



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

---

# Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen

**Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie  
gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert**

**Influences et interactions de l'état de surface et de la portance  
sur la valeur intrinsèque et la valeur d'usage**

**Influences and interactions of the surface quality and the  
bearing capacity on the intrinsic value and the user value**

**SACR AG, Zürich**  
**A. Jacot, dipl. Ing. ETH**

**Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmana-  
gement, Forschungsauftrag VSS 2004/713, Einzelprojekt 3,  
auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen-  
und Verkehrsfachleute (VSS)**

Februar 2009

1246

# **Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen**

**Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie  
gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert**

## **Forschungsstelle:**

### **SACR AG**

Ingenieurbüro und Labor für die Strassenerhaltung

Berninastrasse 9, CH - 8057 Zürich

Tel. +41 44 312 46 72 / [www.sacr.ch](http://www.sacr.ch)

**Alain Jacot, dipl. Ing. ETH**

## **Projektleitung und Begleitkommission:**

### **Gesamtprojektleiter des Forschungspakets VSS 2004/710-716**

Prof. Hans Peter Lindenmann, IVT, ETHZ, 8093 Zürich

### **Expertenkommission 5.04 „Fahrbahnerhaltung“**

(vorher EK 7.06 „Erhaltungsmassnahmen“)

Vorsitz : Christiane Raab

Mitglieder : Hans-Peter Beyeler  
Armando Casanova  
Werner Eichenberger  
Frank Schiffmann  
Eric Simon  
Rolf Werner

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>Résumé</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1 Problemstellung	7
1.2 Auftrag und Ziele	7
<b>2 Grundlagen</b>	<b>8</b>
2.1 Visuelle Zustandserfassung: Definition und Kenngrößen	8
2.2 Tragfähigkeitserhebung: Definition und Kenngrößen	8
2.3 Einreihung in einer Gesamtbewertung	9
2.4 Einflüsse auf Substanzwert und Gebrauchswert	9
2.5 Ergebnisse der Literaturlauswertung	10
<b>3 Analyse der Schadenentwicklung</b>	<b>12</b>
3.1 Einführung	12
3.2 Verlauf der Schadenentwicklung und der Schadensichtbarkeit	13
3.3 Schadenentwicklung, Schadensichtbarkeit und Tragfähigkeit	13
3.4 Einfluss der Tragfähigkeit auf die Schadenentwicklung	15
3.5 Einfluss der Schadenentwicklung auf die Tragfähigkeit	17
3.6 Einfluss der Schäden auf Substanz- und Gebrauchswert	19
3.7 Schlussfolgerungen dieser Analyse	21
<b>4 Untersuchung von Datenbeständen</b>	<b>22</b>
4.1 Einführung	22
4.2 Korrelationsversuch Tragfähigkeit - Index I1 gesamthaft	22
4.3 Korrelationsversuch Tragfähigkeit - Index I1 pro Lastklasse	23
4.4 Korrelationsversuch Tragfähigkeit - Einzelindex I <sub>Ax</sub> gesamthaft	25
4.5 Korrelationsversuch Tragfähigkeit - Einzelindex I <sub>Ax</sub> pro Lastklasse	28
4.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	33

---

<b>5 Analyse mit der SN-Methode</b>	<b>34</b>
5.1 Einführung SN Bewertung	34
5.2 Substanzverlust durch Schadenentwicklung	34
5.2.1 Bewertung SN-Verluste für leichte Schäden	35
5.2.2 Bewertung SN-Verluste für schwere Schäden	37
5.2.3 Bandbreite des Substanzverlustes	39
5.3 Substanzerhöhung durch standardisierte Massnahmen	41
5.4 Ausgleich Massnahme – Schadenbild auf Basis der SN-Bewertung	44
5.5 Anwendung der Massnahmen gemäss SN-Bewertung	45
5.6 Schlussfolgerung SN-Bewertung	51
<b>6 Verstärkungswirkung, SN-Wert und Index I5</b>	<b>52</b>
6.1 Einführung	52
6.2 Verstärkungswirkung: Verhältnis Dicke – SN-Wert	52
6.3 Verstärkungswirkung: Verhältnis Dicke – Index I5	53
6.4 Verstärkungswirkung: Rücksetzwert Index I5	54
<b>7 Überprüfung der Rückstellwerte der Einzelindizes</b>	<b>55</b>
<b>8 Gebrauchs- und Substanzwert</b>	<b>58</b>
8.1 Aktuelle Berechnungsgrundlage	58
8.2 Einbindung der Spartenindizes IAx	59
8.3 Differenzierte Berücksichtigung der Indizes	60
8.4 Vorschläge zur Berechnung von Gebrauchs- und Substanzwert	61
<b>9 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen</b>	<b>65</b>
<b>10 Bibliographie</b>	<b>67</b>

---

## Zusammenfassung

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

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

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

Nach dem mageren Ergebnis der Literaturlauswertung wurden als erste Phase des Einzelprojektes 3 Überlegungen über die Mechanismen der Schadenentwicklung und über den entsprechenden Verlauf des sichtbaren Schadenbildes an der Fahrbahnoberfläche gemacht. Die potentiellen Wechselwirkungen zwischen Tragfähigkeit und Schadenentwicklung sind für die einzelnen Schadenbilder gemäss SN 640'925 analysiert und beschrieben worden. Die Zuordnung der einzelnen Schadenmerkmale und ihre Einflüsse auf die indexierte Gesamtbewertung mittels Gebrauchswert und Substanzwert ist ebenfalls dargestellt worden.

In einer zweiten Phase sind mögliche Korrelationen zwischen den einzelnen Schadengruppen aus dem visuellen Zustand und der Tragfähigkeit, unter Berücksichtigung der einzelnen Lastklassen, untersucht worden. Die dafür verwendeten Daten stammen vorwiegend aus dem Agglomerationsstrassennetz der Stadt und des Kantons Genf ohne Autobahnen. Die kompletten Datensätze der Messkampagnen 1995 und 2005 wurden eingesetzt. Erwartungsgemäss konnte keine brauchbare Korrelation zwischen der Tragfähigkeit und den verschiedenen Einzelindizes  $I_{Ai}$  des visuellen Zustandes gefunden werden. Es konnte bloss eine leichte Verbesserung des Bestimmtheitsmasses für den Einzelindex der Belagsschäden ( $I_{A2}$ ) bei zunehmender Lastklasse festgestellt werden.

Als weiterer Schritt wurden neue Ansätze zur möglichen Kopplung von Tragfähigkeit und visuellem Zustand untersucht. Die Wahl fiel auf eine gezielte Verwendung des Strukturwertes SN (Structural Number), welcher als Dimensionierungsgrundlagen der schweizerischen Oberbaunormen in bituminöser Bauweise dient. Somit wurde einerseits der Substanzverlust des Oberbaus für die verschiedenen Schadenmerkmale und seine Bandbreite für unterschiedliche Schadensschwere berechnet. Andererseits wurde die erwirkte Zunahme des SN-Wertes durch Anwendung der im Einzelprojekt 1 VSS 2004/711 definierten standardisierten Erhaltungsmassnahmen bestimmt. Das Endziel der SN-Bewertung ist, unter Berücksichtigung von praktischen und wirtschaftlichen Randbedingungen der möglichen Sanierungsmethoden, den Schaden bedingten SN-Verlust durch eine optimale und gezielte SN-Zunahme (Erhaltungsmassnahme) wettzumachen. Die Einbindung des Tragfähigkeitsindex  $I_5$  in diese SN-Beurteilung ist ebenfalls berücksichtigt worden.

Eine Überprüfung der vorhandenen Berechnungsgrundlagen (Anhang der SN 640'904) für den Gebrauchswert und den Substanzwert hat grundsätzliche Probleme der aktuellen Indizierung zum Vorschein gebracht (ungenügende Empfindlichkeit). Als Vorstufe zur Einführung der neuen Einzelindizes  $I_{Ai}$  der Norm SN 640'926 wurde eine Überprüfung der Transformationsgrundlagen mit dem Index  $I_1$  vorgenommen. Die Umrechnungsformel ist im Kapitel 7 angegeben und konnte im Rahmen der Überprüfung der im Einzelprojekt 1 definierten Rückstellwerte der Einzelindizes angewendet werden. Nach der kritischen Überprüfung der aktuellen Berechnungsmethodik anhand von typischen Fallbeispielen sind verschiedene Vorschläge zur Einbindung der Einzelindizes gemacht. Die Summe der Indexierungskoeffizienten wurde, je nach Strassentyp, auf 1.6 bis 1.8 angehoben (aktuell 1.0). Somit ist eine genügende Empfindlichkeit des Gebrauchswertes und des Substanzwertes gewährleistet, was auch vielleicht ihre Anwendung als hilfreiche Gesamtindikatoren zum Durchbruch verhelfen könnte.

## Résumé

La planification systématique des mesures d'entretien des chaussées est un processus central et déterminant dans la gestion de l'entretien des infrastructures routières. Elle définit sur un horizon de planification à long terme quand et quelles mesures doivent être réalisées, afin d'obtenir la meilleure rentabilité possible des moyens investis. Les bases suisses pour cette mission de planification et d'optimisation ont été élaborées dans le cadre du paquet de recherche VSS 2004/710-716.

Les liens étroits entre les instruments de planification à développer dans le cadre des projets individuels ont pu être pris en compte grâce aux possibilités de travail en réseau dans un paquet de recherche. Cela a permis une coordination optimale des résultats de recherche. Les résultats principaux des cinq projets individuels ainsi que leur utilisation dans le déroulement d'une planification systématique de la gestion de l'entretien sont mis en évidence dans le rapport de synthèse du paquet de recherche.

Le projet 3 VSS 2004/713 « Influences et interactions de l'état de surface et de la portance sur la valeur intrinsèque (valeur de substance) et la valeur d'usage » livre une approche nouvelle et complémentaire pour quantifier l'apport des différentes mesures d'entretien standardisées quant à l'amélioration de la valeur structurelle.

Suite aux maigres résultats de la recherche bibliographique initiale, la première phase du projet 3 a été dédiée à une réflexion sur les mécanismes de dégradation et sur la visibilité de ceux-ci à la surface de la chaussée durant leur phase d'évolution. Les interactions potentielles entre la portance et le développement des dégradations ont été analysées et décrites pour chaque type de dégradation normalisée de la SN 640'925. Le domaine d'influence des différentes dégradations normalisées sur les indices composés tels que la valeur d'usage et la valeur intrinsèque a également été analysé.

Lors de la deuxième phase du projet nous avons étudié les possibilités de corrélation entre les groupes principaux de dégradation du relevé visuel et la portance, ceci en tenant compte des classes de trafic lourd. Les données utilisées à cet effet provenaient en grande partie de relevés d'état réalisé en 1995 et 2005 sur le réseau des routes de la Ville et du canton de Genève. Conformément aux évaluations théoriques, aucune corrélation significative entre la portance et les indices isolés IA1 à IA5 du relevé visuel n'a pu être mise en évidence. Nous avons au mieux constaté une légère amélioration du coefficient de corrélation pour l'indice IA2 en parallèle à l'augmentation de la charge de trafic lourd.

Dans la phase d'étude suivante nous avons analysé différentes possibilités de coupler la portance à l'évolution de l'état de surface. Le choix s'est pour finir porté sur une utilisation particulière de la valeur de structure SN (Structural Number) qui est un élément central des normes suisses de dimensionnement des superstructures routières à couches hydrocarbonées. Pour se faire nous avons d'une part calculé la perte de valeur SN liée aux différents paramètres de dégradations ainsi que son domaine de variation en fonction de la gravité des dégâts. D'autre part, nous avons déterminé pour chaque mesure d'entretien standard définies dans le projet VSS 2004/711 l'augmentation correspondante de la valeur SN. Le but final de cette démarche consiste à pouvoir choisir, en tenant compte des impératifs pratiques et économiques, la mesure d'assainissement compensant de façon optimale la perte de valeur SN occasionnée par les dégradations en place. Il a également été tenu compte de l'indice de portance I5 dans cette nouvelle démarche d'aide à la décision.

