruppe

s = Schwere der Schadengruppe

Währenddem der Gesamtindex anlässlich der Normrevision von 1997 ersatzlos aus der Norm fiel, ist der Index der Oberflächenschäden in seiner Grundform geblieben, allerdings wurden die Anzahl Schadengruppen und die Gewichte geändert.

## 7.2. Wozu zusammengesetzte Indizes und wozu nicht

*Gemäss den Ausführungen in Abschnitt 3.4 sind zusammengesetzte oder kombinierte bzw. Globalindizes eher als Grundlage für den Vergleich von Abschnitten mit unterschiedlichen Schadentypen geeignet und drücken gewissermassen den "allgemeinen Gesundheitszustand" einer Fahrbahn aus. Kombinierte oder Globalindizes sind deshalb besonders geeignet für die Bewertung von Netzen. Sind werden deshalb vielfach auch als Bezugsgrösse beim Optimierungsprozess im Rahmen von Pavement Management-Anwendungen gewählt, um damit den "Nutzen" der Applikation bestimmter Massnahmen darzustellen und gleichzeitig zu quantifizieren.*

Jede wie auch immer konzipierte "Kombination" von Einzelgrössen – ob durch gewichtete oder ungewichtete Mittelung, Aufsummierung oder Einordnung in einer Abzugsformel – drückt den Einzelwert in den Hintergrund, bzw. schwächt seine Wirkung im Gesamtbild ab. Insbesondere wird durch die Zusammenführung von Einzelwerten zu einem Gesamtindex der direkte Bezug zu einer Schadenursache nicht mehr erkenntlich und damit lassen sich kaum mehr zuverlässig Massnahmen zuordnen, bzw. Kosten berechnen, welche schliesslich direkt mit der Massnahmenwahl zusammenhängen.

### 7.3. Gesamtindizes und "Spartenindizes"

Mit den im Titel des Abschnittes genannten Begriffe wird einerseits, mit dem Begriff "Gesamtindex" ein sämtliche Einzelparameter umfassender zusammengesetzter Index verstanden, bzw., mit dem Begriff "Spartenindex", die gezielte Zusammenstellung einzelner Parameter mit bestimmten gemeinsamen Elementen. Als Beispiel dafür kann ein Index der Verkehrssicherheit dienen, in welchem neben der Griffigkeit auch die Spurtiefe, bzw. die Wassertiefe vorkommen.

Nimmt man ausländische Beispiele zum Vorbild, so könnten folgende Spartenindizes vorgeschlagen werden:

- Sicherheit
- Fahrkomfort
- Bestand

Die in diesem Bericht vorgeschlagenen Einzelindizes lassen sich wie folgt den verschiedenen "Sparten" zuordnen:

**Tabelle 8:** Zuordnung der Einzelindizes zu den Bewertungskriterien

Parameter	Sicherheit	Fahrkomfort	Bestand
Hauptgruppe Oberflächenglätte A	✓	-	-
Hauptgruppe Belagschäden A	-	✓	-
Hauptgruppe Belagsverformungen A*	✓	✓	-
Hauptgruppe strukturelle Schäden A	-	✓	✓
Hauptgruppe Flicke A	-	✓	✓
Index I2 Längsebenheit	-	✓	✓
Index I3 Spurrinnen	✓	✓	-
Index I4 Griffigkeit	✓	-	-
Index I5 Tragfähigkeit	-	-	✓

\*: ohne Spurrinnen

### 7.4. Zusammengesetzte Indizes und verfügbare Daten

Bei den nachfolgenden Ausführungen wird der Versuch unternommen, Vorschläge für zusammengesetzte Indizes in Abhängigkeit der Auswahl der verfügbaren Einzelwerte auszuarbeiten. Entsprechend der Annahme, dass zusammengesetzte Indizes in erster Linie auf der Netzebene Verwendung finden, wie dies im vorangehenden Teilabschnitt aus einem früheren Kapitel des vorliegenden Berichtes zitiert wurde, werden zunächst verschiedene Szenarien betreffend der Verfügbarkeit der Daten ausgearbeitet.

Es kann davon ausgegangen werden, und die in verschiedenen Kantonen in den letzten Jahren beobachtete Praxis dürfte dies bestätigen, dass folgende vier Grundfälle vorkommen:

- Fall A: es stehen netzweit nur die Ergebnisse einer visuellen Erfassung zur Verfügung (diese kann allenfalls auch die Ergebnisse einer manuell mit der Messlatte erhobenen Spurrinnenbildung umfassen, welche zur Berechnung des Indexes I3 dient; es ist dabei zu beachten, dass netzweit eine möglichst gleichmässige Erhebungsdichte befolgt wird),
- Fall B: es stehen in Ergänzung zur visuellen Erfassung auch Angaben zur Ebenheit in Längs- und in Querrichtung zur Verfügung (Index I2 und I3)
- Fall C: zusätzlich zu den gemäss Fall B verfügbaren Daten stehen auch Angaben betreffend der Tragfähigkeit zur Verfügung (es wird dabei angenommen, dass die zur korrekten Bewertung der Tragfähigkeit notwendigen Angaben über die Verkehrsbelastung ebenfalls zur Verfügung stehen)
- Fall D: zusätzlich zu den gemäss Fall C verfügbaren Daten stehen auch Angaben betreffend der Griffbarkeit zur Verfügung.

Die Fälle A und B sind die häufigsten, Fall D ist der bisher seltenste Fall.

Gemäss den Vorschlägen für Einzelindizes, wie sie in diesem Bericht formuliert wurden, stehen also je nach Fall folgende Einzelwerte für die Berechnung eines zusammengesetzten Indizes zur Verfügung:

**Tabelle 9:** Verfügbare Daten für die Berechnung eines zusammengesetzten Indizes

Parameter	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D
Hauptgruppe Oberflächenglätte A	✓	✓	✓	✓
Hauptgruppe Belagschäden A	✓	✓	✓	✓
Hauptgruppe Belagsverformungen A*	✓	✓	✓	✓
Hauptgruppe strukturelle Schäden A	✓	✓	✓	✓
Hauptgruppe Flicke A	✓	✓	✓	✓
Index I2 Längsebenheit	-	✓	✓	✓
Index I3 Spurrinnen	(✓)	✓	✓	✓
Index I4 Griffbarkeit	-	-	-	✓
Index I5 Tragfähigkeit	-	-	✓	✓

\*: ohne Spurrinnen

Die Gegenüberstellung der vorstehenden Tabelle 9 mit der früheren Tabelle 8, welche die Zuordnung der Einzelindizes zu den verschiedenen Bewertungskriterien angibt, zeigt auf, dass nur dann an die Einführung von "Spartenindizes" gedacht werden kann, wenn tatsächlich alle Einzelwerte gemäss Fall D zur Verfügung stehen. Es macht nämlich keinen Sinn eine Sicherheitsindex zu bestimmen wenn der wichtigste Parameter, die Griffbarkeit, fehlt, oder einen Bestandesindex berechnen zu wollen, wenn keine Angaben über die Tragfähigkeit vorhanden sind (in diesen Fällen werden meist auch die für eine allfällige Ersatzlösung verwendbaren Daten, nämlich die Angaben über den Strassenaufbau und den Untergrund, ebenfalls fehlen).

## 7.5. Vorschläge für ein Gesamtindex

### 7.5.1. Berücksichtigte Parameter

Grundsätzlich können für die Anwendungsfälle gemäss den oben erwähnten Szenarien der Verfügbarkeit von Zustandsdaten (Fälle A bis D) entsprechende Gesamtindizes zugeordnet werden, welcher hier der Einfachheit halber mit Gesamtindex Typ i bezeichnet werden, wobei für i die Buchstaben A bis D eingesetzt werden können. Mit einer Ausnahme wird jeweils die Gesamtheit der verfügbaren Daten zur Berücksichtigung empfohlen. Diese Ausnahme betrifft den Gesamtindex Typ D, entsprechend dem Fall bei dem an sich alle Daten verfügbar sind. Um eine doppelte Berücksichtigung der Griffigkeit zu vermeiden und dabei die zuverlässigeren Werte zu bevorzugen, wird auf den Einbezug der Hauptgruppe Oberflächenglätte bei den Oberflächenschäden verzichtet. Beim Fall A wird davon ausgegangen, dass manuell erhobene Spurrinntentiefen zur Bestimmung des Indizes I3 ebenfalls verfügbar sind, was der heutigen Praxis der "visuellen Aufnahme" entspricht, wobei an die Messung der Spurrinnen erhöhte Anforderungen gestellt werden.

**Tabelle 10:** Berücksichtigte Grössen für einen zusammengesetzten Gesamtindex

Parameter	GI Typ A	GI Typ B	GI Typ C	GI Typ D
Hauptgruppe Oberflächenglätte A	✓	✓	✓	-
Hauptgruppe Belagschäden A	✓	✓	✓	✓
Hauptgruppe Belagsverformungen A*	✓	✓	✓	✓
Hauptgruppe strukturelle Schäden A	✓	✓	✓	✓
Hauptgruppe Flicke A	✓	✓	✓	✓
Index I2 Längsebenheit	-	✓	✓	✓
Index I3 Spurrinnen	✓	✓	✓	✓
Index I4 Griffigkeit	-	-	-	✓
Index I5 Tragfähigkeit	-	-	✓	✓

\*: ohne Spurrinnen

### 7.5.2. Berechnungsverfahren

Es ist von Vorteil, wenn der Gesamtindex grundsätzlich nach der gleichen Werteskala wie die verschiedenen Einzelindizes berechnet wird, weil dann in beiden Fällen gleiche Werte eine grundsätzlich qualitativ ähnliche Situation beschreiben. Für die Berechnung können an sich vier verschiedene Methoden erwogen werden:

**Methode 1:** der Gesamtindex berechnet sich wie der Mittelwert aller (n) Einzelwerte P

$$GI_1 = 1/n * \Sigma(P_1...P_n)$$

Diese Methode hat den Nachteil, dass der daraus resultierende Gesamtindex infolge der Mittelung als "zu gut" erscheint.

**Methode 2:** der Gesamtindex berechnet sich nach dem gewichteten Mittelwert aller (n) Einzelwerte P

$$GI_2 = (1/(n \cdot \sum g_i)) \cdot \sum (P_1 \cdot g_1 \dots P_n \cdot g_n)$$

Methode 2 hat grundsätzlich den gleichen Nachteil wie Methode 1 wegen der Mittelung, auch wenn dies durch allerdings eher willkürlich festgelegte Gewichtungsfaktoren abgemindert werden kann.

**Methode 3:** der Gesamtindex berechnet sich mittels einer Abzugsformel mit den Abzügen  $\Delta$  der Einzelwerte P

$$GI_3 = 5 - k \cdot \sum (\Delta_1 \dots \Delta_n)$$

Bei dieser Methode ist der Korrekturfaktor k so zu wählen, dass keine negativen Werte resultieren. Tendenziell ergibt diese Methoden "zu schlechte" Werte.

**Methode 4:** der Gesamtindex berechnet sich aus dem Mittelwert aller (n) Einzelwerte P abzüglich der gewichteten (k) Standardabweichung; empfohlener Wert für k = 1.25

$$GI_4 = (1/n \cdot \sum (P_1 \dots P_n)) - k \cdot \text{Standardabweichung} (P_1 \dots P_n)$$

Diese Methode führt normalerweise zu einem Ergebnis in der Nähe des schlechtesten Einzelwertes, in einigen Fällen sogar darunter [29]. **Diese Methode wird für die weitere praktische Anwendung empfohlen.**

Die Diskussion über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Berechnungsmethoden sei an einem Beispiel dargestellt, bei dem folgende Einzelwerte und allfällige Gewichtungsfaktoren gelten:

**Tabelle 11:** Ausgangsgrößen für die Berechnungsbeispiele und Ergebnisse

Parameter	Gewicht	Beispiel 1	Beispiel 2
Hauptgruppe Belagschäden A	1	3.6	3.2
Hauptgruppe Belagsverformungen A*	1	4.0	2.8
Hauptgruppe strukturelle Schäden A	1	5.0	2.4
Hauptgruppe Flicke A	1	4.4	2.6
Index I2 Längsebenheit	2	3.8	2.4
Index I3 Spurrinnen	2	3.0	3.0
Index I4 Griffbarkeit	2	2.6	3.8
Index I5 Tragfähigkeit	2	4.0	2.0
GI <sub>1</sub> : Mittelwert		3.80	2.77
GI <sub>2</sub> : gewichteter Mittelwert		3.65	2.78
GI <sub>3</sub> : Abzugsformel (k = 0.25)		2.60	0.55
GI <sub>4</sub> : Mittelwert abzüglich 1.25*Standardabweichung		2.86	2.08

\*:ohne Spurrinnen

### 7.5.3. Spartenindizes

Solche Indizes haben in der Schweiz noch keine Erfahrungsbasis und eine allfällige Anwendung müsste vorerst in einem experimentellen Umfeld erfolgen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird deshalb bewusst auf Empfehlungen für Spartenindizes verzichtet. Ihre Einführung könnte überdies auch noch andere Parameter mit einschliessen (z.B. Verkehr, strukturelle Kennzahl) deren Datenverfügbarkeit erst noch gelöst werden muss.