Dans la dernière phase du projet nous avons analysé les bases de calcul actuelles de la valeur d'usage et de la valeur intrinsèque (Annexe de la SN 640'904) afin d'y introduire les nouveaux indices isolés IA1 à IA5 de la norme SN 640'926. A cette occasion nous avons constaté un problème conceptuel de la norme actuel conduisant à une sensibilité insuffisante de ces deux indices composés. Les possibilités de transformation entre les indices composés basés sur l'indice I1 ou I0 et ceux futurs basés sur les indices isolés IAi ont été démontrées. La formule de transformation est donnée au chapitre 7. Elle a été testée lors du contrôle des valeurs d'ajustage d'indice consignées dans les tableaux du projet 1. Afin de remédier aux carences de sensibilité constatées sur les indices combinés actuels, nous avons fait des propositions d'intégration et de pondération des indices isolés IAi pour différents exemples types. Dans ce cadre nous avons augmenté la somme des coefficients de pondération de 1.0 actuellement à 1.6 ou 1.8 en fonction du type de route. Ceci permet ainsi d'atteindre une réactivité suffisante de la valeur d'usage et de la valeur intrinsèque, ce qui pourrait augmenter leur chance d'utilisation et leur apport comme indicateurs globaux d'appréciation.

## Abstract

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

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

Project 3 VSS 2004/713 “Influences and interactions of the surface quality and the bearing capacity on the intrinsic value and the user value” delivers an additional and new approach to quantify improvements to the bearing capacity of road surfaces regarding standard interventions for road maintenance.

Following the thin results of the initial bibliographical evaluation, the first phase of the individual research project 3 was dedicated to a reflexion about mechanisms of degradation and their visibility on the road surface during their phase of evolution. The potential interactions between the bearing capacity and the development of degradations were analyzed and described for each type of degradation according to SN 640'925. The field of influence of the various standardized degradations on the made up indices such as the user value and the intrinsic value was also analyzed.

In the second phase of the project we studied possible correlations between the individual groups of damages from the visual surveying and the bearing capacity, this by taking account of the five classes of heavy traffic. The data used for this purpose came mainly from the agglomeration road network of the city and the canton of Geneva (without motorways). The complete data records of the measuring campaigns 1995 and 2005 were used. In accordance with the theoretical evaluations, no significant correlation between the bearing capacity and the single indices IA1 to IA5 of the visual surveying evaluation could be highlighted. We have just noted a slight improvement of the coefficient of correlation for the single index IA2 in parallel with the increasing load class.

In the next phase of the study we analyzed various possibilities of linking the bearing capacity with the evolution of road surface quality. The choice finally fell on the specific use of the structure value SN (Structural Number), which is a central element of the Swiss standards for designing road superstructures with bituminous courses. Consequently, we have calculated the loss in SN value related to the various damage characteristics and its range for different degrees of damage severity. On the other hand, we determined the corresponding increase in the SN value for each standard intervention for road maintenance defined in project VSS 2004/711.

The final goal of the SN evaluation consists in compensating the loss in SN value caused by degradations, by increasing the SN value in an optimal way and by taking account of the practical and economic conditions for the potential maintenance intervention. The single bearing capacity index I5 was also considered in this new step of decision-making aid.

In the last phase of the project 3 we analyzed the current bases for calculation of the user value and the intrinsic value (Appendix of SN 640' 904), this especially according to the introduction of the new single indices IA1 to IA5 from the standard SN 640' 926. At this occasion we noted a conceptual problem of the current standard leading to an insufficient sensitivity of these two combined indices. The possibilities of transformation between the made up indices based on index I1 or I0 and those future based on the single indices IAi were shown. The formula of transformation is given in chapter 7. It was tested during the control of the fitting index values consigned in the tables of project 1. In order to cure the deficiencies of sensitivity noted on the current combined indices, we made proposals of integration and of weighting of the single indices IAi for various typical examples. Within this framework we increased the sum of the weighting coefficients of 1.0 currently to 1.6 or 1.8 according to the road type. This allows us to achieve a sufficient reactivity of the user value and the intrinsic value, which could increase their chance to be really used within the management of road maintenance as global indicators of appreciation.

# 1. Einleitung

## 1.1. Problemstellung

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

Das Einzelprojekt 3 „Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert“ (VSS 2004/713), als Teil dieses Forschungspaketes, untersucht die potentiellen Abhängigkeiten zwischen Oberflächenzustand und Tragfähigkeit und quantifiziert gegebenenfalls die Auswirkungen auf Schadenentwicklung und Wahl der verschiedenen standardisierten Erhaltungsmassnahmen. Diese Problemstellung stellt insofern eine Herausforderung dar, da in der vorhandenen Literatur kaum schlüssige Beiträge diesbezüglich zu finden sind.

Der Anhang der relativ neuen Norm SN 640 904 „Erhaltungsmanagement: Gesamtbewertung, Substanz- und Gebrauchswerte“ enthält für die erwähnten Indexbewertungen Regeln für die Zusammensetzung, unter anderem auch für die Indices die den Oberflächenzustand und die Tragfähigkeit beschreiben. Diese genügen jedoch nicht für eine differenzierte monetäre Behandlung und Beurteilung und müssten für eine aussagekräftige Gesamtbewertung noch optimiert werden.

## 1.2. Auftrag und Ziele

Gemäss Schreiben vom 13. Juli 2005 des Direktors des Bundesamts für Strassen (ASTRA) wurde die Forschungsstelle beauftragt, die vorliegenden Untersuchungen auszuarbeiten.

Die Bedeutung der beiden Zustandsgrössen Oberflächenbeschaffenheit resp. Tragfähigkeit hinsichtlich Substanzbewertung (Substanzwert) soll mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben näher untersucht und quantifiziert werden. Das Endziel ist die Erarbeitung von differenzierten Grundlagen für die Bewertung der Merkmale des Oberflächenzustandes (auf Grund der normierten visuellen Aufnahmemethodik) und der Tragfähigkeit und ihrer gegenseitigen Zusammenhänge. Diese Grundlagen müssen eine monetäre Bewertung, sei es nur eine indirekte, möglich machen.



## 2. Grundlagen

### 2.1. Visuelle Zustandserfassung: Definition und Kenngrössen

Die visuelle Zustandserfassung mit Schadenkatalog wird in der Regel angewandt, um eine erste Bewertung des Strassenzustandes aufgrund der optischen Oberflächenbeschaffenheit zu erstellen. Eine abschliessende Gesamtbeurteilung einer Strasse ist jedoch ohne zusätzliche Abklärungen (Tragfähigkeitsmessungen, Kernbohrungen etc.) nur bedingt möglich. Die visuellen Aufnahmen werden entweder von blossen Auge oder mittels optischer Hilfsmittel wie z.B. Videokamera durchgeführt. Die Bewertung erfolgt jeweils für eine Abschnittslänge von 100 m Fahrspur, bzw. 50 m Fahrbahn. Als Bewertungsansätze stehen die Schadensschwere und das Schadenausmass mit den Werten zwischen 1 (leicht) bis 3 (schwer) zur Verfügung. In der Norm SN 640'925b (Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen) sind die Kriterien für die Bewertung der Strassenoberfläche detailliert aufgeführt.

Bei der visuellen Zustandserfassung wird unterschieden zwischen einer Grobaufnahme gemäss der Norm SN 640'925b mit den Bewertungen I0 und I1, sowie einer Detailaufnahme, eher gemäss der neuen Norm SN 640'926 mit den Bewertungen IA<sub>1</sub> bis IA<sub>5</sub>.

- Grobaufnahme      Bei der visuellen Grobaufnahme wird pro Schaden-Hauptgruppe eine Beurteilung mit entsprechender Bewertung erhoben. Die Bewertung erfolgt durch abschätzen von Schadenausmass und Schadensschwere und der Multiplikation der entsprechenden Bewertungsansätze (1 bis 3).
- Detailaufnahme      Für die Detailaufnahmen werden pro Schadenhauptgruppe diverse Beurteilungssparten bewertet. Jede einzelne Sparte wird analog der Grobaufnahme durch abschätzen von Schadenausmass und Schadensschwere quantifiziert. Die Multiplikation der beiden Schadenparameter ergibt pro Sparte eine Bewertung zwischen 0 und 9. Der Zustand der jeweiligen Schaden-Hauptgruppe wird durch Addition der einzelnen Beurteilungssparten ermittelt. Die Summe aller Resultate der diversen Schadenhauptgruppen ergibt ein Bild über den Gesamtzustand einer Strasse.

### 2.2. Tragfähigkeitserhebung: Definition und Kenngrössen

Entweder als Ergänzung zu den visuellen Aufnahmen oder als eigenständige Beurteilung der Qualität eines Strassenkörpers können Tragfähigkeitsmessungen durchgeführt werden. Die Tragfähigkeit einer Strasse wird mittels Deflektionsmessungen bestimmt. Eine Deflektion ist die Tiefe der Einsenkungsmulde unter einer bestimmten Last. Aufgrund der gemessenen maximalen Einsenkung (Deflektion) und dem Verlauf der Deflektionsmulde sind Rückrechnungen für die Qualität der einzelnen Schichten des Strassenaufbaus möglich. Bei den Rückrechnungen werden die E-Moduli der jeweiligen Schichten unter Berücksichtigung der Materialien (Kies, gebundene Schichten, bituminöse Schichten etc.) und der Bodentemperaturen bestimmt.

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit stehen verschiedene Deflektions-Messsysteme zur Verfügung. In den Schweizernormen sind Deflektionsmessungen mit dem Benkelman-Balken sowie mit dem Lacroix-Deflektographen erwähnt. Verschiedentlich werden auch Deflektionsmessungen mit dem Falling-Weight-Deflektometer (FWD) durchgeführt. Aufgrund der unterschiedlichen Auswertungsgrundsätze der FWD-Systeme wurde bisher noch keine standardisierte Beurteilungsmethodik in die Norm aufgenommen.

Für flächendeckende Tragfähigkeitsmessungen ist der Lacroix-Deflektograph aufgrund der systematischen dynamischen Muldenmessung unter einer LKW-Achse von 10 t Achslast prädestiniert. Bei diesem System werden in jeder Radspur mit einem Abstand von durchschnittlich 5 bis 6 m Deflektionsmulden gemessen.

### **2.3. Einreihung in einer Gesamtbewertung**

Die übliche Gesamtbewertung einer Strasse beruht auf den Grundlagenergebnissen der visuellen Aufnahmen und den ergänzenden Aufnahmen von Deflektionsmessungen und Kernbohrungen mit entsprechenden Resultaten über die Beschaffenheit der Belagszusammensetzung und den Schichtstärken. Ebenso sind für eine Gesamtbewertung Ebenheits- und Griffigkeitsmessungen notwendig. Durch Kombination der visuellen Zustandserhebungen mit den Tragfähigkeits-, Ebenheits- und Griffigkeitsmessungen können aufgrund der Resultate Substanzwert und Gebrauchswert beurteilt werden. Mit diesen Werten kann eine dringlichkeitsrelevante Gesamtbeurteilung in die Massnahmenplanung miteinbezogen werden. Somit besteht die Möglichkeit, die vorhandenen Mittel möglichst effizient einzusetzen mit dem Ziel, durch möglichst kleinen Einsatz die maximal mögliche Qualitätsverbesserung zu erzielen.

### **2.4. Einflüsse auf Substanzwert und Gebrauchswert**

Mit dem Anhang der bestehenden Norm SN 640'904 ist eine Beurteilung des Gebrauchswertes und des Substanzwertes möglich. Diese Gesamtbeurteilung basiert jedoch mit der momentanen Normierung auf dem „zusammengesetzten“ Index  $I_0$ . Der Index  $I_0$  der visuellen Oberflächenschäden fasst die verschiedenen Zustandsmerkmale der fünf Hauptgruppen zusammen und ist somit ungeeignet für eine zielgerichtete Zuteilung der unterschiedlichen Anteile an Gebrauchs- und Substanzwert.

In Abb. 1 sind die potentiellen Zusammenhänge graphisch dargestellt. Für eine aussagekräftige Gesamtbeurteilung sollten die untersten drei, substanzrelevanten, Parameter „Schichtdicke, Schichtverbund und Bindemittel“ ebenfalls mit einbezogen werden. Diese Werte sind nicht durch Indizes gekennzeichnet, können aber durch gezielte Kernbohrungen mit entsprechenden Analysen ermittelt werden.