Ein weiterer Grund für den vorläufigen Verzicht auf die konkrete Ausarbeitung von Spartenindizes ist das Fehlen einer allgemein eingeführten Praxis der Zustandserfassung. Wohl legt die Norm über Zustandserfassung und Bewertung von Strassen samt ihren Beilagen (Schadenkatalog und Richtlinie für die visuelle Zustandserfassung) die Grundlagen dar, mit welchen landesweit eine einheitliche Praxis sichergestellt werden könnte. Der Ist-Zustand widerspiegelt aber ein ganz anderes Bild mit

- einer selektiven und eher restriktiven Auswahl der im Rahmen von netzweiten Erfassungen systematisch aufzunehmenden Werte,
- relativ grossen Streuungen bei der visuellen Aufnahme, insbesondere bei den Kantonsstrassen,
- gewisse "individuelle" Abweichungen vom normgemässen Vorgehen, vor allem auf Gemeindeebene,
- und schliesslich einer allgemein extremen Zurückhaltung bei der systematischen Messung der Griffigkeitsverhältnisse.

Bei der Betrachtung gewisser Vorgaben, wie z.B. den in Deutschland (siehe Abbildung 2) und in Österreich angewendeten Methoden – und diese können durchaus auch die Grundlage für die Wahl einer Methode in der Schweiz darstellen – sieht man recht schnell, dass der Teilindex Verkehrssicherheit ein wesentliches Element solcher Spartenindizes darstellt, wenn nicht gar die erste Priorität bei der Bildung von Spartenindizes beansprucht. Ein solcher Index steht und fällt mit zuverlässigen Daten und es ist kaum vorstellbar, dass zuverlässige Werte nur aufgrund des visuell kaum richtig einschätzbaren Polierens und der schwitzenden Beläge und ohne Berücksichtigung der Griffigkeit ermittelt werden können.

## 8. SCHWELLENWERTE

Das Pflichtenheft der Forschungsarbeit verlangt unter anderem für die vorgeschlagenen Indizes auch die Angabe von entsprechenden Schwellen- oder Grenzwerten (gemäss Wortlaut des Pflichtenheftes: ... *seuils d'alarme, de confort et de viabilité*... . Dies ist denn auch eine der Hauptanwendungen von Zustandsindizes, wie dies bereits in Abschnitt 3.2.2 dieses Berichtes dargelegt worden ist. Dort wurde erwähnt, dass Zustandsgrössen zur Definition von Qualitätsanforderungen für den Neubau und von "Grenzwerten" verwendet werden können. Für die Bezeichnung der verschiedenen Zwischenstufen auf einer Indexskala gibt es, wie dies aus dem vorangehenden hervorgeht, verschiedene Bezeichnungen (Schwellenwerte, Eingreifwerte, Grenzwerte, usw.) die zum Teil verwirrend sein können. Es wird deshalb vorgeschlagen in einem ersten Schritt zunächst eine klare Definition der Begriffe festzulegen und erst danach zur Ausarbeitung konkreter Vorschläge vorzugehen.

Ebenso gilt es sich mit der Frage auseinander zusetzen, wie verschiedene Schwellenwerte in Relation zum Erhaltungsbedarf und zur Wahl von Massnahmen stehen. Hier gilt es insbesondere auch zu berücksichtigen, dass je nach Massnahme der geeignete, technisch sinnvolle Zeitpunkt für die Anwendung von einem unterschiedlichen Schadenbild und entsprechend unterschiedlichen Indexwerten gekennzeichnet sein wird.

### 8.1. Definitionen

Wie in Abschnitt 2.2.2 diese Berichtes dargelegt wurde, werden in der Bundesrepublik Deutschland drei verschiedene Begriffe verwendet:

- Zielwert, entspricht dem Abnahmewert, und liegt um 0.5 Punkte vom bestmöglichen Wert entfernt
- Warnwert, entspricht dem Zeitpunkt einer eingehender Untersuchung und Planung der Massnahmen; der Warnwert liegt um 2.5 Punkte vom bestmöglichen Wert entfernt
- Grenzwert, entspricht dem Zeitpunkt bei welchem bauliche oder verkehrsbeschränkende Massnahmen geprüft werden müssen. Der Grenzwert liegt um 3.5 Punkte vom bestmöglichen Wert entfernt und nur 0.5 Punkte von schlechtesten Zustand auf der Werteskala.

Im Rahmen der Studien des EU-Forschungsprojektes PAV-ECO wurde eine andere, differenziertere Verwendung von Begriffen vorgeschlagen (siehe auch Abbildung 5)

- die Befahrbarkeitsgrenze (*serviceability*); diese Grenze gibt an, ab welchem Zustandwert die Strasse den Verkehr der entsprechenden Strassenklasse nicht mehr tragen kann, womit indirekt ausgedrückt wird, dass die Befahrbarkeitsgrenzen von der Strassenklasse abhängig sind,
- die Warngrenze (*alert*); diese Grenze gibt an, ab welchem Wert die nahende Eingreifgrenze signalisiert werden soll, damit eine eingehendere Beobachtung beziehungsweise die Planung einer Massnahme eingeleitet werden kann,

- die Wahrnehmungsgrenze (user's sensitivity); diese Grenze gibt an, ab welchem Zustandwert die Verkehrsteilnehmer bei normaler Fahrweise die Auswirkung von Schäden empfinden (wahrnehmen) können,
- die Eingreifgrenze (intervention); diese Grenze gibt an, ab welchem Wert und je nach Erhaltungskonzept, eine Massnahme tatsächlich ausgelöst wird.

Die zur Erläuterung der Begriffe verwendete Abbildung 5 zeigt überdies auf, dass einerseits die Wahrnehmungsgrenze und die Befahrbarkeitsgrenze als "fest" betrachtet werden können, während hingegen die Warngrenze und die Eingreifgrenze vom Erhaltungskonzept (präventives Erhaltungsmassnahmen oder Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen) abhängig sind und deshalb "variable" Grössen darstellen.

## 8.2. Bestehende Grundlagen und Normvorgaben

Mit Hinblick auf die Qualitätsanforderungen beim Neubau, aber auch um den Zustand von Strassen unter Betrieb zu kontrollieren, sind in verschiedenen Normen Angaben von Werten betreffend mehrerer Oberflächeneigenschaften zu finden

### 8.2.1. Ebenheit in Längsrichtung

Die Norm SN 640 521b legt die Abnahmewerte für die Längsebenheit von Strassen fest; diese Abnahmewerte sind vom Strassentyp abhängig und betreffen sowohl streckenbezogene Werte, die Standardabweichung des Winkelwertes  $s_w$ , als auch punktuelle Werte wie den Winkel  $W$ . Es gelten:

**Tabelle 12:** Abnahmewerte für die Längsebenheit

Strassentyp	Hochleistungsstrassen/Flugpisten	übrige Strassen
$s_w$ (o/oo)	1.6	2.2
$W$ (o/oo)	10	14
$T$ (mm)	4	6

Auf der jetzigen Werteskala von 5 bis 0 für den Index  $I_2$  entspricht der Abnahmewert für Hochleistungsstrassen von 1.6 o/oo einem Indexwert  $I_2$  von 4. Der Abnahmewert für die übrigen Strassen ( $s_w = 2.2$  o/oo) entspricht einem Indexwert  $I_2$  von 3.58.

### 8.2.2. Ebenheit in Querrichtung

Die Norm SN 640 521b legt ebenfalls die Abnahmewerte für die Querebenheit von Strassen fest (siehe obenstehende Tabelle) und zwar mittels Limitierung der zulässigen Abweichung (Muldentiefe) unter einer 4-m-Latte. Werte in der Grössenordnung der festgelegten Werte, d.h. 4 bzw. 6 mm, betreffen im Anwendungszeitpunkt der Abnahmekontrolle in erster Linie die Ausführungsregelmässigkeit des Belages in

Querrichtung und stellen meist noch keine eigentliche Spurrinne (als Folge einer plastischen Verformung) dar. Der Übergang von der Unregelmässigkeit des Querprofils zur eigentlichen Spurrinne ist allerdings fließend und lässt sich nicht präzise festhalten.

Auf der jetzigen Werteskala von 5 bis 0 für den Index der Querebenheit I2 entspricht der Abnahmewert für Hochleistungsstrassen von 4 mm einem Indexwert I3 von 4. Der Abnahmewert für die übrigen Strassen ( $T = 6$  mm) entspricht einem Indexwert I3 von 3.50.

Neben den Abnahmewerten für die Querebenheit, ausgedrückt mit der Muldentiefe  $T$ , gilt es noch die Richtwerte für die theoretische Wassertiefe " $t$ " zu berücksichtigen, welche in der Norm SN 640 925a erwähnt werden und zur Überprüfung der Verkehrssicherheit dienen. Für Autobahnen und Strassen mit einer Höchstgeschwindigkeit von  $> 80$  km/h gilt ein Richtwert  $t_{\max}$  von 4 mm, für die übrigen Strassen ein Richtwert  $t_{\max}$  von 8 mm.

### 8.2.3. Griffigkeit

Die Bewertung der Griffigkeit erfolgt auf der Grundlage der Norm SN 640 511b, in welcher "Richtwerte" für verschiedene Messgrößen angegeben sind. Diese Messgrößen betreffen:

- die Mikrotextur des Belages, welche mit dem SRT-Pendel erfasst wird,
- die Makrotextur des Belages, welche mit dem Ausflussmesser erfasst wird,
- den dynamischen Reibungsbeiwert auf nasser Fahrbahn, welcher mit dem Skiddometer gemessen wird.

Von den genannten Messgrößen wird nur der dynamische Reibungsbeiwert mit einem Indexwert gekoppelt (Index der Griffigkeit I4). Diese Messgrösse ist auch die einzige, welche dazu geeignet ist, grössere Streckenabschnitte betreffend Griffigkeitsniveau zu charakterisieren, währenddem die übrigen Messgrößen nur für punktuelle Anwendungen geeignet sind. Es sei hier allerdings auch darauf hingewiesen, dass die direkte Messung der Makrotextur, z.B. mittels Laser, und ihre Kennzeichnung mit einer mittleren Texturtiefe, welche in der Schweiz nicht normiert ist, ebenfalls für Streckenmessungen geeignet wäre.

Die Anwendung der in der Norm genannten Richtwerte ist von der signalisierten Höchstgeschwindigkeit der betrachteten Strassen abhängig, wobei

- beim Pendelwert (Mikrotextur) für alle Strassen die gleiche Anforderung gilt (SRT-Wert = 65)
- die Ausflussmesszeit (als Ausdruck der Makrotextur) von der Höchstgeschwindigkeit abhängig ist; für höhere zulässige Geschwindigkeiten wird eine grössere Texturtiefe verlangt,
- für den Skiddometer die Messung je nach Strecke mit unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten erfolgt, wobei entsprechend abgestufte Richtwerte gelten.

Die Richtwerte der Skiddometermessung entsprechen auf der jetzigen Werteskala von 5 bis 0 für den Index der Griffigkeit I4 einem Indexwert I4 von 1.0. Die Zuordnung der Richtwerte der Griffigkeit eher im Bereich von "Endwerten" als im Bereich von

Anforderungswerten (mit einem Indexwert von 4.0) ist durch die Tatsache begründet, dass die genannten Griffigkeitswerte einer Minimalforderung entsprechen. Ihren Ursprung haben diese Werte aus Forschungsarbeiten des ehemaligen Institutes für Strassenbau der ETH Zürich [27] bei welchen eine Häufigkeitsverteilung der Skiddometer-Messwerte für ca. 220 verschiedene Beläge vorgenommen wurde. die jetzigen Richtwerte entsprechen der 80%-Linie für die Messungen mit dem blockierten Messrad, d.h. 20 % aller gemessenen Werte waren tiefer als die Richtwerte.

#### **8.2.4. Grundlagen der Tragfähigkeitsbewertung**

Eigentliche Normvorgaben für die Bewertung der Tragfähigkeit sind nicht vorhanden. Im folgenden werden die Grundsätze für die Einführung der Bewertung der Tragfähigkeit wiedergegeben, wie sie in einem früheren Bericht [11] erstmalig vorgestellt wurden.