Die gesamte Schichtdicke eines Belages sollte je nach Verkehrsbelastung (T1 bis T6) eine minimale Stärke aufweisen. Ist die Minimalstärke unterschritten, treten an der Unterkante des Belages zu grosse Zugspannungen auf, sodass Rissbildungen entstehen. Diese Risse treten jedoch erst bei fortschreitender Entwicklung an der Oberfläche auf und lassen in der Folge kaum mehr kostengünstige Sanierungen der Strassenoberfläche zu.

Der Schichtverbund ist ein ebenso wichtiges Kriterium, da bei vermindertem oder vollständig fehlendem Schichtverbund keine Verteilung der Zugspannungen möglich ist. Als Folge davon ist eine rasche Beschädigung der einzelnen Schichten zu registrieren.

Von der Qualität des Bindemittels hängt das Langzeitverhalten des Belages ab. Bei zu hartem Bindemittel sind je nach klimatischen Bedingungen thermische Rissbildungen zu befürchten. Im Gegensatz dazu leidet bei zu weichem Bindemittel die Standfestigkeit des Belages, wodurch Spurrinnen entstehen und damit die Gefahr von Aquaplaning steigt.

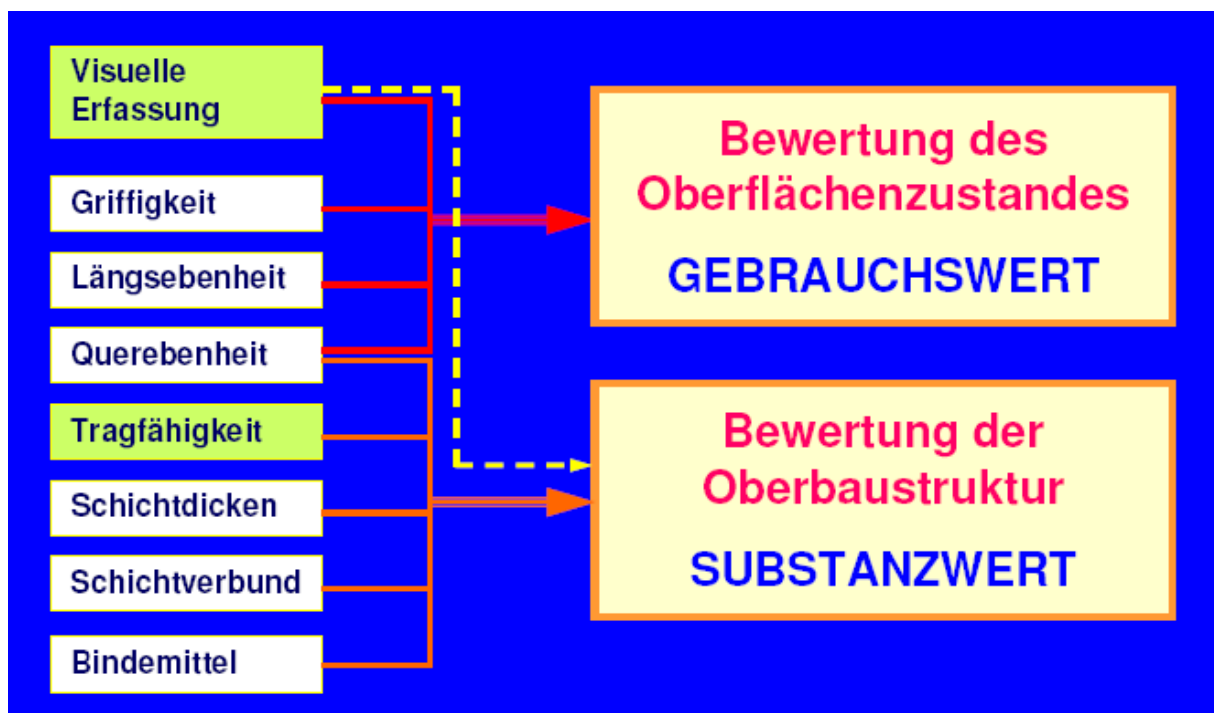


Abb. 1: Einflussparameter auf Gebrauchswert und Substanzwert. Für eine genauere Unterteilung sollten die Hauptgruppen der visuellen Erfassung unterschieden werden.

## 2.5. Ergebnisse der Literaturlauswertung

Die Ergebnisse der Literaturlauswertung waren, wie erwartet, sehr mager. Die Frage der gegenseitigen Beziehung zwischen visuellem Zustand und Tragfähigkeit sind in dieser Form kaum untersucht worden.

Hingegen konnten wir einigen Literaturquellen, insbesondere aus Deutschland und Österreich, über die Gesamtbewertung von Strassen anhand zusammengesetzter Indexe finden. Dabei werden der Gebrauchswert, der Substanzwert, sowie ihre Aggregation in Form eines Gesamtindexes gebildet. Die Abbildung 2 zeigt ein Beispiel einer solchen Gesamtbewertung.

Die Grundlagen für eine Bewertung anhand von Gebrauchs- und Substanzwert sind in der Schweiz im Anhang der Norm SN 640'904 vorhanden. Diese Art der Bewertung hat sich aber bis anhin nicht durchgesetzt.

### Bildung Teilwerte und Gesamtwert bei Asphaltbefestigungen

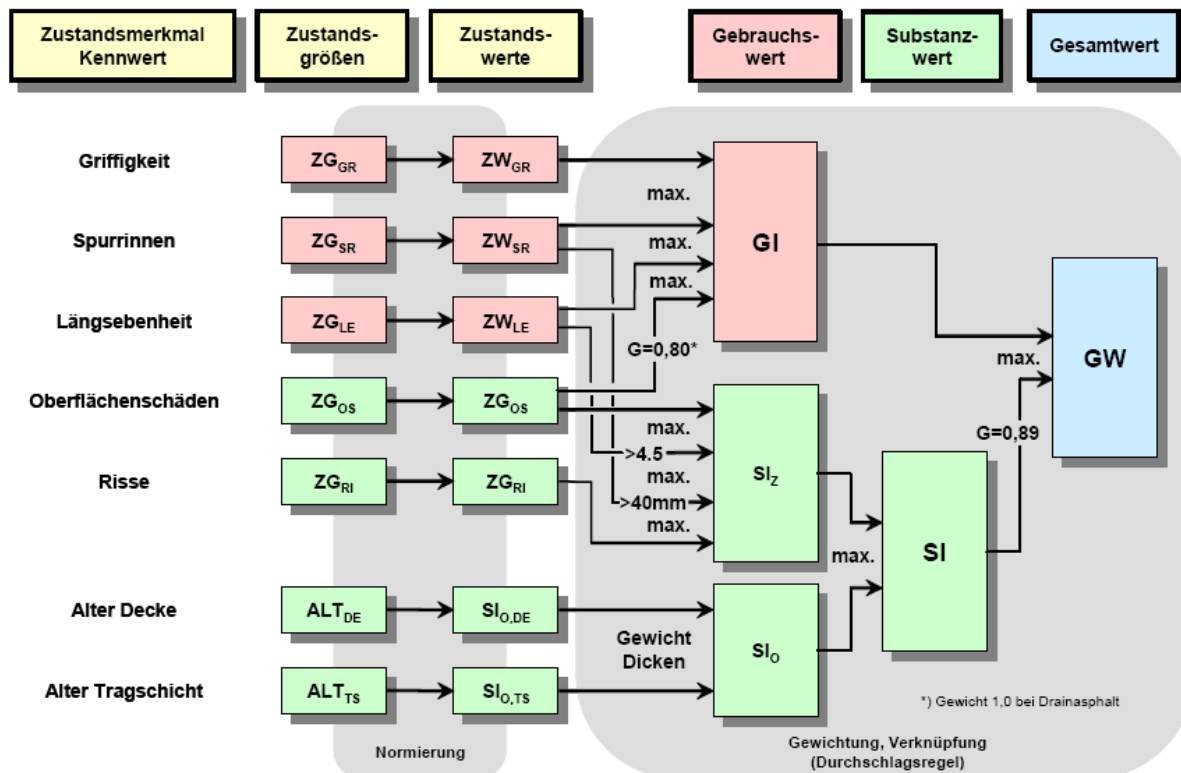


Abb. 2: Beispiel einer Bildung von Teilwerten (Gebrauchs- und Substanzwert) zur Bestimmung eines Gesamtwertes. Quelle: J. Litzka ; Institut für Strassenbau und Strassenerhaltung, TU-Wien [7]

### **3. Analyse der Schadenentwicklung**

#### **3.1. Einführung**

In diesem Kapitel werden die gegenseitigen Beziehungen zwischen Schadenentwicklung, Schadensichtbarkeit und Tragfähigkeit untersucht. Die Untersuchungen beinhalten verschiedene Aufbauten von Strassenkörpern mit den jeweiligen Schlussfolgerungen bezüglich möglicher Schadenentwicklung und Schadensichtbarkeit (Sichtbarkeit des Schadenbildes an der Fahrbahnoberfläche) und die direkten Folgen für den Strassenbetreiber.

Nach einigen illustrativen Beispielen über die teilweise sehr unterschiedlichen Verläufe der Schadensichtbarkeit (Erhebung durch visuelle Zustandserfassung) und des eigentlichen Schadenbildes, unter Einbezug der entsprechenden potentiellen Tragfähigkeitsveränderung, werden in diesem Kapitel die möglichen Einflüsse der standardisierten Schadenbilder [2] auf die Tragfähigkeit, sowie umgekehrt die Einflüsse der Tragfähigkeit auf die Entwicklung der verschiedenen Schadenbilder, detailliert untersucht.

#### **3.2. Verlauf der Schadenentwicklung und der Schadensichtbarkeit**

Mit den vier nachfolgend aufgeführten Fallbeispielen wird aufgezeigt, wie sich bei unterschiedlichen Oberbaukonfigurationen (Qualität der Foundation, Belagsstärke, etc.) die Schadenentwicklung und die Schadensichtbarkeit verhalten sowie die entsprechenden Auswirkungen auf die Tragfähigkeit. Diese Beispiele zeigen deutlich, dass eine optisch (noch) gute Oberfläche nicht automatisch auch eine genügende Tragfähigkeit und eine genügende Belagsstärke aufweist. In bestimmten Konfigurationen von Oberbaustrukturen und Schadentypen (Fallbeispiele 3 & 4) werden die Schäden erst im Endstadium der Schadenentwicklung an der Fahrbahnoberfläche sichtbar. Diese Situation ist sehr trügerisch, da die Strasseneigentümer zu lange von einer genügenden Integrität ausgehen und dadurch den Zeitpunkt für eine kostengünstige Sanierung oder Verstärkung verpassen. Die Folge sind vielfach kostspielige Gesamtanierungen mit grossen verkehrstechnischen Behinderungen, die durch Früherkennung auf ein Minimum beschränkt werden könnten.

### 3.3. Schadenentwicklung, Schadensichtbarkeit und Tragfähigkeit

Das nachfolgende Fallbeispiel zeigt die verschiedenen Verläufe bei ungenügender Belagsstabilität der Deckschicht und genügender Tragfähigkeit (100%). Die Schadenentwicklung (Spurrinnenbildung durch Fließen innerhalb der Deckschicht) und die Schadensichtbarkeit verlaufen parallel während dem ganzen Prozess. Auf die Tragfähigkeit hat die Spurrinnenbildung in dieser Konfiguration jedoch keinen Einfluss.