*Grundlage für eine neue Regelung der Tragfähigkeitsbewertung bleibt nach wie vor die Norm Oberbauverstärkung (neu seit 1993: SN 640 733a). Entsprechend der eingegangenen Wünsche sollte auch die Tragfähigkeit wie die übrigen Merkmale mit derselben Notenskala von 5 bis 0 bewertet werden. Dazu wird neu ein Index I5 für die Tragfähigkeit eingeführt und die massgebende Deflektion nach SN 640 733a als Eingangsgrösse definiert. Im Unterschied etwa zur Ebenheit im Längs- und Querprofil, für welche eine einzige Umwandlungskurve vom erhobenen Messwert in den Indexwert besteht, müssen im vorliegenden Fall mehrere Umwandlungskurven hergeleitet werden, da die "zulässigen" Deflektionswerte vom der Verkehrsbelastung abhängig sind. Zur Vereinfachung wird vorgeschlagen dieselben Verkehrslastklassen wie bei den Normen über die Dimensionierung (SN 640 324) und Oberbauverstärkung zu wählen. Es gibt also insgesamt 5 Kurven.*

*Als Kriterien für die Zuordnung von Deflektionswerten zu einem bestimmten Wert der Notenskala wurden die folgenden Bedingungen gewählt:*

- für Note 4: entsprechend der zulässigen Deflektion bei 20 Jahren*
- für Note 3: entsprechend der zulässigen Deflektion bei 10 Jahren*
- für Note 2: entsprechend einem einschichtigen Überzug 40 mm bei 10 Jahren*
- für Note 1: entsprechend einer Verstärkung von 80 mm bei 10 Jahren*
- Die Werte für das Notenmaximum (5.0) und das Notenminimum (0.0) wurden auf der Graphik (siehe Abb. 5) extrapoliert.*

### **8.3. Frühere Grundlagen**

#### **8.3.1. Dimensionierungsnormen**

Die Ergebnisse au dem AASHTO-Strassentest stellen immer noch die wissenschaftliche Grundlage der heutigen Dimensionierungsnormen der VSS. Anlässlich von deren erstmaligen Herausgabe auf dieser Grundlage wurden die Bemessungsdiagramme unter der

Voraussetzung berechnet, dass für Strassen mit einem TF von 1000 und mehr Normachlasten, die Endbefahrbarkeit einem Befahrbarkeitswert von 2.5 entsprechen sollte, für Strassen mit einem TF < 1000 Normachlasten einem Befahrbarkeitswert von 2.0. Ähnliche Kriterien werden auch für die Dimensionierung von Forststrassen angewendet, wobei hier die Endbefahrbarkeit auf 1.5 festgelegt wird [26].

Geht man davon aus, dass in der Formel des Befahrbarkeitswertes die Längsebenheit die ausschlaggebende Rolle spielt und rechnet die entsprechenden Befahrbarkeitswerte von 2.5, 2.0 und 1.5 in  $s_w$ -Werte, bzw. in Indexwerte I2 um, so ergibt sich folgendes Ergebnis:

**Tabelle 13:** Endbefahrbarkeitswerte für verschiedene Strassenkategorien

Strassentyp	Befahrbarkeitswert	$s_w$ -Wert	Index I2
TF $\geq$ 1000	2.5	5.5	1.33
TF < 1000	2.0	7.5	0.25
Forststrassen	1.5	10	0

### 8.3.2. SN 640 925 Zustandserfassung und Bewertung von Strassen (Originalfassung)

Die erste Fassung der Norm über die Zustandserfassung und Bewertung von Strassen erhielt auch Vorschläge für eine qualifizierende Bewertung des Zustandes mit folgenden Bezeichnungen:

**Tabelle 14:** Bezeichnung von Qualitätsstufen

Indexwert	Qualitätsbezeichnung
5 bis 4	gut
4 bis 3	mittel
3 bis 2	ausreichend
2 bis 1	kritisch
< 1	schlecht

Zur Berücksichtigung der Tatsache, dass eine qualifizierende Bewertung je nach Strassenklasse unterschiedlich sein könnte, wurden gleichzeitig auch unterschiedliche Umwandlungsfunktionen der Messgrössen für die Längs- und die Querebenheit in Abhängigkeit der Ausbaugeschwindigkeit  $v_A$  eingeführt, was u.a. auch den damaligen Abnahme- und Grenzwerten der genannten Messgrössen zutraf.

Dieses trotz einer gewissen Abstufung bei der Längs- und Querebenheit relativ starre Bewertungsschema wurde aber bei der Revision fallen gelassen unter der Annahme, dass es in der Entscheidung der jeweiligen Strassenverwaltung liegen würde, die Interventionsgrenzen und den mittleren Strassenzustand (niveau de service) einzelner Strassenkategorien festzulegen.

### 8.3.3. Ebenheitsnormen SN 640 521 (Originalfassung)

Im Unterschied zur heutigen Fassung SN 640 521b, welche nur Abnahmewerte für die Längs- und die Querebenheit festlegt, enthielt die frühere Normversion SN 640 521a auch Grenzwerte für die genannten Parameter. Diese fielen bei der Revision aus der Norm heraus unter der Annahme, dass die Grenzwerte eher in der Normengruppe des Erhaltungsmanagements anzusiedeln wären. Tatsächlich sind beispielsweise die früheren Grenzwerte für die Längsebenheit,  $s_w = 5, 5$ , bzw.  $6.0$  o/oo für Strassen mit einer Ausbaugeschwindigkeit von  $\geq 80$  km/h. bzw.  $< 80$  km/h einem Indexwert I2 von 1.0 bei der Norm SN 640 925 zugeordnet worden ( $s_w 6.0$  für I2 = 1.0 bei der revidierten Norm SN 640 925a).

Als Grenzwerte für die Querebenheit legte die frühere Norm keine Grenzwerte für die Muldentiefe T fest, hingegen für die theoretische Wassertiefe t. Letztere sind im Textteil der Norm SN 640 925 a in etwas abgeschwächter Formulierung (die Bezeichnung "Grenzwerte" entfällt) übernommen worden.

## 8.4. Vorschläge für Schwellenwerte

### 8.4.1. Schwellenwerte wofür?

Es dürfte sicher unbestritten sein, dass einerseits *Abnahmewerte* und andererseits "*Grenzwerte*" festgelegt werden sollten, wobei bei letzteren davon ausgegangen wird, dass der Begriff "Grenzwerte" eine Zustand beschreibt, den man nicht überschreiten sollte, was aber bei ungenügenden Mitteln für den Unterhalt dennoch vorkommen kann. Die Wahl des Begriffes "Grenzwert" lehnt sich an die entsprechende Begriffswahl in Deutschland an.

Damit wären zunächst einmal Fixpunkte im Bereich der beiden Extremwerte der Skala festgelegt. Die Frage stellt sich dann an welchen Stellen im Zwischenbereich weitere Fixpunkte (Schwellenwerte) anzubringen sind und mit welcher Zweckbestimmung. Diese Fragestellung ist schematisch in der folgenden Abbildung 10 dargestellt.

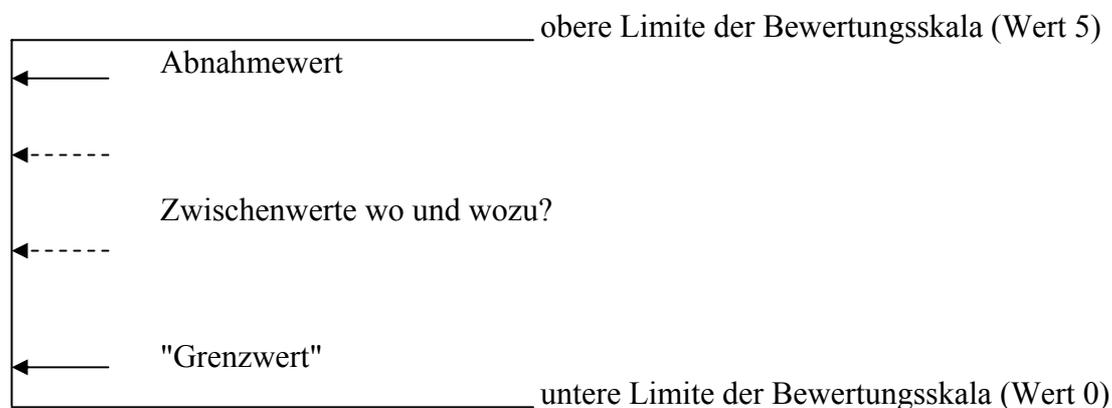


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Anordnung von Schwellenwerten

Eine erste Option für die Anordnung von Schwellenwerten liegt beim Zeitpunkt, bzw. beim Schadenzustand, bei dem im Rahmen einer präventiven Erhaltungsstrategie erste Massnahmen vorgesehen werden könnten. Dieser Schwelle könnte die Begriffe "**Präventionswert**" oder "**erste Eingreifgrenze**" zugeordnet werden.

Der Wertebereich zwischen dem Präventionswert und dem Grenzwert kann relativ gross sein und bietet Raum für das Einfügen eines weiteren Zwischenpunktes. Die Vielfalt verschiedener möglicher Massnahmen mit entsprechend unterschiedlichen "optimalen" Anwendungsbereichen lässt es allerdings kaum als machbar erscheinen Schwellenwerte bezeichnen zu wollen, die einen direkten Bezug zur Auslösung einer Massnahme haben. Auch kann die Optimierung der Massnahmenplanung mit einem PMS-Programm auch nicht mit fixen Eingreifgrenzen erreicht werden. Die effiziente Verwendung der verfügbaren Mittel verlangt nach einer gewissen Bewegungsfreiheit bzw. einem gewissen Spielraum.

Als weitere Alternative zur Bezeichnung eines Schwellenwertes bietet sich die dem Erreichen des Grenzwertes vorgelagerte Phase. Die Bezeichnung oder Festlegung eines **Warnwertes** vor dem Grenzwert erlaubt es auch in einem einfacheren Umfeld ohne Anwendung eines eigentlichen Managementsystems diejenigen Abschnitte erkennen zu können, die demnächst den Grenzwert erreichen und dementsprechend intensiver beobachtet werden müssten oder aber für die mit der eigentlichen Planung einer Erhaltungsmassnahme angefangen werden kann. Dabei stellt das Überschreiten des Warnwertes an sich noch keine Entscheidung über die Durchführung einer Massnahme, welche noch von weiteren Kriterien (PMS-Analyse-Ergebnisse, Dringlichkeitsreihung, usw.) abhängig ist.

#### **8.4.2. Schwellenwerte: Vorschläge für Einzelindizes**

Die folgende Tabelle enthält Vorschläge für die verschiedenen in diesem Bericht vorgeschlagenen Zustandsparameter oder –Indizes. Dabei werden fallweise zwei Werte angegeben, bei denen der erste für Hochleistungsstrassen gilt und der zweite für die übrigen Strassen. Ist nur ein Wert angegeben, so gilt er für alle Strassen.

Für die **Abnahmewerte** werden teilweise die Werte aus bestehenden Normen übernommen (gilt beispielsweise für die Ebenheit in Längs- und in Querrichtung, Indizes I2 und I3), oder es wird vorausgesetzt, dass eine mangelfreie Oberfläche besteht (z.B. im Falle von Schadengruppen der Oberflächenschäden). Bei den gegebenen Randbedingungen werden für die Tragfähigkeit (abhängig von der Dimensionierung und vom Untergrund) und bei der Griffbarkeit (abhängig von der gewählten Belagsart) werden keine spezifischen Abnahmewerte genannt.

Für die **Präventionswerte** könnte bei den verschiedenen Hauptgruppen von Oberflächenschäden der entsprechende Zustand so quantifiziert werden, dass durchgehend leichte bis mittlere Schäden vorhanden sind, entsprechend einem Matrixwert von min. 4. Umgewandelt in einen Indexwert nach dem Vorschlag gemäss Abbildung 9 entspricht dies

einem Indexwert von 2.8. Auch bei dieser Schwelle wird in Bezug auf die Griffigkeit und auf die Tragfähigkeit auf die Nennung von entsprechenden Werten verzichtet. für die Längsebenheit wird eine Präventionsgrenze bei 8 mm vorgeschlagen (Indexwert 3.0). Für die Längsebenheit wird in Ermangelung eigentlicher Präventivmassnahmen und eines entsprechenden Bedarfes auf den Vorschlag eines Präventionswertes verzichtet.

Für den **Warnwert** wird vorgeschlagen, diesen jeweils 1 Wertpunkt über dem Grenzwert anzusetzen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die dazwischenliegende Zeitperiode auch in diesem Bereich von beschleunigter Schadensentwicklung gegenüber einem guten Fahrbahnzustand im Minimum 5 Jahre beträgt.