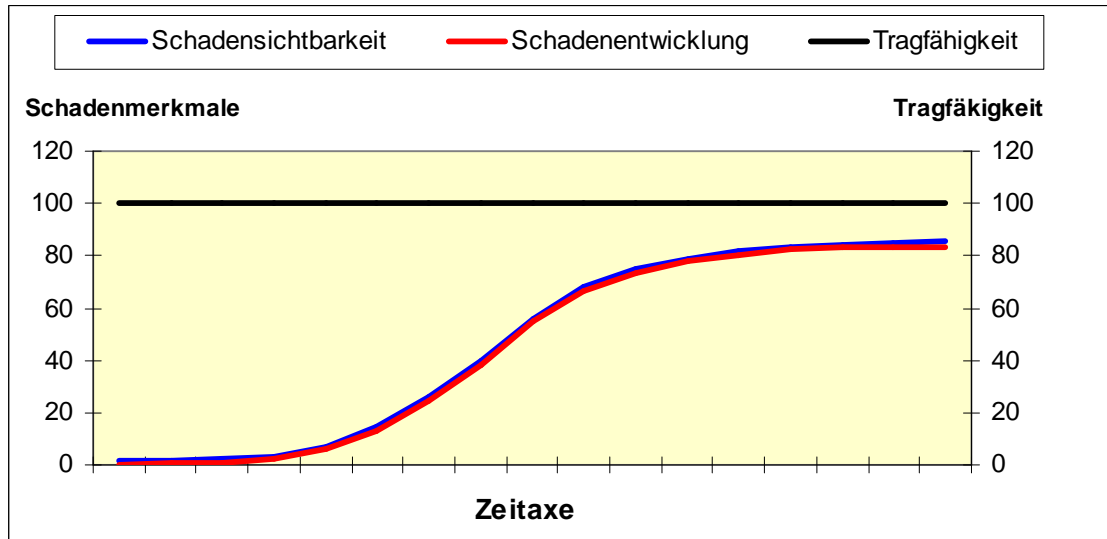


Abb. 3: Fallbeispiel 1 - Spurrinnenbildung infolge ungenügender Stabilität der Deckschicht

Beim nächsten Fallbeispiel mit ungenügender Verdichtung der Unterlage entsteht die Spurrinnenbildung in der gesamten Belagsdicke durch kontinuierliche Nachverdichtung der Fundationsschicht unter Verkehr. Es ist ersichtlich, dass sich die Tragfähigkeit von Beginn weg auf einem ungenügenden Niveau befindet und durch die Spurrinnenbildung infolge Nachverdichtung mit der Zeit leicht zunimmt (70 >> 80%).

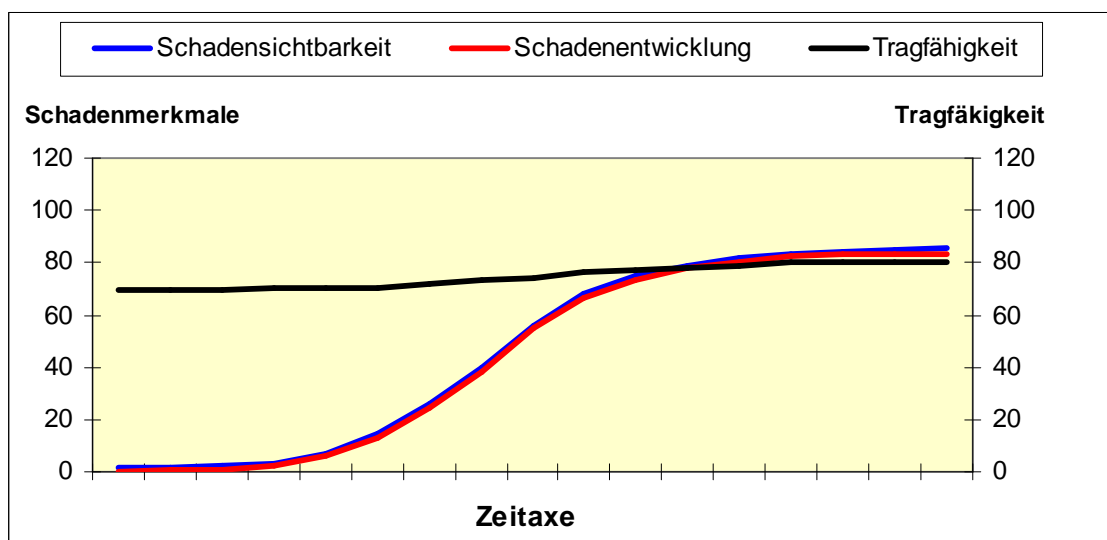


Abb. 4: Fallbeispiel 2 - Spurrinnenbildung infolge Nachverdichtung der Unterlage

Bei zu dünnen Belagsschichten für die jeweilige Lastklasse beginnt die Schadenentwicklung schon bald nach Inbetriebnahme der Strasse, während die Schäden über lange Zeit unsichtbar bleiben. Der Verlauf dieser Entwicklung basiert auf der Erkenntnis, dass bei zu dünnen Belagsschichten infolge hoher Zugspannung auf der Belagsunterkante zuerst die unteren Belagsschichten von der Rissbildung betroffen sind. Wenn die Risse dann an der Oberfläche sichtbar werden, ist es für eine kostengünstige Sanierung meistens schon zu spät. Die Tragfähigkeit wird durch die Rissbildung (Einzelrisse) nicht beeinflusst.

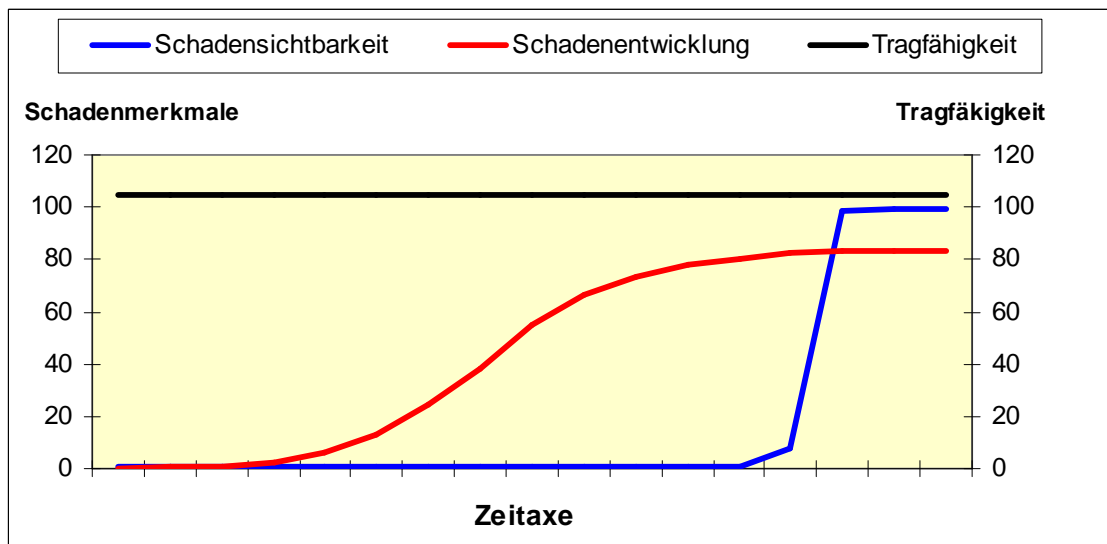


Abb. 5: Fallbeispiel 3 - Rissbildung infolge zu dünner Belagsschichten für die Lastklasse

Bei ungenügender Tragfähigkeit der Fundationsschicht für den vorhandenen Schwerverkehr sind Schadenverlauf und Schadensichtbarkeit praktisch identisch mit dem vorhergehenden Fallbeispiel. Der Unterschied zeigt sich hauptsächlich in der tiefer liegenden Tragfähigkeitslinie (80%). Auf die schon ungenügende Tragfähigkeit hat auch diese Art der Rissbildung keinen unmittelbaren Einfluss.

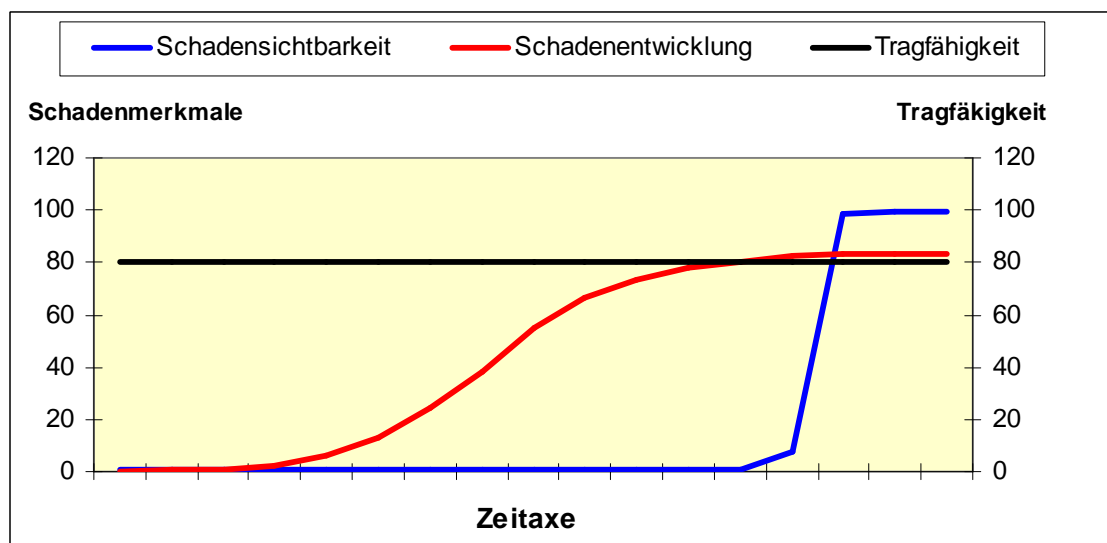


Abb. 6: Fallbeispiel 4 - Rissbildung infolge ungenügender Tragfähigkeit unter dem Belag

### 3.4. Einfluss der Tragfähigkeit auf die Schadenentwicklung

In den nachfolgenden Tabellen (Tab. 1 - Tab.3) werden die gegenseitigen Beziehungen zwischen den normierten Schadenmerkmalen und der Tragfähigkeit in unterschiedlichen Betrachtungsweisen gegenübergestellt. Einerseits wird der Einfluss der Tragfähigkeit auf die Schadenentwicklung aufgezeigt, andererseits werden die Auswirkungen der Oberflächenschäden auf die Tragfähigkeit beurteilt. Die möglichen Einflüsse der Schäden auf den Substanz- und Gebrauchswert einer Strasse sind ebenfalls erläutert.

Die Tabelle 1 zeigt den Einfluss der Tragfähigkeit auf die potentielle Schadenentwicklung eines Strassenoberbaus.

#### Einfluss der Tragfähigkeit auf die Hauptgruppen

- Oberflächenglätte:** Auf die Oberflächenglätte hat die Tragfähigkeit keinen Einfluss, da die Parameter Polieren und Schwitzen nicht von der Qualität der Tragfähigkeit abhängig sind.
- Belagsschäden:** Die Belagsschäden werden durch die Tragfähigkeit lediglich bei den Parametern Querrisse und wilde Risse leicht beeinflusst, alle andern Parameter sind nicht betroffen.
- Belagsverformungen:** Die Belagsverformungen sind in den meisten Fällen das Resultat von ungenügender Belagsqualität, ungeeigneter Mischgutzusammensetzung oder mangelndem Schichtverbund. Eine Ausnahme bilden Spurrinnen im gesamten Oberbau. In diesem Fall ist eine mittlere Einflussnahme durch die Tragfähigkeit zu verzeichnen infolge Nachverdichtung des obersten Bereiches der Fundationsschicht.
- Strukturelle Schäden:** Strukturelle Schäden sind meistens auf mangelnde Tragfähigkeit der Fundationsschicht oder auf eine generelle Unterdimensionierung des Oberbaus zurückzuführen. Ein mittlerer Einfluss der Tragfähigkeit ist bei abgedrückten Rändern, Belagsrandrissen und Frosthebungen zu verzeichnen, während Setzungen, Anrisse von Setzungen sowie Längs- und Netzrisse stark durch die Tragfähigkeit beeinflusst werden können.
- Flicke:** Auf Flicke hat die Tragfähigkeit keinen Einfluss



Schadenmerkmale gemäss Norm SN 640'925	Einfluss der Tragfähigkeit auf die Schadenmerkmale	
	Bewertung	Beschreibung
<b>Oberflächenglätte</b>		
Polieren	<b>Keinen</b>	
Schwitzen	<b>keinen</b>	
<b>Belagsschäden</b>		
Abrieb	<b>keinen</b>	
Ausmagerung	<b>keinen</b>	
Kornausbrüche	<b>keinen</b>	
Ablösungen	<b>keinen</b>	
Schlaglöcher	<b>keinen</b>	
Offene Nähte	<b>keinen</b>	
Querrisse	<b>leicht</b>	Eventuell wegen gerissener Stabilisierung
Wilde Risse	<b>leicht</b>	Weisen in den meisten Fällen eher auf thermische Einflüsse hin (Mischgutqualität)
<b>Belagsverformungen</b>		
Spurrinnen im Belag	<b>keinen</b>	
Spurrinnen in allen bituminösen Schichten	<b>mittel</b>	Verursacht durch Nachverdichtung der ungenügend verdichteten bzw. aufgelockerten Fundationsschicht
Aufwölbungen	<b>keinen</b>	Mischgutproblematik
Wellblechverformung	<b>keinen</b>	Mangelhafter Schichtverbund
Schubverformung	<b>keinen</b>	Belagsaufbau zu schwach dimensioniert sowie mangelhafter Schichtverbund
<b>Strukturelle Schäden</b>		
Setzungen / Einsenkungen	<b>stark</b>	Fundationsschicht zu schwach
Anrisse von Setzungen	<b>mittel - stark</b>	Nicht fachmännisch ausgeführte Fundationsschicht im Randbereich oder ausgelöst durch Abrutschen der Böschung
Abgedrückte Ränder	<b>mittel</b>	Nicht fachmännisch ausgeführte Fundationsschicht im Randbereich, bzw. ungenügende Strassenbreite.
Belagsrandrisse	<b>mittel</b>	Nicht fachmännisch ausgeführte Fundationsschicht im Randbereich oder ungenügende Strassenbreite
Frosthebungen	<b>mittel</b>	Fundationsschicht nicht frostsicher
Längsrisse	<b>stark</b>	Zu hohe Spannungen an der Belagsunterkante. Fundation oder Belag zu schwach
Netzrisse	<b>stark</b>	Allgemein schlechte Fundationsschicht oder Kiesqualität mangelhaft, bzw. unterdimensionierter Oberbau
<b>Flicke</b>	<b>keinen</b>	

Tab. 1: Einfluss der Tragfähigkeit auf die einzelnen Schadenmerkmale

### 3.5. Einfluss der Schadenentwicklung auf die Tragfähigkeit

Der Einfluss der Schadenentwicklung auf die Tragfähigkeit eines Strassenoberbaus wird in der Tabelle 2 beurteilt und dargestellt. Es zeigt sich, dass der Hauptanteil des Einflusses auf die Tragfähigkeit durch Strukturbelastung bei Schlägen oder Unebenheiten einerseits und Beeinträchtigung der Foundationsschicht durch Wassereindringung andererseits zurückzuführen ist.

#### Einflüsse der Hauptgruppen auf die Tragfähigkeit

- Oberflächenglätte:** Die Oberflächenglätte übt auf die Tragfähigkeit des Oberbaus keinen Einfluss aus.
- Belagsschäden:** Von den Belagsschäden sind die Parameter Abrieb, Ausmagerung und Kornausbrüche ohne Einfluss auf die Tragfähigkeit. Sie wird durch diese Schadenbilder nicht beeinträchtigt. Die anderen Parameter weisen einen leichten bis mittleren Einfluss auf die Tragfähigkeit auf. Bei Ablösungen ist der Einfluss eher indirekt, da als Folge davon grossflächige Abblätterungen entstehen können und somit die Belagsstärke reduziert wird (Reduktion der Oberbaustärke). Schlaglöcher und offene Nähte sowie Querrisse und wilde Risse beeinflussen die Foundationsschicht durch Wassereindringung, was die Frostresistenz und die Tragfähigkeit abmindert. Bei den Schlaglöchern kommt noch die Strukturbelastung dazu.
- Belagsverformungen:** Bei den Belagsverformungen sind sowohl die Spurrinnen im Belag wie auch die Spurrinnen im gesamten Oberbau ohne Einfluss auf die Tragfähigkeit. Aufwölbungen, Wellblech- und Schubverformungen wirken sich durch Strukturbelastungen leicht bis mittel aus.
- Strukturelle Schäden:** Anrisse von Setzungen, abgedrückte Ränder und Belagsrandrisse beeinträchtigen die Tragfähigkeit nicht wesentlich, da durch diese Parameter der dynamische Kräfteverlauf nicht tangiert wird. Längs- und Netzrisse hingegen vermindern die Tragfähigkeit durch eindringendes Wasser. Bei Frosthebungen sowie Einsenkungen und Setzungen ist lediglich ein indirekter Einfluss infolge dadurch hervorgerufener Unebenheiten und die daraus resultierenden Strukturbelastungen auszumachen.
- Flicke:** Die Flicke haben auf die Tragfähigkeit keinen negativen Einfluss, sofern sie fachmännisch einwandfrei ausgeführt und verdichtet werden.

Schadenmerkmale gemäss Norm SN 640'925	Einfluss der Schadenmerkmale auf die Tragfähigkeit	
	Bewertung	Beschreibung
<b>Oberflächenglätte</b>		
Polieren	keinen	
Schwitzen	keinen	
<b>Belagsschäden</b>		
Abrieb	keinen	
Ausmagerung	keinen	
Kornausbrüche	keinen	
Ablösungen	mittel	Weist auf einen schlechten Schichtverbund hin
Schlaglöcher	mittel	Strukturbelastung durch Schläge Wassereindringung in Fundationsschicht
Offene Nähte	leicht	Wassereindringung in den unteren Schichten
Querrisse	mittel	Wassereindringung in Fundationsschicht
Wilde Risse	leicht - mittel	Wassereindringung in den unteren Schichten. Bei schwerer Ausbreitung, keine kompakte Deckschicht mehr vorhanden
<b>Belagsverformungen</b>		
Spurrinnen im Belag	keinen	
Spurrinnen in allen bituminösen Schichten	leicht	Lokale Nachverdichtung in den Radspuren, aber keine globale Wirkung auf Tragfähigkeit
Aufwölbungen	leicht	Strukturbelastung durch Unebenheit
Wellblechverformung	leicht	Strukturbelastung durch Unebenheit
Schubverformung	leicht	Strukturbelastung durch Unebenheit
<b>Strukturelle Schäden</b>		
Setzungen / Einsenkungen	leicht	Folgeerscheinung der mangelnden Tragfähigkeit. Es resultieren Unebenheiten, die zu Strukturbelastungen führen.
Anrisse von Setzungen	keinen	dito
Abgedrückte Ränder	keinen	dito
Belagsrandrisse	keinen	dito
Frosthebungen	leicht	Strukturbelastungen infolge Unebenheiten.
Längsrisse	leicht - mittel	Zusätzliche Verschlechterung einer mangelhaften Fundationsschicht durch Wassereindringung.
Netzrisse	leicht - mittel	Zusätzliche Verschlechterung einer mangelhaften Fundationsschicht durch Wassereindringung.
<b>Flicke</b>	keinen	

Tab. 2: Einfluss der Entwicklung der einzelnen Schadensmerkmale auf der Tragfähigkeit

### 3.6. Einflüsse der Schäden auf Substanz- und Gebrauchswert

In der Tabelle 3 werden die Beziehungen zwischen den Schadenbildern und deren Wirkung und Einfluss auf den Substanz- und Gebrauchswert dargestellt. Beim Grossteil der Schadenbilder ist die Wirkung auf den Substanzwert grösser als auf den Gebrauchswert. Dem Substanzwert wird jedoch bei oberflächlichen Betrachtungen vielfach zu wenig Beachtung geschenkt. Das hat dann zur Folge, dass aufgrund der Beurteilung des Gebrauchswertes eine trügerische, zu gute Gesamtbeurteilung des Strassenkörpers erfolgt. Der dadurch nicht beachtete Substanzverlust wirkt jedoch unbemerkt weiter und mündet vielfach in schweren Schäden, die eine Gesamtanierung notwendig machen (siehe auch Abb. 1 bis 4 in Kap. 3.3 „Schadenentwicklung, Schadensichtbarkeit und Tragfähigkeit“).

#### Kurzbeschreibung

- Oberflächenglätte:** Die Oberflächenglätte hat durch eine verminderte Griffigkeit einen mittleren Einfluss auf den Gebrauchswert (bei Nässe). Der Substanzwert hingegen wird dadurch nicht beeinflusst.
- Belagsschäden:** Bei Belagsschäden wird der Gebrauchswert lediglich durch Ablösungen und Schlaglöcher mittel bis stark beeinflusst. Alle anderen Parameter sind ohne Wirkung.  
Der Substanzwert hingegen wird stärker in Mitleidenschaft gezogen. Es ist lediglich bei Abrieb und Ausmagerung kein Einfluss auszumachen, während bei allen anderen Parametern der Substanzwert leicht bis stark beeinträchtigt wird.
- Belagsverformungen:** Die Belagsverformungen sind das einzige Kriterium, wo der Einfluss auf den Gebrauchswert grösser ist als auf den Substanzwert.  
Bei den Spurrinnen ist eine mittlere und bei Wellblechverformungen eine mittlere bis starke Wirkung auszumachen. Aufwölbungen und Schubverformungen dagegen haben lediglich einen leichten (und lokalen) Einfluss auf den Gebrauchswert.  
Beim Substanzverlust variiert die Einflussnahme bei allen Parametern zwischen leicht und mittel.
- Strukturelle Schäden:** Der Unterschied zwischen dem Einfluss auf Gebrauchswert und Substanzwert zeigt sich bei den strukturellen Schäden am ausgeprägtesten: Bei „Setzungen/Einsenkungen“ und „Anrissen von Setzungen“ ist ein mittlerer bis starker Einfluss auf den Gebrauchswert zu verzeichnen, während alle anderen Parameter eine leichte bis mittlere Wirkung haben.  
Auf den Substanzwert ist die Wirkung bei abgedrückten Rändern, Belagsrandrissen und Frosthebungen mittelmässig, bei den restlichen Parametern jedoch überall mittel bis stark.
- Flicke:** Flicke wirken durch die Gefahr von offenen Nähten und möglichen Unebenheiten leicht auf die Gebrauchsdauer.  
Der Substanzwert wird hingegen nicht beeinträchtigt, da bei Flickern in der Regel die Foundationsschicht mit erneuert wird.

Schadenmerkmale gemäss Norm SN 640'925	Einfluss <b>durch</b> Tragfähigkeit	Einfluss <b>auf</b> Tragfähigkeit	Einfluss auf <b>Gebrauchswert</b>	Einfluss auf <b>Substanzwert</b>
<b>Oberflächenglätte</b>				
Polieren	keinen	keinen	mittel	keinen
Schwitzen	keinen	keinen	mittel	keinen
<b>Belagschäden</b>				
Abrieb	keinen	keinen	keinen	keinen
Ausmagerung	keinen	keinen	keinen	keinen
Kornausbrüche	keinen	keinen	keinen	leicht
Ablösungen	keinen	mittel	mittel	mittel
Schlaglöcher	keinen	mittel	<b>stark</b>	<b>mittel - stark</b>
Offene Nähte	keinen	leicht	keinen	leicht
Querrisse	leicht	mittel	keinen	mittel
Wilde Risse	leicht	leicht - mittel	keinen	leicht - mittel
<b>Belagsverformungen</b>				
Spurrinnen im Belag	keinen	keinen	mittel	leicht
Spurrinnen im gesamten Oberbau	mittel	keinen - leicht	mittel	leicht - mittel
Aufwölbungen	keinen	leicht	leicht	leicht
Wellblechverformung	keinen	leicht	<b>mittel - stark</b>	mittel
Schubverformung	keinen	leicht	leicht	leicht - mittel
<b>Strukturelle Schäden</b>				
Setzungen / Einsenkungen	<b>stark</b>	keinen	<b>mittel - stark</b>	<b>mittel - stark</b>
Anrisse von Setzungen	<b>mittel - stark</b>	keinen	<b>mittel - stark</b>	<b>mittel - stark</b>
Abgedrückte Ränder	mittel	keinen	mittel	mittel
Belagsrandrisse	mittel	keinen	leicht	leicht - mittel
Frosthebungen	mittel	keinen	leicht - mittel	mittel
Längsrisse	<b>stark</b>	leicht - mittel	leicht	<b>mittel - stark</b>
Netzrisse	<b>stark</b>	leicht - mittel	leicht	<b>mittel - stark</b>
<b>Flicke</b>	keinen	keinen	leicht	keinen

Tab. 3: Zusammenfassung der gegenseitigen Einflüsse zwischen Schadenmerkmalen und Tragfähigkeit sowie Einfluss der einzelnen Schadensmerkmale auf Gebrauchs- und Substanzwert

### 3.7. Schlussfolgerungen dieser Analyse

Mit den aufgeführten Fallbeispielen wurde aufgezeigt, wie sich bei unterschiedlichen Oberbaukonfigurationen (Qualität der Foundation, Belagsstärke, etc.) die Schadenentwicklung und die Schadensichtbarkeit verhalten sowie die Auswirkungen, die sie auf die Tragfähigkeit ausüben. Diese Beispiele zeigen deutlich, dass eine visuell gut wirkende Oberfläche nicht immer wirklich Schadenfrei ist, beziehungsweise eine genügende Tragfähigkeit und eine genügende Belagsstärke aufweist. In bestimmten Konfigurationen von Oberbaustrukturen und Schadentypen (Fallbeispiele 3 & 4) werden die Schäden erst im Endstadium der Schadenentwicklung an der Fahrbahnoberfläche sichtbar.