Die **Grenzwerte** für die Schadengruppen der Oberflächenschäden werden bei Hochleistungsstrassen entsprechen einem Matrixwert von 6 festgelegt (durchgehend mittlere Schäden) entsprechend einem Indexwert von 1.5, für die übrigen Strassen bei einem (aggregierten) Matrixwert von 7.5, entsprechend einem Indexwert von 0.8. Für die Parameter der Längsebenheit und der Griffigkeit werden Grenzwerte entsprechend den bekannten (Griffigkeit) oder ehemaligen (Längsebenheit) Normwerten vorgeschlagen, wobei für Hochleistungsstrassen der Grenzwert jeweils ein halber Punkt herauf verschoben wurde. für die Querebenheit liegen die Grenzwerte je nach Strassenkategorie bei 20, bzw. 25 mm (Index I2 von 1.0, bzw. 1.5). Bei der Tragfähigkeit wurde der Grenzwert entsprechend dem Bedarf einer strukturellen Verstärkung (min. 80 mm) bei einer Dimensionierungsperiode von 10 Jahren vorgeschlagen.

**Tabelle 15:** Vorschläge für die Schwellenwerte

Parameter	Abnahme- Wert	Präventions -Wert	Warnwert	Grenzwert
Hauptgr. Oberflächenglätte A	5.0	2.8	2.0	1.5/0.8
Hauptgruppe Belagschäden A	5.0	2.8	2.0	1.5/0.8
Hauptgruppe strukt. Schäden A	5.0	2.8	2.0	1.5/0.8
Hauptgr. Belagsverformungen A*	5.0	2.8	2.0	1.5/0.8
Hauptgruppe Flicke A	5.0	2.8	2.0	1.5/0.8
Index I2 Längsebenheit	4.0	-	2.5/2.0	1.5/1.0
Index I3 Spurrinnen	4.0	3.0	2.5/2.0	1.5/1.0
Index I4 Griffigkeit	-	-	2.5/2.0	1.5/1.0
Index I5 Tragfähigkeit	-	-	2.5/2.0	1.5/1.0

\*:ohne Spurrinnen

#### 8.4.3. Schwellenwerte für zusammengesetzte Indizes?

Im Rahmen des vorstehend geschilderten Konzeptes für die Definition und die Festlegung von Schwellenwerten wurden die vorgeschlagenen Zwischenstufen jeweils an ganz konkrete Anwendungen gekoppelt. Bei der Prüfung der Möglichkeiten der Zuordnung von Schwellenwerten auch bei den zusammengesetzten Indizes könnte an sich zunächst überprüft werden, ob die erwähnten Anwendungsbereiche auch für zusammengesetzte

Indizes zutreffend sind. "Könnte", denn allein schon die Berücksichtigung der in Kapitel 3 geschilderten spezifischen Anwendungsbereiche von Einzelindizes einerseits und von zusammengesetzten Indizes andererseits lässt mögliche Konflikte oder Unstimmigkeiten voraussehen. Wenn man aber die Möglichkeit der Verwendung derselben Schwellenwerte nicht grundsätzlich ausschliessen will, so muss vorerst überprüft werden, ob die erwähnten Anwendungsbereiche auch für zusammengesetzte Indizes in Frage kommen können.

- Betrachtungsfall "Abnahmewerte": für keinen der vorgeschlagenen zusammengesetzten Indizes sind in Normen Abnahmewerte vorgesehen. Letztere beziehen sich vielmehr auf die Werte von Einzelindizes.
- Betrachtungsfall "Präventionswerte": bei den Vorschlägen für die Präventionswerte geht es in erster Linie um das Erkennen eines Mangels und dessen Ursache, anschliessend dann um die Wahl einer geeigneten Präventivmassnahme. Diese Analyseschritte gehören zu den primären Verwendungszwecken von Einzelindizes und sind auf der Grundlage von zusammengesetzten Indizes nicht durchführbar.
- Betrachtungsfall "Warnwerte": unter den verschiedenen vorgeschlagenen Schwellenwerten ist dieser an sich der am wenigsten präzise formulierte, dennoch betrifft er jeweils einen bestimmten Index, also auch eine bestimmte Ursache und eine bestimmte Massnahme. Auch hier könnte also ein zusammengesetzter Index nur eine recht vage Einsatzmöglichkeit und eine sehr beschränkte Bedeutung haben.
- Betrachtungsfall "Grenzwerte": diese Werte haben teilweise einen sehr direkten Bezug zu sicherheitsrelevanten Messgrössen (Grifffigkeit, Spurrinntiefen), teilweise stellen sie eher eine "Zumutbarkeitsgrenze" dar, die aus dem allgemeinen nationalen Umfeld heraus plausibel wirkt (beispielsweise entspricht die 0-Note auf unserer Bewertungsskala für die Längsebenheit einem noch relativ gutem Wert auf der nach oben offenen Skala des IRI-Wertes, welcher ursprünglich speziell für die Verwendung in Entwicklungsländer entwickelt wurde). Zusammengesetzte Indizes haben keinen direkten Bezug zu den sicherheitsrelevanten Grössen, können allenfalls bezüglich der "Zumutbarkeitsgrenze", hier eher als Ausdruck des Fahrkomforts oder der strukturellen Integrität in Frage kommen. Zu letzterem sei allerdings auch gesagt, dass die Unterscheidung zwischen Massgeblichkeit bezüglich Verkehrssicherheit, Fahrkomfort oder strukturellen Integrität kaum möglich ist.

Nachdem nunmehr feststeht, dass die Schwellenwerte für Einzelindizes für eine Anwendung bei den zusammengesetzten Indizes nicht geeignet sind, kann man sich der Frage zuwenden, welche Alternativlösung für zusammengesetzte Indizes (inklusive sogenannte "Gesamtindizes") überhaupt in Frage kommen können. Dabei hat man sich wieder daran zu erinnern, welches die Haupteinsatzfelder von zusammengesetzten Indizes sind:

- Ist-Vergleich von Strecken oder Netzen; das Ergebnis eines solchen Vergleichs kann als nicht ausschliessliches Kriterium die Festlegung von Prioritäten oder aber die Mittelverteilung beeinflussen. Dazu sind allerdings keine Schwellenwerte notwendig.
- Darstellung des zeitlichen Zustandsverlaufs von Strecken und Netzen. Die Analyse des zeitlichen Verlaufs eines mittleren Netzzustandes (Fieberkurve) zeigt an ob sich die Situation vom schlechteren zum besseren entwickelt oder umgekehrt, indirekt aber auch ob die bisher aufgewendeten, beziehungsweise für die nächsten Jahre

budgetierten Erhaltungsmittel genügend oder ungenügend sind. Auch hier lassen sich diese Fragen ohne direkten Bedarf von Schwellenwerten beantworten.

Es verbleibt schliesslich noch die Frage nach dem "Zumutbaren", dem "Anzustrebenden", dem "Idealen" mittleren Netzzustand, wie er beispielsweise durch einen der vorgeschlagenen zusammengesetzten Indizes dargestellt werden kann.

Die Antwort auf diese Fragen kann nicht das Ergebnis einer fachtechnischen Untersuchung sein. Es sind vielmehr einerseits die gegebene Ausgangslage (wie sieht das Netz heute aus) und andererseits politische und wirtschaftliche Überlegungen, welche die benötigten Antworten liefern müssen. Zu letzterem, den wirtschaftlichen Aspekten, kann ein PMS eine Antwort geben, die Politik hingegen ist bekanntlich nicht voraussehbar.

Die alleinige Festlegung bestimmter Qualitätsbereiche um beispielsweise übersichtliche Darstellungen der Zustandsverteilung wie gemäss Abbildung 6 zu produzieren, kann durch eine einfache Unterteilung der Werteskala erfolgen, wobei je nach Strassenklasse der "schlechte" Bereich nach oben oder unten angepasst werden kann. Die folgende Tabelle 16 enthält ein Beispiel für eine Qualitätsabstufung in Abhängigkeit der Strassenklasse.

**Tabelle 16:** Beispiele von Qualitätsabstufungen für zusammengesetzte Indizes in Funktion der Strassenklasse

Qualitätsstufe	Autobahnen	Hauptstrassen	Nebenstrassen
Gut	> 4.2	> 4.2	> 4.0
Mittel	3.3 - 4.2	3.3 - 4.2	3.0 - 4.0
Ausreichend	2.5 - 3.3	2.5 - 3.3	2.0 - 3.0
Kritisch	2.0 - 2.5	2.0 - 2.5	1.5 - 2.0
Schlecht	< 2.0	< 2.0	< 1.5

Die Zahlen von Tabelle 16 sind bewusst als "Beispiel" bezeichnet. Die "neuen" zusammengesetzten Indizes sind erst Vorschläge, die im Rahmen einer Normrevision noch korrigiert werden können. Die Festlegung von Abgrenzungen von Qualitätsstufen sollte erst dann erfolgen, wenn grössere Datenbestände mit den neuen Indizes für statistische Analysen zur Verfügung stehen, die zu einem "Bewertungshintergrund" führen können.

## **8.5. Berechnung der massgebenden Abschnittswerte (Datenaggregation)**

Entsprechend der Praxis der Bestimmung massgebender Werte für die Charakterisierung von PMS-Objekten (vereinfacht: PMS-Abschnitten), die mit einer bestimmten Datenaggregation verbunden ist, sind die oben genannten Schwellenwerte für aggregierte Daten anwendbar, insofern als nicht andere Normen für bestimmte Verwendungszwecke abweichende Vorschriften beinhalten (z.B. Verwendung von Auswertungslängen von 250 m für die Kontrolle der Längsebenheit bei der Abnahme neuer Beläge).

Das Thema Datenaggregation ist im Rahmen des Projektes PMS VS/NE ausführlich behandelt worden und Gegenstand einer Teilaufgabe gewesen [28]. Bezüglich der Zustandsdaten – seien es dies Grunddaten oder Indizes – wird die Bestimmung der massgebenden Werte für ein PMS-Objekt aufgrund der vorliegenden Ergebnisse für Teillängen von meistens 50 oder 100 m mittels einer Datenaggregation in Quer- und in Längsrichtung vorgenommen.

Liegen für ein Objekt bei gleicher Stationierung mehrere Werte über den Querschnitt zur Verfügung (z.B. Spurrinntiefe links und rechts) so wird der jeweils schlechtere Wert als massgebend betrachtet. Bei der Datenaggregation in Längsrichtung wird aus den vorhandenen 50- oder 100-m Werten innerhalb des PMS-Objektes (Abschnittes) zuerst der Mittelwert berechnet, davon dann die einfache Standardabweichung abgezogen (bei Indizes und einigen Messgrössen, z.B. Reibungsbeiwert) bzw. dazugerechnet (bei einigen Messgrössen, z.B. Spurrinntiefe).

Die vorgeschlagenen Lösungen für die Realisierung der Datenaggregation innerhalb von STRADA-DB und anderer assoziierter EDV-Anwendungen sehen eine eigentliche Datenaggregation nur auf der Ebene der Oberflächeneigenschaften, oder genauer der Zustandsindizes, vor. Die Aggregation erfolgt im Rahmen des Überganges vom "Fahrbahnsegment" zum "PMS-Objekt" und der Aufbereitung aller benötigten Daten für die PMS-Software VIAPMS.

Für alle übrigen Parameter verlangt die "STRADA-DB-Lösung" die totale Gleichmässigkeit (Homogenität) auf der Länge des Fahrbahnsegmentes (dieser Ansatz entspricht der Methodik der Wahl des kleinsten gemeinsamen Nenners).

Bei der Anwendung der Aggregationsregeln muss zuerst die Aggregation in Querrichtung und anschliessend die Aggregation in Längsrichtung erfolgen.

**Tabelle 17:** Regeln für die Datenaggregation bei Indexwerten

<b>Parameter</b>	<b>Aggr. in Querrichtung</b>	<b>Aggr. in Längsrichtung</b>	<b>zulässige Streuung</b>
Index I1	Minimalwert	Mittelwert - $\sigma$	$CV \leq 0.35$
Index I2	Minimalwert	Mittelwert - $\sigma$	$CV \leq 0.35$
Index I3	Minimalwert	Mittelwert - $\sigma$	$CV \leq 0.35$
Index I4	Minimalwert	Mittelwert - $\sigma$	$CV \leq 0.35$
Index I5	Minimalwert	Mittelwert*	$CV \leq 0.35$

\*: unter der Voraussetzung, dass die Grundwerte (massgebende Deflektion) gemäss SN 640 733b berechnet worden sind.

## 9. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Bei der Festlegung der Anforderungen an die vorliegende Forschungsarbeit wurde eine Unterstützung des Prozesses der Schadenanalyse und der Wahl der Erhaltungsmassnahme als das Hauptziel der Arbeit definiert. Diese Absicht kommt ganz klar im französischen Originaltitel "Diagnostic de l'état des chaussées" zum Ausdruck. Gemäss Vorstellungen der ausschreibenden Kommission sollte dazu auf Einzelindizes und auf zusammengesetzte Indizes zurückgegriffen werden können und dazu hätten noch vorzuschlagende Schwellenwerte das Erreichen des erwähnten Hauptzieles weiter erleichtern sollen.