Die entsprechenden Wechselwirkungen zwischen den visuell erfassten einzelnen Schadenbildern und der Tragfähigkeit zeigen ebenfalls eine grosse Vielfalt und sehr unterschiedliche Ausprägungen. Einfache und allgemein gültige Zusammenhänge zwischen dem visuellen Zustand und der Tragfähigkeit sind somit weder zuverlässig zu erheben (Problematik der Schadensichtbarkeit an der Fahrbahnoberfläche) noch lassen sie sich konzeptuell begründen. Die Analyse der potentiellen Wechselwirkungen muss somit methodisch erweitert werden und die Besonderheiten der Entwicklungsmechanismen der einzelnen Schadenbilder berücksichtigen.

Dem effektiven Substanzwert wird mit einer oberflächlichen visuellen Erhebung ebenfalls vielfach zu wenig Beachtung geschenkt. Das hat dann zur Folge, dass aufgrund der Beurteilung des Gebrauchswertes eine trügerische, zu gute, Gesamtbeurteilung des Strassenkörpers erfolgt. Der dadurch nicht beachtete Substanzverlust wirkt jedoch unbemerkt weiter und mündet vielfach in schweren Schäden, die später eine Gesamtsanierung notwendig machen.

## 4. Untersuchung von Datenbeständen

### 4.1. Einführung

Bei den nachfolgend aufgeführten Korrelationsversuchen wurden die Beziehungen zwischen visuellem Zustand und Tragfähigkeit, mit Berücksichtigung der einzelnen Lastklassen, untersucht. Die vorliegenden Daten stammen vorwiegend aus dem Agglomerations-Strassennetz der Stadt und des Kantons Genf ohne Autobahnen.

### 4.2. Korrelationsversuch Tragfähigkeit - Index I1 gesamthaft

Die erste Versuchsreihe hat, der Vollständigkeit halber, allfällige Zusammenhänge untersucht zwischen Tragfähigkeit und Index I1 gesamthaft. Bei der Gesamtbetrachtung über alle Lastklassen von T2 bis T6 (Abb. 7) ist aufgrund der sehr gleichmässig gestreuten Untersuchungsergebnisse erwartungsgemäss absolut keine Korrelation festzustellen. Es ist keine Trendlinie auszumachen.

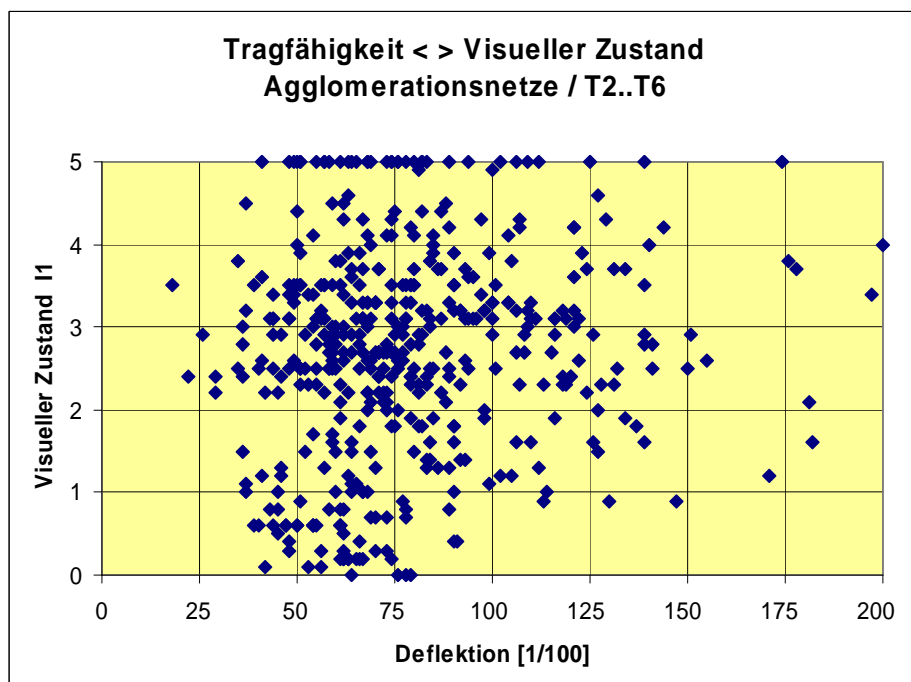


Abb. 7: Verteilung der Wertepaare : Tragfähigkeit – Globaler Index I1

### 4.3. Korrelationsversuch Tragfähigkeit - Index I1 pro Lastklasse

Beim Korrelationsversuch Tragfähigkeit - Index I1 pro Lastklasse ist bei allen untersuchten Lastklassen (Abb. 8 - Abb. 10) keine Korrelation festzustellen. Die Trendlinien fallen sehr flach aus, die Werte sind meist breit und gleichmässig gestreut.

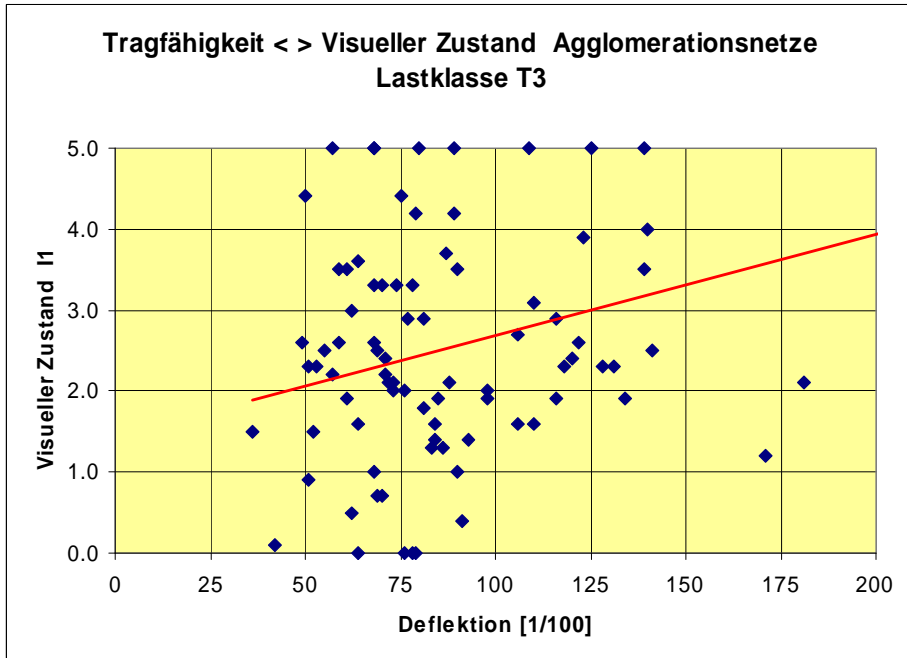


Abb. 8: Verteilung der Wertepaare nur für T3 : Tragfähigkeit – Globaler Index I1

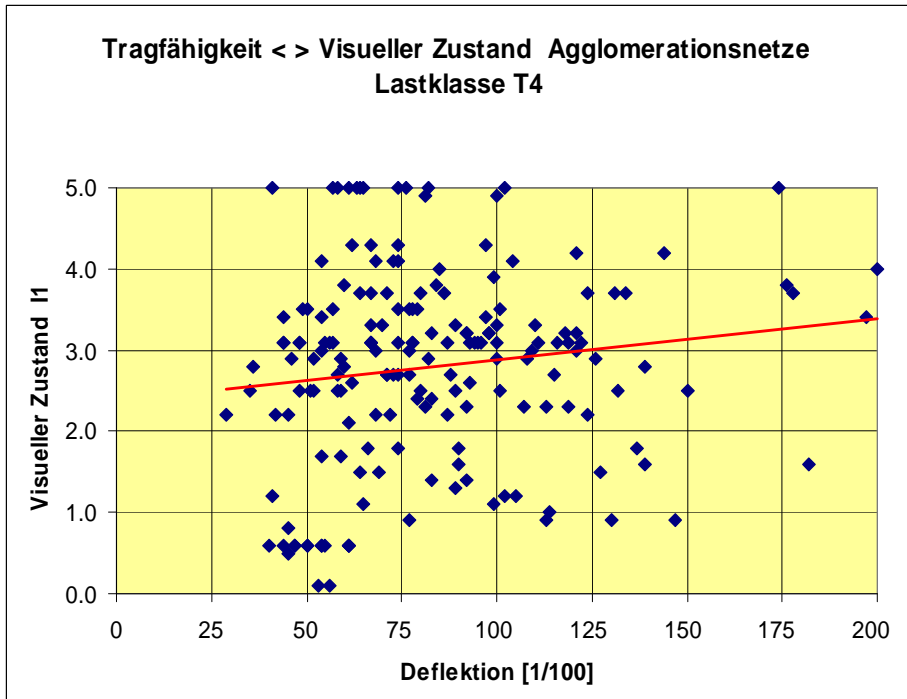


Abb. 9: Verteilung der Wertepaare nur für T4: Tragfähigkeit – Globaler Index I1



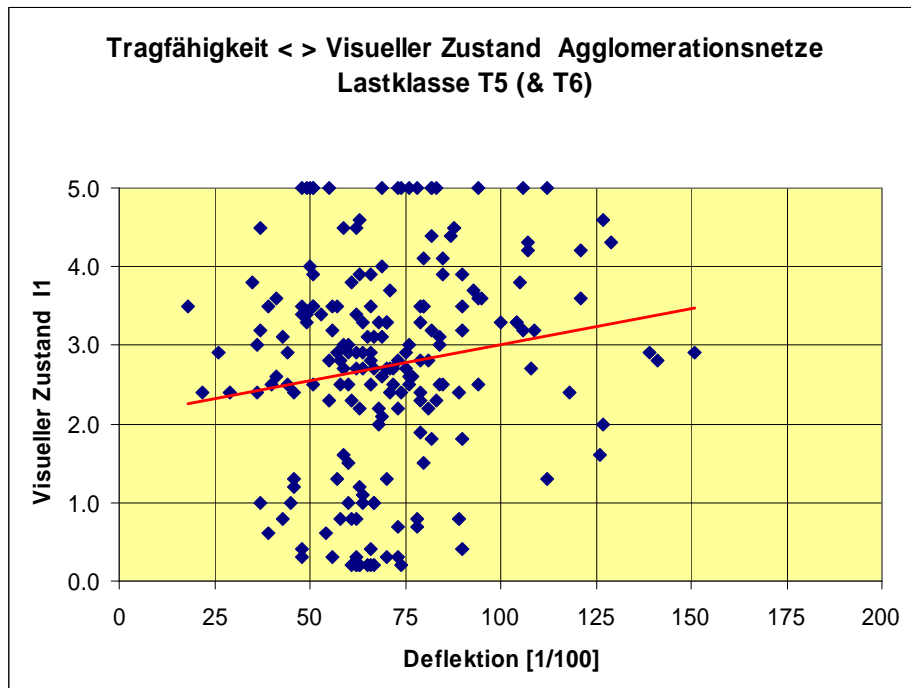


Abb. 10: Verteilung der Wertepaare nur für T5: Tragfähigkeit – Globaler Index I1

#### 4.4. Korrelationsversuch Tragfähigkeit - Einzelindex IA<sub>x</sub> gesamthaft

In diesem Kapitel wurde untersucht, ob sich eine Korrelation zwischen Tragfähigkeit und den jeweiligen Einzelindexen IA<sub>x</sub>, gesamthaft über alle Lastklassen gesehen, ergibt. Das Verhältnis zwischen Tragfähigkeit und Oberflächenglätte (IA<sub>1</sub>) wurde als irrelevant eingestuft und ist bei den nachfolgenden Vergleichsdiagrammen nicht dargestellt.

Bei allen untersuchten Beziehungen zwischen der Deflektion und den Einzelindexen IA<sub>2</sub> bis IA<sub>5</sub> (Abb. 11 bis Abb. 14) ergibt sich keine Korrelation. Es zeigt eine breite Streuung der Werte und die Trendlinien sind ebenfalls sehr flach. Diese flachen Trendlinien deuten darauf hin, dass eine erhöhte Deflektion nicht automatisch sofort einen schlechteren visuellen Zustand bewirkt, und das in allen Schadenbildern. Es sind einzig bei den Matrixwerten gewisse Unterschiede bei der grössten Häufigkeit pro Schadenbild festzustellen. So ist bei den Belagsschäden und den Verformungen (IA<sub>2</sub> und IA<sub>3</sub>) der Matrixwert 6.0 am häufigsten vertreten. Bei den strukturellen Schäden kommt der Matrixwert 0.0 am meisten vor und bei den Flickern ist eine relativ gleichmässige Verteilung zwischen Matrixwert 0.0 und 4.0 zu beobachten.

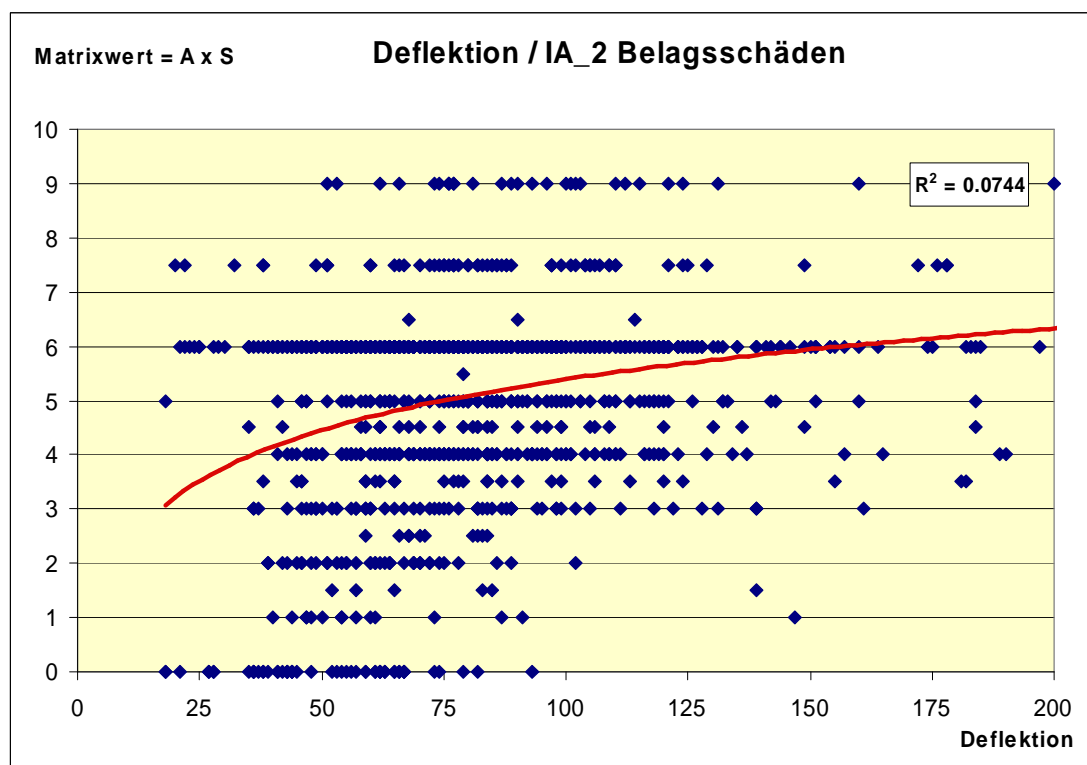


Abb. 11: Verteilung der Wertepaare: Tragfähigkeit - Gruppe Belagsschäden IA<sub>2</sub>

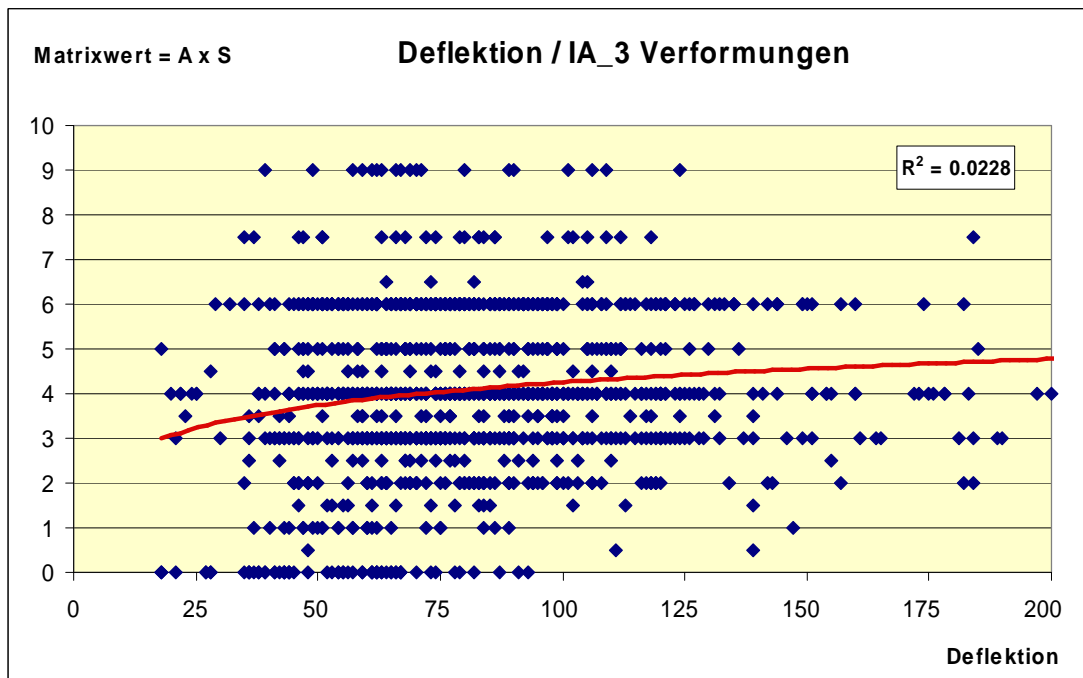


Abb. 12: Verteilung der Wertepaare: Tragfähigkeit - Gruppe Verformungen IA\_3

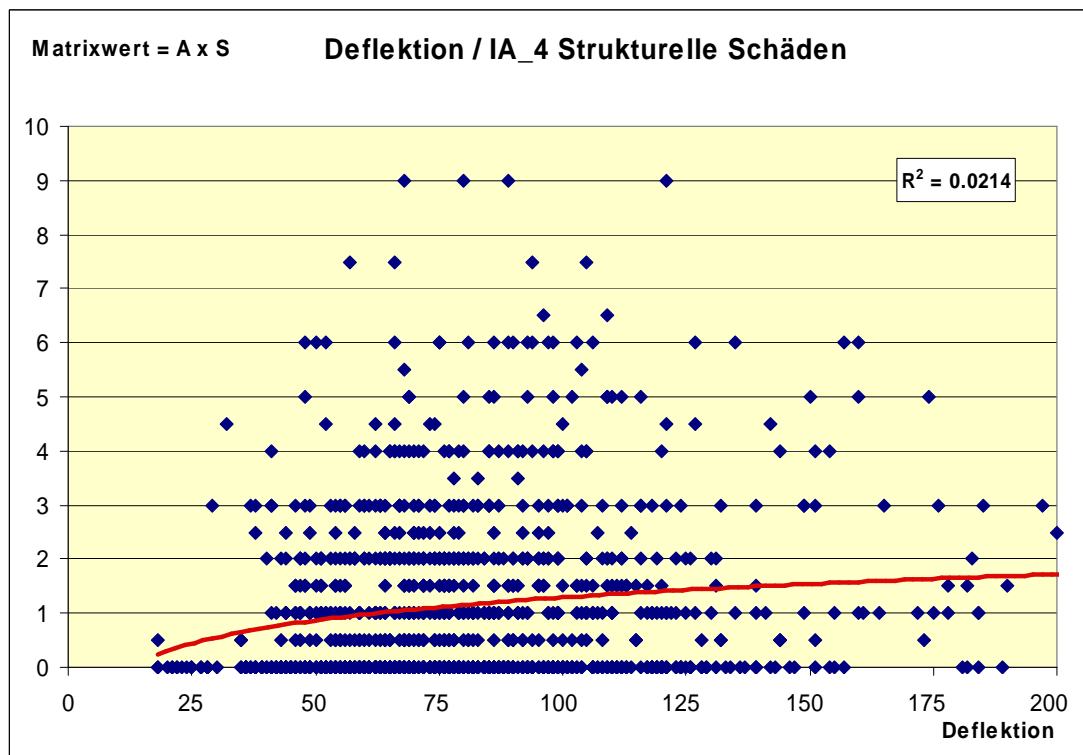


Abb. 13: Verteilung der Wertepaare: Tragfähigkeit - Gruppe strukturelle Schäden IA\_4

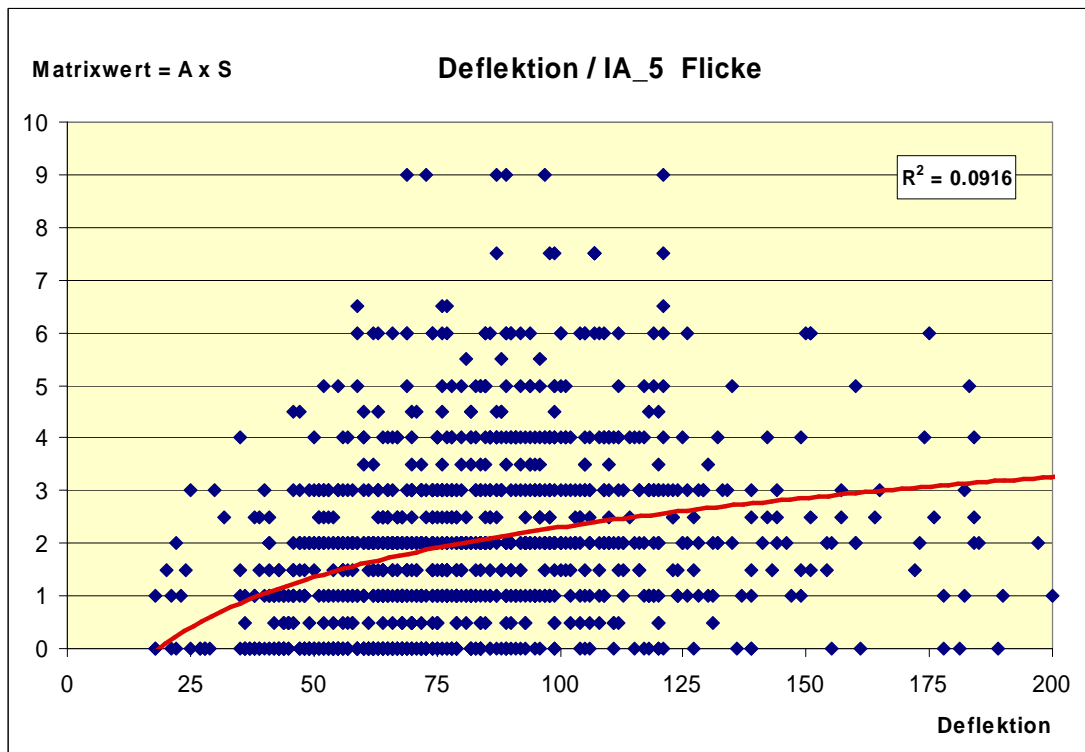


Abb. 14: Verteilung der Wertepaare: Tragfähigkeit - Gruppe Flicke IA\_5

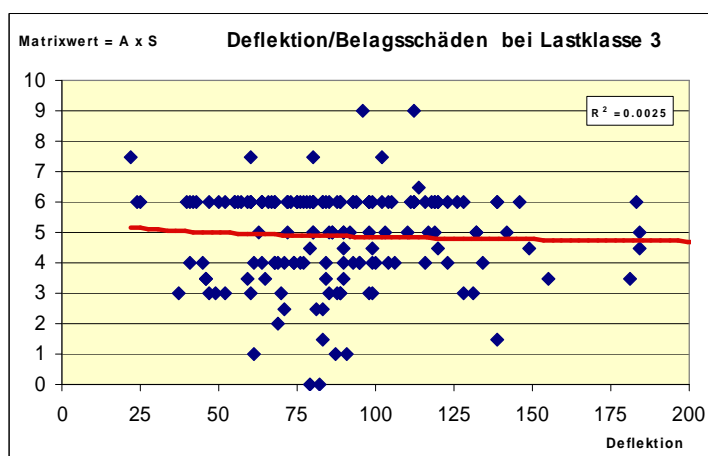
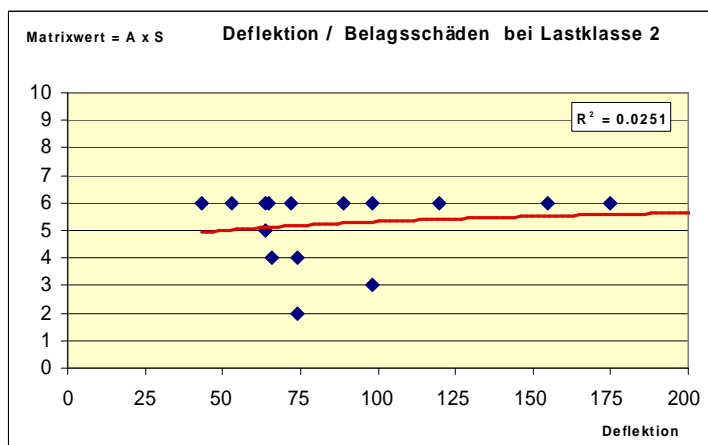
#### 4.5. Korrelationsversuch Tragfähigkeit - Einzelindex IA\_x pro Lastklasse