Wenn auch aus der Sicht der Forschungsstellen das Ziel der gestellten Aufgabe erreicht worden ist, weicht das Ergebnis von der aus dem Pflichtenheft ersichtlichen dreistufigen "Indexfamilie" mit Einzelindizes, zusammengesetzten Indizes und Gesamtindizes ab, vor allem wenn dazu noch berücksichtigt wird, dass für jede Stufe auch die entsprechenden Schwellenwerte erwünscht waren.

Dieses Ergebnis kommt nicht von ungefähr, sondern ist die logische Folge der in der Anfangsphase der Bearbeitung des Forschungsprojektes durchgeführten Analyse des Bedarfes an Zustandsindizes und von deren Verwendung. Diese Analyse, welche als eine der Schlüsselstellen der Arbeit betrachtet wird hat ganz klar gezeigt, dass je nach Anwendungszweck unterschiedliche Indizes gefragt sind. Auf der Projektebene, dort wo eben im Sinne der Aufgabenstellung 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.

In beiden Fällen, bei den Einzelindizes und bei den zusammengesetzten Indizes, liegen die gleichen Rohdaten aus der Zustandserfassung zu Grunde. Diese Feststellung der Vielfalt der weiteren Verwendbarkeit von Zustandsdaten bedeutet gleichzeitig auch, dass der Kontrolle der Qualität der Daten die angemessene Aufmerksamkeit und Sorgfalt zugewiesen werden muss. Vielfältige Verwendungsmöglichkeiten bedeutet auch das potentielle Auftreten von Fehlern an mehreren Orten, wenn die Grunddaten mangelhaft sind.

In der relativ jungen Normengruppe des Managements der Strassenerhaltung, einem Bereich welches bei den involvierten Strassenverwaltungen z.T. einen grossen materiellen und personellen Aufwand ausgelöst hat, sind einschneidende Änderung nach Möglichkeit zu vermeiden, vor allem wenn dies eine Thematik betrifft, die bereits einmal Gegenstand von Normrevisionen und Ergänzungen war. Im Rahmen der Ausarbeitung von Vorschlägen für Einzelindices und zusammengesetzte Indizes ist es gelungen, praktikable Vorschläge zu präsentieren, welche sich zu grossen Teilen am Bestehenden anlehnen und bei den unvermeidlichen Änderungen – hier im Sinne der Korrektur und des Fortschritts – keine gravierende Folgen für den Anwender in Bezug auf die weitere Verwendbarkeit der bisher erhobenen Rohdaten verursachen. Dies unter der Voraussetzung, dass bei der

Umsetzung der Vorschläge anlässlich einer Normrevision keine neuen Aspekte und Einflüsse die Einhaltung der bisher verfolgten Grundsätze behindern.

In Bezug auf die Festlegung der Einzelindizes werden die Vorschläge aus dieser Forschungsarbeit die Verfeinerung der bisherigen PMS-Lösungs- und Modellierungsansätze ermöglichen, was zu zuverlässigeren Entscheidungshilfsmitteln führen wird.

Bei den zusammengesetzten Indizes wird für praktisch jedes Szenario eines Zustandserfassungskonzeptes mindestens eine Variante verfügbar sein. In diesem Sinne bleibt auch der bisherige Index I1 im wesentlichen erhalten, mit gewissen Änderungen im Berechnungsmodus, nicht aber bei den berücksichtigten Teileinflüssen. Dieser Index ist jetzt aber, als deklariertes zusammengesetztes Index von den übrigen bisherigen Indizes etwas abgesetzt.

Die vorgeschlagenen Schwellenwerte gehen von einer nachvollziehbaren Definition der einzelnen Schwellen aus und orientieren sich mehrheitlich, und insofern die entsprechenden Voraussetzungen gegeben sind, an die bestehenden Normanforderungen und Richtwerte. Die Verzicht auf eine Zuordnung von Schwellenwerten für zusammengesetzte Indizes ist im Bericht begründet.

Im Rahmen der Ausarbeitung von Vorschlägen für zusammengesetzte Indizes – die vorgestellten Varianten können allesamt auch als "Gesamtindex" betrachtet werden – wurde auch die Option oder Variante der "Spartenindizes" evaluiert, welche die aus einem besonderen Sichtwinkel (z.B. Verkehrssicherheit, Fahrkomfort, Bestand/Integrität des Oberbaus) relevanten Einzelindizes zusammenfasst. Beispiele solcher Vorgehensweisen sind in der deutschen und der österreichischen Methode für die Bildung eines Gesamtindex nachzusehen. Der wichtigste "Spartenindex" ist zweifellos derjenige, welcher die Verkehrssicherheit anspricht und die systematische Messung der Griffigkeit erfordert. In der Schweiz hat die Praxis der letzten Jahre gezeigt, dass in dieser Beziehung alles andere als Eile im Vordergrund steht. Unter diesen Umständen ist die Einführung von Spartenindizes zumindest als verfrüht zu bezeichnen auch wenn diese Aussage keineswegs als ein Plädoyer für die weitere Vernachlässigung der Griffigkeitsmessungen verstanden sein will.

<p>Die beteiligten Forschungsstellen möchten sich bei dieser Gelegenheit beim Präsidenten und bei den Mitgliedern der VSS Expertenkommission 7.05 für die gute Begleitung der Forschungsarbeit und für ihre konstruktive Kritik bedanken.</p>
---

## 10. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] R. Deighton, J. Sztraka, Pavement Condition, dTV Technical Guide (Volume 3), Deighton Associates, Bowmanville, Ont., 1995.
- [2] S. Knepper, P. Sulten, Auf dem Wege zu einer systematischen Strassenerhaltung, Deutscher Strassen- und Verkehrskongress Düsseldorf 1996, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1997.
- [3] Watanatada T., Harral C.G., Paterson W.D.O., Dhareshwar A.M., Bhandari A., Tsunokawa K., The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 1, Description of the HDM-III Model, The Highway Design and Maintenance Series, World Bank, John Hopkins University Press, Baltimore, 1987
- [4] M. W. Sayers, T. D. Gillespie, W. D. Paterson, Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements, World Bank Technical Paper Number 46, Washington, D.C., 1986.
- [5] M. W. Sayers, T. D. Gillespie, C.A.V. Queiroz, The International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements, World Bank Technical Paper Number 45, Washington, D.C., 1986.
- [6] AIPCR, Report of the Committee C1 Surface Characteristics, AIPCR, Montreal, 1995.
- [7] A. Gulyas, Surface Distress Assessment, Routes/Roads Nr. 309, 1999.
- [8] SN 640 730b, Erhaltung von Fahrbahnen – Kopfnorm; Massnahmenkonzept, VSS, Zürich.
- [9] M. Blumer, E. Stahel, Management der Strassenerhaltung (MSE) Entwicklung Massnahmen-, Strategie- und Kostenmodell, Forschungsbericht Nr. 357, Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bern, 1996.
- [10] L.J.E. Heleven, Rational maintenance Planning in Flanders (Belgium), Proceedings, Fourth International Conference on Managing Pavements, Durban, 1998.
- [11] I. Scazziga, Erhaltungsbilanz in der Anwendung der Norm SN 640 925 – Ausarbeitung der Grundlagen für eine Anpassung der Gewichtungen und der Bewertungsskala, Forschungsbericht Nr. 392, Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bern, 1997.
- [12] H. Grob, B. Fetz, Abriebmessungen auf Betonstrassen, Berichte, 2. Europäisches Symposium über Betonstrassen, Bern, 1973.
- [13] SN 640 521b, Ebenheit, Anforderungen, VSS, Zürich
- [14] SN 640 511b, Griffigkeit, Anforderungen, VSS, Zurich
- [15] FGSV: Arbeitspapiere zur “Systematik der Strassenerhaltung”, 1990.
- [16] J. Litzka: Einsatz von modernen Geräten zur Zustandserfassung, Mitteilungen des Instituts für Strassenbau und Strassenerhaltung, Heft 7, TU Wien, 1996.
- [17] The AASHO Road Test, Report 1-7, Highway Research Board, Special Report 61 A - 61 G, Washington, D.C., 1962.
- [18] SN 640 324a, Dimensionierung, Strassenoberbau, VSS, Zürich, 1997.
- [19] ASTM, S410, April Protocols, Final Report Appendix, Draft May 1997 (unveröffentlicht)
- [20] Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies, SHRP, National Research Council, Washington, D.C., 1990.

- [21] Proceedings for the Automated Pavement Distress Data Collection Equipment Seminar, Federal Highway Administration, Iowa Department of Transportation, Iowa State University, FHWA-TS-90-053, 1990.
- [22] Y. Guidoux, Evaluation et suivi des chaussées du réseau routier national, Direction des routes, SETRA, LCPC, Paris, 1993.
- [23] J. Litzka, A. Vycudil, M. Wistuba, Wissenschaftliche Vorarbeiten für die Umsetzung eine Pavement Management Systems in Österreich, Mitteilungen des Instituts für Strassenbau und Strassenerhaltung, Heft 10, TU Wien, 1999.
- [24] G. Maerschalk, Anwenderhandbuch VIAPMS, München, 1998 (unveröffentlicht).
- [25] PAV-ECO, Schlussbericht und Teilberichte, Danish Road Institute, Roskilde, 1999.
- [26] V. Kuonen, Wald und Güterstrassen, Eigenverlag, Pfaffhausen, 1983.
- [27] S. Huschek, Griffigkeit und Verkehrssicherheit auf nasser Strasse, ISETH-Mitteilung Nr. 31, ETH Zürich, 1975.
- [28] Dokumentation PMS VS/NE, Teilbericht zu Aufgabe 1.2: Datenaggregation, Viagroup AG, 1997 (unveröffentlicht)
- [29] N. C. Jackson, R. Deighton, D. L. Huft, Development of Pavement Performance Curves for Individual Distress Indices in South Dakota Based on Expert Opinion, Transportation Research Record 1524, TRB, Washington, D.C., 1996.
- [30] E. Simond, Relevé visuel des dégradations I1, Essai croisé réalisé sur 10 tronçons des routes nationales vaudoises, Département des Infrastructures du Canton de Vaud, 2000 (unveröffentlicht).
- [31] Rationeel Wegbeheer – Schadecatalogus voor de visuele inspectie, Stichting Studie Centrum Wegenbouw, Mededeling 60, Deel C, Ede, 1987.

## ***Résumé technique***

### **1. INTRODUCTION**

Les premiers chapitres du rapport mettent en évidence les domaines d'application particuliers pour les indices d'état individuels d'une part et les indices "combinés" ou "indices globaux" d'autre part. En particulier il faut noter:

- les indices individuels servent essentiellement à déterminer les causes des dégradations et à faciliter le choix de la mesure d'entretien appropriée. De plus il peuvent être associés à des lois d'évolution, ce qui n'est pas le cas pour les indices combinés ou globaux.
- les indices combinés ou globaux servent à comparer des tronçons de chaussées, voire des réseaux routiers, soit dans l'immédiat, soit dans l'optique d'une comparaison d'état relatif à des temps différents.

L'élaboration de propositions pour des indices individuels et combinés à été faite sur la base des méthodes existantes pour pouvoir sauvegarder au maximum les investissements déployés jusqu'ici en récolte de données. Ces élaborations ont pour but d'améliorer les possibilités de diagnostic dans le cadre du PMS tout en éliminant les défauts des normes actuelles.

Ce résumé technique constitue une traduction abrégée du texte original allemand et se limite aux parties contenant les propositions.

### **2. PROPOSITIONS POUR LES INDICES INDIVIDUELS**

#### **2.1. Indices proposés**

La proposition suivante reprend dans la mesure du possible les approches existantes de la norme SN 640 925a. Elle comprend une liste d'indices pouvant être utilisés pour une planification à moyen et long terme moyennant l'emploi d'une loi d'évolution ainsi que des indices à utiliser exclusivement pour déclencher des mesures d'urgence. Les tableaux 1 et 2 présentent ces indices du point de vue des méthodes de relevé (tableau 1) et du point de vue de leur emploi dans le cadre du choix du type de mesure d'entretien (tableau 2).

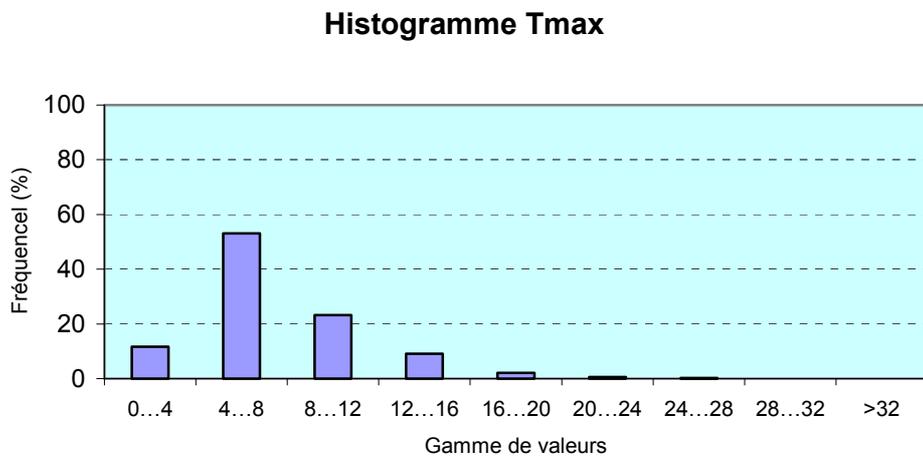
La méthode de relevé applicable comporte pour cinq des neuf indices considérés un relevé visuel, alors que pour les autres paramètres c'est une mesure qui s'impose. Pour cette dernière on peut avoir recours à des appareils dynamiques à haut rendement, ou à des appareils "manuels" plus simples et moins performants, à l'exception de la mesure du coefficient de frottement pour le paramètre rugosité. Les appareils à grand rendement seront préférés aux appareils manuels pour des campagnes d'auscultation au niveau de réseaux, ceci pour des raisons économiques et en vue d'une densité insuffisante de points de mesure pour les relevés manuels. Le tableau 2 résume l'utilisation des indices individuels proposés dans le cadre du diagnostic et du choix des mesures d'entretien.

**Tableau 1:** Propositions pour les indices individuels

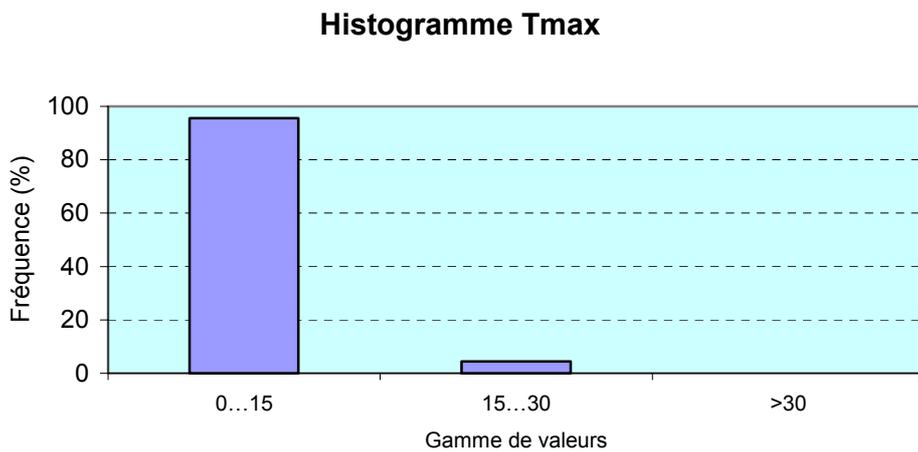
Indice d'état	Relevé méthode 1	Relevé méthode 2	Observations
Groupe principal surface glissante A	relevé visuel	relevé visuel	sans loi d'évolution, déclencheur de mesures d'urgence
Groupe principal dégradations du revêtement A	relevé visuel	relevé visuel	avec caractéristiques selon SN 640 925a
Groupe principal déformations du revêtement A*	relevé visuel	relevé visuel	*: sans caractéristique "ornière" par rapport à la pratique actuelle
Groupe principal dégradations structurelles A	relevé visuel	relevé visuel	avec caractéristiques selon SN 640 925a
Groupe principal réparations A	relevé visuel	relevé visuel	sans loi d'évolution
Indice I2 uni longitudinal	appareils dynamiques	goniomètre, nivellement	
Indice I3 uni transversal	appareils dynamiques	règle, appareil "Planum"	
Indice I4 rugosité	appareils dynamiques	---	
Indice I5 portance	FWD, déflectographe Lacroix	poutre de Benkelman	

Le tableau ci-dessus montre pour le groupe principal des déformations du revêtement une modification par rapport à la méthode existante: en effet il est proposé de ne pas considérer l'orniérage dans ce groupe. En effet, les indications relatives à l'orniérage sur la base d'une appréciation sommaire selon le relevé visuel ne sont pas utilisables ni pour une planification à long terme ni pour l'affectation, voir-même le développement d'une loi d'évolution. Ceci en fonction d'une définition trop grossière des classes de gravité et d'un manque de clarté pour pouvoir discerner entre l'absence et la présence d'orniérage. Faut-il considérer un écart de 2, 3, 4, 5.. mm sous une règle comme une "ornière"? A ces défauts s'ajoute une appréciation non systématique de l'orniérage lors du relevé visuel – par rapport à la mesure systématique tous les x m dans le cas de l'emploi d'appareils de mesure – qui contribue à diminuer la qualité des données et à empêcher une comparaison à la suite d'un échantillonnage irrégulier.

Pour bien visualiser la problématique de la gamme des valeurs (selon le catalogue des dégradations une ornière est considérée "légère" jusqu'à 15 mm, "moyenne" entre 16 et 30 mm et finalement "grave" à partir de 31 mm), on a procédé à une exploitation statistique des ornières maximales ( $T_{max}$ ) de l'ensemble de toutes les routes secondaires d'un réseau de routes cantonales. Une histogramme a été établi sur la base des valeurs mesurées (Fig. 1), un deuxième après transformation des mêmes valeurs mesurées en classes de gravité selon le catalogue des dégradations (Fig.2).



**Figure 1:** Histogramme des profondeurs d'ornièrre en présence de valeurs mesurées.



**Figure 2:** Histogramme des profondeurs d'ornièrre sur la base des classes de gravité.

**Tableau 2:** Utilisation des indices proposés pour la planification des interventions

Indice d'état	Problème limité aux couches supérieures	Problème de nature structurelle
Groupe principal surface glissante A	X	
Groupe principal dégrad. du revêtement A	X	
Groupe pr. déformations du revêtement A*	X	
Groupe principal dégradations structurelles A		X
Groupe principal réparations A		
Indice I2 uni longitudinal		X
Indice I3 uni transversal (ornièrage)	X	
Indice I4 rugosité	X	
Indice I5 portance		X
<b>Type d'intervention</b>	<b>Remise en état</b>	<b>Renforcement/ Renouvellement</b>

## 2.2. Règles d'évaluation

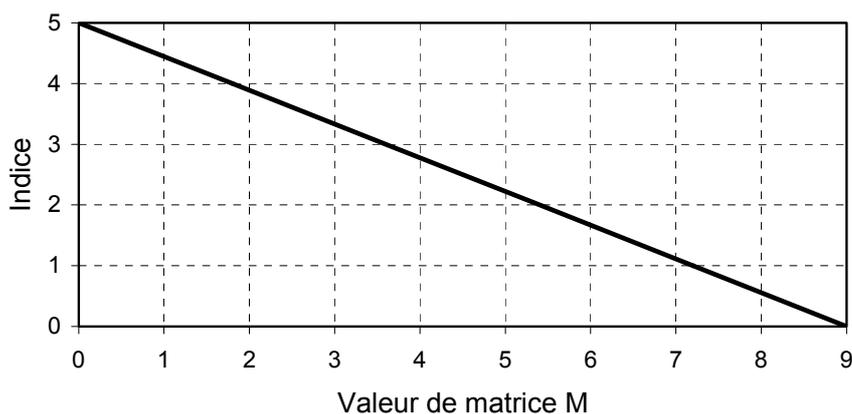
Pour la détermination des règles d'évaluation on a recherché par principe à maintenir la pratique existante. Ceci correspond au désir de permettre aux utilisateurs de la norme, qui ont déjà été confondus par les révisions précédentes et qui dans certains cas ont "perdu" des données existantes, une transition sans problème vers la nouvelle version de la norme.

Parmi le neuf indices proposés, il y en a quatre (I2 à I5) qui correspondent aux définitions existantes. Pour ces indices il n'y aura donc aucun changement par rapport à l'échelle et à la méthode d'évaluation existantes. Des nouvelles propositions seront toutefois nécessaires pour les indices dérivant des groupes principaux du relevé visuel.

La pratique du relevé des dégradations de surface par moyen de l'évaluation de l'étendue et de la gravité des dégradations, décrites en détail dans le catalogue des dégradations, n'a pas fait l'objet de critiques particulières jusqu'à aujourd'hui. Il n'y donc pas de raison de vouloir abandonner ce type de procédure.

Dans cette situation il devient logique de considérer la valeur de matrice (de 0 à 9), soit le produit de l'étendue et de la gravité, comme la gamme des valeurs des données de base. Ceci permet en principe une réutilisation directe des valeurs de matrice comme valeur d'indice sans dimension, de nouveau sur une échelle de 0 à 9. Une telle procédure implique pourtant une certaine confusion, parce que:

- les échelles des indices utilisés n'auront pas la même ampleur: de 0 à 5, resp. de 0 à 9
- les échelles sont à l'inverse: pour les indices I2 à I5 la note 0 correspond à l'état le plus mauvais, pour les indices des groupes principaux une valeur de 0 correspond au meilleur état.



**Figure 3:** Règle de conversion des valeurs de matrice en valeurs d'indice

Les défauts mentionnés ci-dessus seront évités en appliquant aussi une échelle de valeurs entre 0 et 5 (avec 5 pour la meilleure condition et 0 pour la condition la plus mauvaise) aux indices dérivant des groupes principaux des dégradations de surface. Une telle procédure correspond aussi au principe général de la comparabilité de différents tronçons de route, comme il est indiqué au chapitre 3.5. **Il est donc proposé d'utiliser une échelle de**

### valeurs de 0 à 5 pour les indices correspondant groupes principaux des dégradations de surface.

Ce qui manque encore c'est une règle d'évaluation, c'est-à-dire la procédure à suivre pour la conversion des données de relevé, en principe les valeurs de matrice variant entre 0 et 9, en valeurs d'indice correspondantes. Pour des raisons de simplicité il est proposé d'utiliser la même fonction linéaire pour tous ces indices ainsi qu'il est montré dans la figure 3.

Cette fonction de conversion peut aussi être représentée par une formule:

$$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$$

où:  $I_x$  = valeur de l'indice  
 $M_x$  = valeur de la matrice

Le tableau 3 contient une récapitulation des échelles d'état et des règles d'évaluation.

**Tableau 3: Echelles d'évaluation et règles d'évaluation pour les indices d'état**

Indice d'état	Echelle d'évaluation	Règle d'évaluation
Groupe principal surface glissante A	nouveau: 5 à 0	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Groupe principal dégradations du revêtement A	nouveau: 5 à 0	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Groupe principal déformations du revêtement A*	nouveau: 5 à 0	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Groupe principal dégradations structurelles A	nouveau: 5 à 0	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Groupe principal réparations A	nouveau: 5 à 0	$I_x = 5 - (M_x * 5/9)$
Indice I2 uni longitudinal	5 à 0	SN 640 925a
Indice I3 uni transversal (orniérage)	5 à 0	SN 640 925a
Indice I4 rugosité	5 à 0	SN 640 925a
Indice I5 portance	5 à 0	SN 640 925a

## 3. PROPOSITIONS POUR DES INDICES COMPOSÉS

Dans ce chapitre on utilise expressément le pluriel par rapport aux indices. En effet la pratique de plusieurs pays a montré l'utilisation fréquente de différents indices l'un à côté de l'autre. Dans le cadre d'une élaboration de propositions, il faudra donc faire face à la question de vouloir utiliser un seul indice composé ou des indices composés différents.

Il faudrait alors de vérifier systématiquement ou cas par cas s'ils seraient nécessaire de les utiliser exclusivement ou en parallèle.

### 3.1. Le domaine d'emploi des indices composés

Ainsi qu'il a été élaboré au chapitre 3.4 du rapport, les indices composés ou indices globaux se prêtent mieux à la comparaison de tronçons de route avec des dégradations

différentes et expriment dans un certain sens "l'état général de santé" d'une chaussée. Les indices composés ou indices globaux sont donc particulièrement adaptés à l'évaluation de réseaux. Ils sont donc utilisés fréquemment comme valeur de référence dans les processus d'optimisation propres aux systèmes de gestion des chaussées (PMS) pour exprimer et quantifier les "bénéfices" du choix de chaque mesure d'entretien.

Toute "combinaison" de valeurs individuelles- qu'elle soit faite par une moyenne simple ou pondérée, une somme ou une méthode avec déductions – placera chaque valeur individuelle à l'arrière-plan et en affaiblit son influence sur la valeur résultante. A la suite de la combinaison de valeurs individuelles dans un indice composé le lien direct avec la cause des dégradations ne sera plus apparent, ce qui ne permet pratiquement plus d'affecter de façon fiable des mesures d'entretien respectivement d'en calculer les coûts qui dépendent finalement du choix de la mesure.

### 3.2. Indice global ou "indices thématiques"

Si un "indice global" constitue généralement le résultat de l'élaboration et de la combinaison de tous les paramètres individuels ou presque, un indice thématique représente un indice composé avec un choix bien déterminé des indices composants avec une caractéristique commune. On citera comme exemple une indices de sécurité qui pourra comprendre au delà de la rugosité aussi les valeurs de profondeur d'ornièrerie resp. de profondeur d'eau.

En reprenant des exemples étrangers on pourrait proposer les indices thématiques suivants:

- Sécurité
- Confort
- Structure (pérennité)

Les indices individuels proposés dans le rapport peuvent être associés aux différents "thèmes" selon les indications du tableau 4 suivant.

**Tableau 4:** Affectation des indices individuels aux critères d'évaluation

Paramètre	Sécurité	Confort	Structure
Groupe principal surface glissante A	✓	-	-
Groupe principal dégradations du revêtement A	-	✓	-
Groupe principal déformations du revêtement A*	✓	✓	-
Groupe principal dégradations structurelles A	-	✓	✓
Groupe principal réparations A	-	✓	✓
Indice I2	-	✓	✓
Indice I3 Uni transversal (ornièrage)	✓	✓	-
Indice I4 Rugosité	✓	-	-
Indice I5 Portance	-	-	✓

\*: sans ornièrage

### 3.3. Indices composés et données disponibles

Ce chapitre analyse les possibilités de développement d'indices composés sur la base du choix des indices individuels disponibles. Dans l'optique de l'emploi primaire des indices composés au niveau du réseau, ainsi qu'il a déjà été mentionné, sont élaborés d'abord différents scénarios relatifs à la disponibilité des données.

Selon la pratique observée dans différents cantons au cours des dernières années on peut distinguer les quatre cas de base suivants:

- Cas A: au niveau du réseau on dispose uniquement des résultats d'un relevé visuel (qui peut éventuellement comprendre les résultats d'une mesure de la profondeur d'ornièrre au moyen d'une règle pour la détermination de l'indice I3; dans ce cas il faudra assurer un échantillonnage uniforme sur l'ensemble du réseau),
- Cas B: en complément au relevé visuel sont aussi disponibles les résultats de mesures de planéité longitudinale et transversale (indices I2 et I3),
- Cas C: au delà des données selon le cas B les données relatives à la portance sont aussi disponibles (on admet que les informations relatives au trafic et nécessaires pour une évaluation correcte de la portance soient aussi disponibles),
- Cas D: au delà des données selon le cas C on dispose aussi des données relatives à la rugosité.

Les cas A et B sont les plus fréquents, le cas D est jusqu'à présent le plus rare.

Selon les propositions pour les indices individuels présentées dans ce rapport, les indices individuels suivants sont disponibles, selon les cas, pour le calcul d'un indice composé:

**Tableau 5:** Données disponibles pour le calcul d'un indice composé

Paramètre	Cas A	Cas B	Cas C	Cas D
Groupe principal surface glissante A	✓	✓	✓	✓
Groupe principal dégradations du revêtement A	✓	✓	✓	✓
Groupe principal déformations du revêtement A*	✓	✓	✓	✓
Groupe principal dégradations structurelles A	✓	✓	✓	✓
Groupe principal réparations A	✓	✓	✓	✓
Indice I2 uni longitudinal	-	✓	✓	✓
Indice I3 uni transversal (orniérage)	(✓)	✓	✓	✓
Indice I4 rugosité	-	-	-	✓
Indice I5 portance	-	-	✓	✓

\*: sans orniérage

### 3.4. Propositions pour un indice global

#### 3.4.1. Paramètres considérés

En principe il devrait être possible de définir des indices combinés ou globaux correspondants pour tous les différents cas représentant différents scénarios de disponibilité de données (cas A à D). Pour des raisons de simplicité on nommera par la suite ces différents indices comme "indice global Type i", où i correspondra aux cas A à D. L'ensemble des données disponibles entrera dans le calcul des indices à l'exception de l'indice global Type D. Pour éviter de compter deux fois des valeurs de rugosité dans le calcul de l'indice global et pour favoriser les données plus fiables, on ne tiendra pas compte du groupe principal "surface glissante". Dans le cas A on admettra que des valeurs d'ornièrè relevés manuellement seront aussi disponibles pour pouvoir calculer l'indice I3, ce qui correspond à la pratique actuelle du relevé visuel. Toutefois des exigences plus strictes devront être appliquées à la mesure des ornières

**Tableau 6:** Paramètres considérés pour la détermination d'un indice composé ou indice global IG

Paramètre	IG Type A	IG Type B	IG Type C	IG Type D
Groupe principal surface glissante A	✓	✓	✓	-
Groupe principal dégradations du revêtement A	✓	✓	✓	✓
Groupe principal déformations du revêtement A*	✓	✓	✓	✓
Groupe principal dégradations structurelles A	✓	✓	✓	✓
Groupe principal réparations A	✓	✓	✓	✓
Indice I2 uni longitudinal	-	✓	✓	✓
Indice I3 uni transversal (ornièrage)	✓	✓	✓	✓
Indice I4 rugosité	-	-	-	✓
Indice I5 portance	-	-	✓	✓

\*: sans ornièrage

#### 3.4.2. Méthodes de calcul

C'est évidemment un avantage, si les indices globaux sont déterminés sur la base de la même échelle de valeurs que dans le cas des indices individuel, ce qui conduit à obtenir le même ordre de grandeur des valeurs (et donc la même qualification) dans le deux cas. Pour le calcul on peut envisager l'application de quatre méthodes différentes:

**Méthode 1:** l'indice global est calculé par la détermination de la valeur moyenne des toutes les (n) valeurs individuelles P

$$GI_1 = 1/n * \Sigma(P_1...P_n)$$

Un indice global généralement "trop bon" à la suite du calcul d'une valeur "moyenne" est le désavantage principal de cette méthode.

**Méthode 2:** l'indice global est calculé par la détermination d'une valeur moyenne pondérée des toutes les (n) valeurs individuelles P

$$GI_2 = (1/(n \cdot \sum g_i)) \cdot \sum (P_1 \cdot g_1 \dots P_n \cdot g_n)$$

L'application du calcul d'une valeur moyenne représente en principe pour cette méthode 2 le même désavantage que pour la méthode 1, même si les facteurs de pondération, déterminés parfois de façon arbitraire, en peuvent limiter l'importance.

**Méthode 3:** l'indice global est calculé par moyen d'une formule de déduction avec les déductions  $\Delta$  des valeurs individuelles P

$$GI_3 = 5 - k \cdot \sum (\Delta_1 \dots \Delta_n)$$

Pour appliquer cette méthode il est nécessaire de choisir le facteur de correction k de façon à exclure des valeurs négatives résultant du calcul pour des situations extrêmes. Cette méthode conduit généralement à des valeurs "trop mauvaises".

**Méthode 4:** l'indice global est calculé par la détermination de la valeur moyenne des toutes les (n) valeurs individuelles P, diminuée par l'écart type pondéré. Il est recommandé d'utiliser une valeur de 1.25 pour le facteur de pondération k

$$GI_4 = (1/n \cdot \sum (P_1 \dots P_n)) - k \cdot \text{écart type } (P_1 \dots P_n)$$

Cette méthode conduira généralement à une valeur de l'indice global très proche de la valeur la plus mauvaise des indices individuels considérés, dans certains cas même en dessous [29]. **Il est recommandé d'utiliser ce type d'approche pour tout emploi dans la pratique.**

### 3.4.3. Indices "sectoriels"

En Suisse, il n'y a encore aucune expérience de l'utilisation d'indices de ce type et une application éventuelle devrait avoir lieu préliminairement dans le cadre d'un projet pilote. Ce rapport renonce donc volontairement à proposer des recommandations pour des indices sectoriels. Leur introduction pourrait comporter la prise en compte d'autres paramètres en dehors des seuls indicateurs d'état, comme par exemple une valeur de trafic ou un coefficient structurel de la superstructure dont il sera encore nécessaire d'en vérifier la disponibilité des données

Le défaut d'une pratique uniforme générale pour l'auscultation des chaussées constitue une raison supplémentaire pour renoncer temporairement à l'élaboration concrète d'indices sectoriels. La norme concernant le relevé et l'évaluation de l'état des chaussées et ses annexes (catalogue des dégradations et instruction pour le relevé de l'état visuel) présente

une méthode qui devrait permettre une pratique d'auscultation uniforme sur l'ensemble de la Suisse. Pourtant la réalité présente un état des choses tout à fait différent avec:

- un choix sélectif, voire restrictif des valeurs à saisir dans le cadre d'un relevé systématique du réseau,
- une dispersion relativement importante des résultats des relevés visuels, en particulier sur les routes cantonales,
- quelques "modifications individuelles" par rapport à la méthode normalisés, surtout au niveau des communes,
- et finalement une réticence généralement très poussée par rapport à la mesure systématique de la rugosité.

En prenant l'exemple des méthodes utilisées en Allemagne ou en Autriche – qui pourraient bien constituer la base pour le choix d'une méthode applicable en Suisse – ou voit rapidement que l'indice partiel sur la sécurité constitue un élément important, voir le plus important, des indices sectoriels. La valeur d'un tel indice est liée incontestablement à la fiabilité des données et il est tout à fait inimaginable de concevoir la détermination de cet indice uniquement sur la base de l'appréciation visuelle – très contestable – d'un polissage guère appréciable et du ressuage sans tenir compte des valeurs de mesure de la qualité antidérapante (rugosité).

## 4. LES SEUILS

Le cahier de charges du mandat de recherche exige le développement de propositions de seuils, par exemple: ... *seuils d'alarme, de confort et de viabilité*... .

Le rapport évoque les applications existantes de "seuils", en particulier dans le domaine des exigences pour les nouvelles constructions pour la planéité longitudinale (valeur  $s_w$ ) et transversale (écart sous la règle de 4 m < 4 mm) d'une part et pour la rugosité d'autre part, où la valeur de référence est plutôt orientée sur une valeur minimale pour des questions de sécurité (pour la planéité longitudinale et transversale les anciennes version de la norme prévoyaient aussi des "valeurs limite". Le dimensionnement des chaussées à la base des normes de la VSS a lui aussi été établi sur la base du choix d'un seuil pour définir la fin de la durée d'utilisation d'une chaussée.

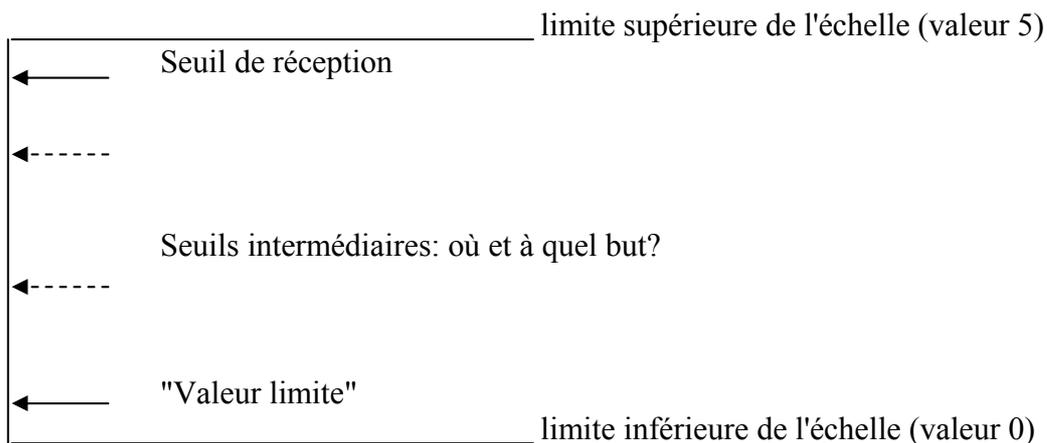
### 4.1.1. ... des seuils, pourquoi?

Il paraît évident de vouloir considérer la définition d'une part d'un "*seuil de réception*" et d'autre part d'une "*valeur limite*". Cette dernière devrait représenter un état qui ne doit pas être dépassé en principe, même si ceci peut arriver en cas de moyens d'entretien insuffisants.

Cette façon de procéder permettra de fixer des valeurs de référence aux deux extrémités de l'échelle. A partir de là il sera nécessaire de voir où pourraient être placés d'autres seuils

intermédiaires et d'en définir la finalité. Cette problématique est illustrée schématiquement dans la figure 4 suivante.

Le moment, respectivement l'état de dégradation pour lequel on pourrait concevoir d'appliquer une première mesure dans le cadre d'une stratégie préventive peut constituer une première option pour la définition de seuils. Ce seuil pourrait être caractérisé par les termes "*valeur de prévention*" ou "*première possibilité d'intervention*".



**Figure 4:** Représentation schématique de la disposition de seuils

L'écart entre la "valeur de prévention" et la "valeur limite" est relativement important et permet donc l'insertion éventuelle d'un seuil supplémentaire. La grande diversité des mesures d'entretien possibles avec un domaine "optimal" d'application correspondant ne laisse toutefois pas envisager la possibilité de définition d'un seuil unique ayant un lien direct avec le déclenchement d'une mesure. A son tour, une optimisation des mesures d'entretien par moyen d'un système de gestion des chaussées informatisé (PMS) ne peut pas être réalisée avec des seuils d'interventions fixes. L'utilisation efficace des moyens disponibles nécessite d'une certaine marge de manœuvre ou degré de liberté.

La phase précédant l'atteinte de la valeur limite peut aussi conduire à la définition d'un seuil. La désignation ou la détermination d'un *seuil d'alerte* permet de reconnaître aussi dans un cadre simplifié sans utilisation d'un système de gestion proprement dit les sections de chaussée qui devraient atteindre prochainement la valeur limite et qui en correspondance devraient faire l'objet d'une observation intensifiée. Ceci permet aussi de commencer la planification des mesures d'entretien nécessaires. Le dépassement du seuil d'alerte ne sera toutefois pas le déclencheur immédiat d'une mesure d'entretien qui dépendra de nombreux autres facteurs (résultats d'analyse PMS, note de priorité, etc.).

#### 4.1.2. Seuils: propositions pour indices individuels

Le tableau présenté dans ce chapitre contient des propositions pour les différents paramètres et indices d'état proposés dans ce rapport. Selon les cas deux il y aura

l'indication de deux valeurs dont la première est valable pour les routes à grand débit et la deuxième pour les autres routes. Dans tous les cas avec l'indication d'une seule valeur, celle-ci sera valable pour toutes les routes.

Les valeurs déjà considérées dans différentes normes (en particulier pour l'uni longitudinal et transversal, indices I2 et I3) pourront être utilisées pour définir le **seuil de réception** où alors on exigera la présence d'une surface sans défauts (p. ex. dans le cas des groupes des dégradations de surface). Dans les conditions actuelles il ne sera pas prévu de spécifier des seuils de réception spécifiques pour la portance (qui dépend du dimensionnement et du sol ou de l'infrastructure) et pour la rugosité (qui dépend du type d'enrobé utilisé).

Dans le cas du **seuil de prévention** on pourrait quantifier l'état correspondant avec la présence de dégradations légères ou moyennes équivalentes à une valeur de matrice de 4 au minimum. En termes de valeur d'indice et en admettant la conversion selon la proposition de la figure 3, ce niveau d'état équivaut à une valeur d'indice de 2.8. Dans le cas de la rugosité et de la portance on renoncera aussi à la définition d'un seuil de prévention. Pour l'uni transversal on propose de situer le seuil de prévention à une valeur d'ornièrre de 8 mm, soit une valeur de 3.0 pour l'indice I3. Comme il est difficile de voir quelles pourraient être des mesures "préventives" pour limiter la progression de défauts d'uni longitudinal et que la pratique n'en démontre pas un besoin réel on renonce aussi dans ce cas à la proposition d'un seuil de prévention.

Pour le **seuil d'alerte** on propose de le placer à un point au-dessus de la valeur limite. Généralement on peut admettre que le seuil limite ne sera pas atteint avant cinq ans aussi dans le cas d'une progression bien plus accélérée de la dégradation par rapport à une nouvelle route.

Les **valeurs limite** pour les groupes des dégradations de surface correspondront à une valeur de matrice de 6 (qui équivaut à la présence de dégradations moyenne sur toute la longueur) pour les routes à grand débit, soit une valeur d'indice de 1.5 et à une valeur (agrégée) de matrice de 7.5, soit une valeur d'indice de 0.8 pour les autres routes. Dans le cas de l'uni longitudinal et de la rugosité les valeurs limite seront fixées par principe en accord avec les normes actuelle (rugosité) ou ancienne (uni longitudinal) à l'exception des routes à grand débit pour lesquelles la limite sera fixée à un demi point plus haut. Pour l'uni transversal les valeurs limites seront situées en correspondance d'une profondeur d'ornièrre de 20, respectivement 25 mm selon le type de route, ce qui correspond à des indices I3 de 1.5, resp. 1.0). La valeur limite pour la portance a été proposée en correspondance du besoin d'un renforcement structurel de 80 mm pour une période de dimensionnement de 10 ans.

**Tableau 7:** Propositions pour les valeurs des seuils

Paramètre	Seuil de réception	Seuil de prévention	Seuil d'alerte	Valeur limite
Groupe principal surface glissante A	5.0	2.8	2.0	1.5/0.8
Groupe principal dégradations du revêtement A	5.0	2.8	2.0	1.5/0.8
Groupe principal déformations du revêtement A*	5.0	2.8	2.0	1.5/0.8
Groupe principal dégradations structurelles A	5.0	2.8	2.0	1.5/0.8
Indice I2 uni longitudinal	4.0	-	2.5/2.0	1.5/1.0
Indice I3 uni transversal (orniérage)	4.0	3.0	2.5/2.0	1.5/1.0
Indice I4 rugosité	-	-	2.5/2.0	1.5/1.0
Indice I5 portance	-	-	2.5/2.0	1.5/1.0

#### 4.1.3. Des seuils pour les indices composés?

Dans le cadre du concept de définition et de détermination de seuils présenté dans le rapport, les différents niveaux proposés ont été associés à des applications très concrètes. On pourrait donc vérifier si les applications mentionnées sont aussi pertinentes pour des indices composés. Le conditionnel "pourrait" a été choisi en connaissance des conflits et des incohérences potentielles dérivant des domaines spécifiques d'emploi différents pour des indices individuels d'une part et les indices composés d'autre part, ainsi qu'il est expliqué dans le chapitre 3 du rapport. Pour ne pas exclure par principe la possibilité d'utilisation des mêmes seuils, on vérifiera d'abord si les applications mentionnées pourraient aussi avoir une importance pour les indices composés.

- Cas des "valeurs de réception": les normes existantes ne prévoient pas d'exigences de qualité relatives aux indices composés. Elles se réfèrent uniquement aux indices individuels et aux valeurs associées.
- Cas des "valeurs de prévention": les propositions pour les valeurs de prévention ont le but de pouvoir bien reconnaître une dégradation et sa cause et en suite de choisir une méthode de prévention convenable. Ces procédures analytiques représentent le domaine d'emploi essentiel des indices individuels et ne sont pas réalisables à partir des indices composés.
- Cas des "valeurs d'alerte": parmi les différents seuils, le seuil d'alerte est celui avec la définition la moins précise; pourtant les valeurs se réfèrent à un indice particulier, donc aussi à une cause et à une mesure bien précises. Un indice composé aura donc aussi dans ce cas une possibilité d'application relativement vague et en conséquence une importance limitée.
- Cas des "valeurs limite": dans certain cas, ces valeurs ont un lien très direct avec des indicateurs de sécurité importants (rugosité, profondeur d'ornièr), dans d'autres cas elles représentent plutôt une "limite de tolérance", acceptée en tant que telle dans un contexte national (une note de 0 sur notre échelle de valeurs pour l'indice de l'uni longitudinal équivaut par exemple à une valeur encore relativement bonne sur

l'échelle ouverte vers le haut de l'indice IRI, élaboré initialement pour être utilisé spécifiquement dans des pays en développement). Les indices composés n'ont aucun lien direct avec les indicateurs de sécurité, ils pourraient être utilisables toutefois dans le contexte des "limites de tolérance" pour exprimer le confort de roulement ou l'intégrité structurelle même s'il reste difficile de faire la différence entre l'importance pour la sécurité, le confort ou l'intégrité structurelle

Après avoir constaté que les seuils pour les indices individuels ne sont pas applicables aux indices composés, il ne reste qu'à rechercher des solutions alternatives pour les indices composés ou indices globaux. Ceci tout en restant conscient du domaine d'emploi principal des indices composés:

- La comparaison directe de l'état actuel de sections de route ou des réseaux. Le résultat de cette comparaison sera un parmi plusieurs critères pour la détermination des priorités et pour la distribution des moyens d'entretien sans qu'il soit nécessaire d'appliquer des seuils.
- Représentation de l'évolution de l'état dans le temps pour des sections de route et des réseaux. L'analyse de l'évolution de l'état moyen du réseau (courbe des "températures") met en évidence une amélioration ou une péjoration éventuelle et indirectement aussi la suffisance ou l'insuffisance des moyens d'entretien dépensés dans le passé et prévus pour le futur. La réponse à ce genre de questions est aussi indépendante de la disponibilité de valeurs de seuils.

Ce qui reste à définir, ce sera l'état moyen du réseau, représenté par l'un des indices combinés proposés, à considérer comme "tolérable", "souhaitable" ou "idéal". La réponse à ces questions ne sera pas donnée par le résultat d'une analyse technique. C'est l'état initial existant du réseau et les facteurs politiques et économiques nuanceront la réponse. Un système de gestion PMS est en mesure de donner des éléments de réponse touchant aux aspects économiques, mais la politique, par contre, échappe à toute possibilité de prévision.

La seule détermination de différentes classes de qualité, pour produire par exemple des graphiques du type de la figure 6 (texte allemand) peut se faire par une simple subdivision de l'échelle des valeurs. Les limites entre une classe et l'autre pourront être modifiées vers le haut ou vers le bas selon la classe de route. Le tableau 8 suivant présente un exemple de la définition de classe de qualité en fonction de la classe de route.

**Tableau 8:** Exemples de classes de qualité pour les indices composés par classe de route

<b>Classe de qualité</b>	<b>Autoroutes</b>	<b>Routes principales</b>	<b>Routes secondaires</b>
Bon	> 4.2	> 4.2	> 4.0
Moyen	3.3 - 4.2	3.3 - 4.2	3.0 - 4.0
Suffisant	2.5 - 3.3	2.5 - 3.3	2.0 - 3.0
Critique	2.0 - 2.5	2.0 - 2.5	1.5 - 2.0
Mauvais	< 2.0	< 2.0	< 1.5

L'indication "exemple" pour les chiffres du tableau 8 a été adoptée en fonction du fait que les "nouveaux" indices composés ne sont à l'heure actuelle que des propositions, qui

pourront encore être corrigées lors de la révision de la norme. Un choix définitif sera fait de préférence lors de la disponibilité d'une quantité suffisante de données de ces nouveaux indices pour une exploitation statistique comme base de référence.

#### 4.2. Valeurs déterminantes par objet PMS (agrégation des données)

Conformément à la pratique pour le calcul des valeurs déterminantes pour caractériser des objets PMS (ou plus simplement: des tronçons de route), liée à une procédure d'agrégation des données bien précisée, les valeurs des seuils indiquées dans le rapport se réfèrent aussi à des valeurs agrégées, hormis le cas où d'autres normes ne prévoient pas des modalités différentes pour des applications particulières (p. ex. l'utilisation d'une longueur d'exploitation de 250 m pour le contrôles de réception de l'uni longitudinal).

L'agrégation des données a fait l'objet d'une tâche particulière dans le cadre du projet PMS VS/NE [28]. Les valeurs d'état – valeurs mesurées ou indices – déterminantes pour un objet PMS sont calculées à partir des valeurs relevées sur des longueurs unitaires de normalement 50 ou 100 m et en appliquant une agrégation dans le sens transversal d'abord et à la suite dans le sens longitudinal.

En présence de plusieurs valeurs au même profil transversal (p.ex. ornière gauche et droite) c'est la valeur la plus mauvaise qui est considérée déterminante. L'agrégation longitudinale sur un objet PMS sera la valeur moyenne calculée à partir des valeurs de relevé sur 50 ou 100 m. A cette valeur, il sera soustrait (pour les indices ou certaines valeurs de mesure, p.ex. coefficient de frottement), respectivement ajouté (pour d'autres valeurs de mesure, p.ex. la profondeur d'ornière) certains nombres.

Les solutions proposées pour l'agrégation des données dans STRADA-DB et d'autres logiciels "associés" se réfèrent uniquement aux valeurs d'état, en particulier aux indices. Cette agrégation s'applique lors de la transition du "segment de chaussée" à "l'objet PMS" et de la préparation des données nécessaires au logiciel de gestion VIAPMS. Pour tous les autres paramètres l'approche STRADA-DB exige une homogénéité totale sur la longueur du segment de chaussée (approche du type "dénominateur commun plus petit").

**Tableau 17:** Règles pour l'agrégation des valeurs d'indice

Paramètre	Agr. transversale	Agr. longitudinale	dispersion admissible
Indice I1	Valeur minimale	Valeur moyenne - $\sigma$	$CV \leq 0.35$
Indice I2	Valeur minimale	Valeur moyenne - $\sigma$	$CV \leq 0.35$
Indice I3	Valeur minimale	Valeur moyenne - $\sigma$	$CV \leq 0.35$
Indice I4	Valeur minimale	Valeur moyenne - $\sigma$	$CV \leq 0.35$
Indice I5	Valeur minimale	Valeur moyenne*	$CV \leq 0.35$

\*: en admettant le calcul des déflexions déterminantes selon SN 640 733b.