Als letzte Versuchsreihe wurde eine mögliche Korrelation zwischen der Tragfähigkeit und den Einzelindexen pro Lastklasse untersucht. So wurden die Matrixwerte und Deflektionen für jede Lastklasse in einem Diagramm dargestellt.

Das Verhältnis zwischen Tragfähigkeit und Oberflächenglätte (IA\_1) wurde schon bei der vorherigen Analysestufe als unrelevant eingestuft. Für diese weitere Analysestufe haben wir die Flicke (Grabenflicke & kleine Reparaturen) ebenfalls als unrelevant eingestuft.

##### 4.5.1. Korrelation Tragfähigkeit – Belagsschäden IA\_2 (pro Lastklasse)

Der Vergleich zwischen der Tragfähigkeit und den Belagsschäden IA\_2 und den Lastklassen 2 bis 6 zeigt eine leichte Zunahme der Matrixwerte in den Lastklassen 4 bis 6. Die Zunahme ist jedoch zu gering, als dass man von einer Korrelation sprechen könnte. Bei den Lastklassen 2 & 3 ist die Trendkurve sehr flach oder sogar leicht abnehmend (Lastklasse 3)



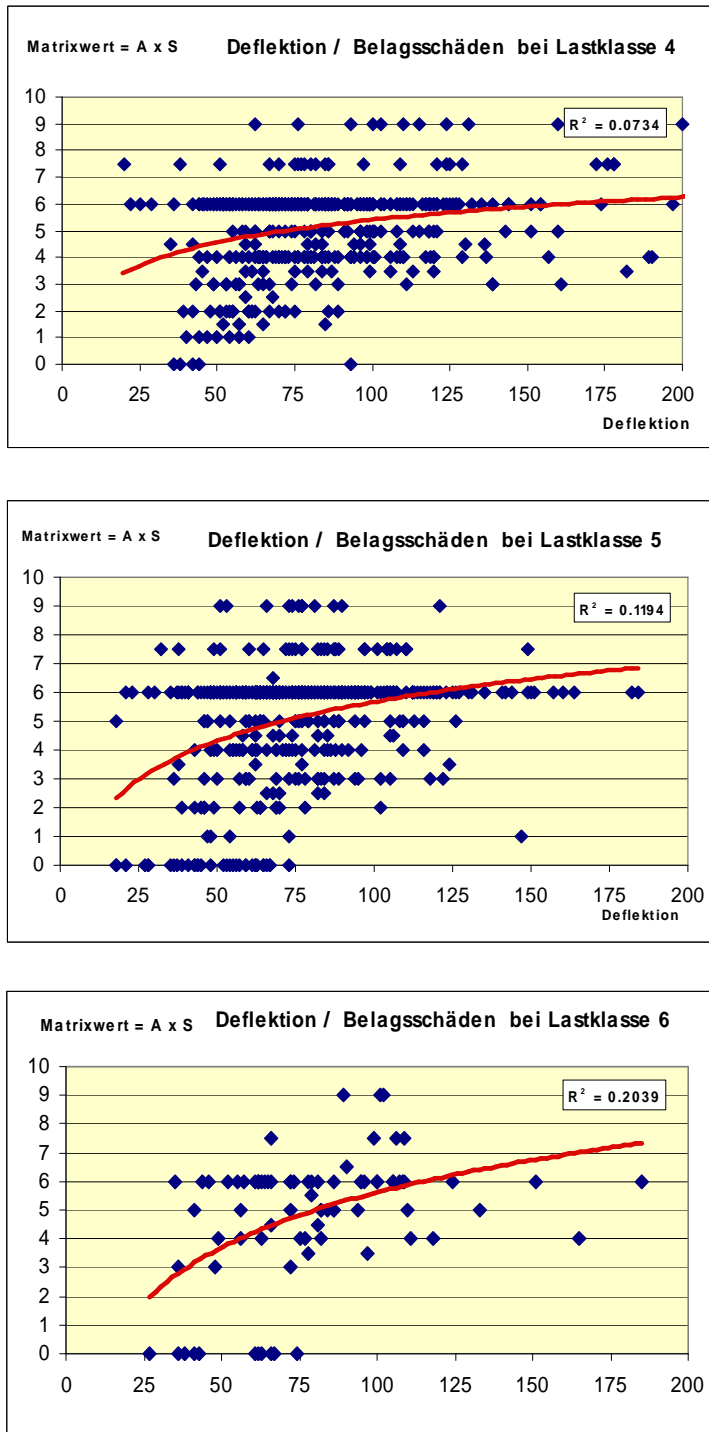
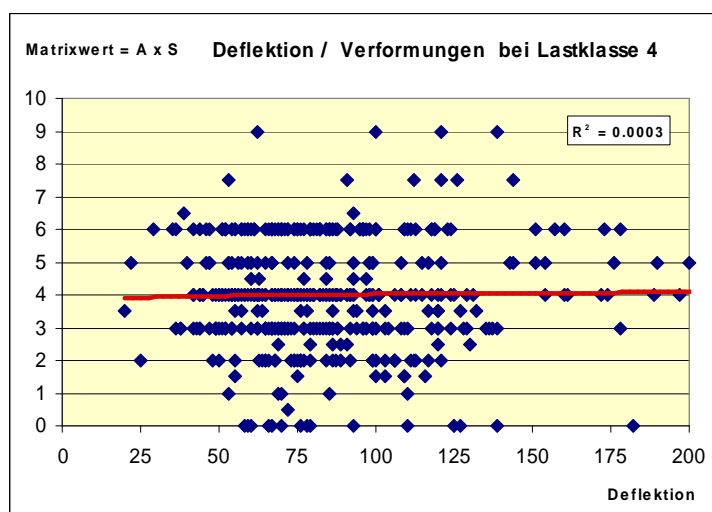
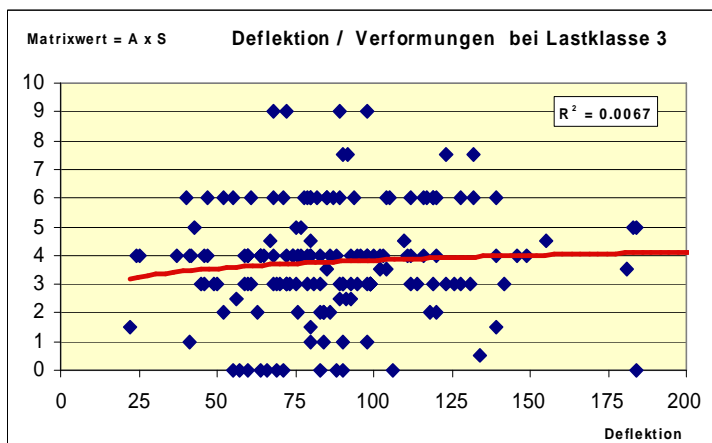
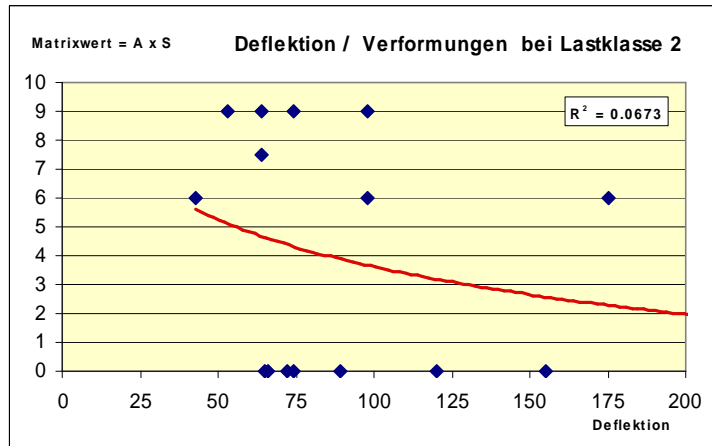


Abb. 15: Verteilung für die einzelnen Lastklassen : Tragfähigkeit – Belagsschäden IA\_2

#### 4.5.2. Korrelation Tragfähigkeit – Verformungen IA\_3 (pro Lastklasse)

Beim Vergleich zwischen der Tragfähigkeit und den Verformungen IA\_3 ist in sämtlichen Lastklassen keine Korrelation auch nur ansatzweise festzustellen. Alle Trendkurven sind im Bereich der Horizontalen bis auf die Kurve der Lastklasse 2, die sogar eine abwärts Tendenz zeigt.



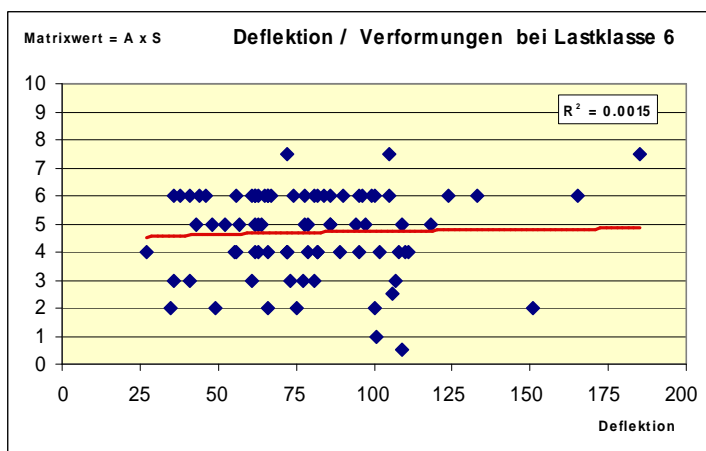
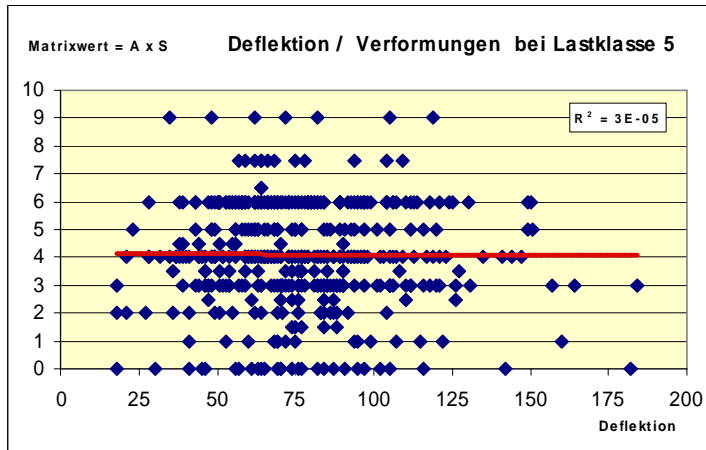
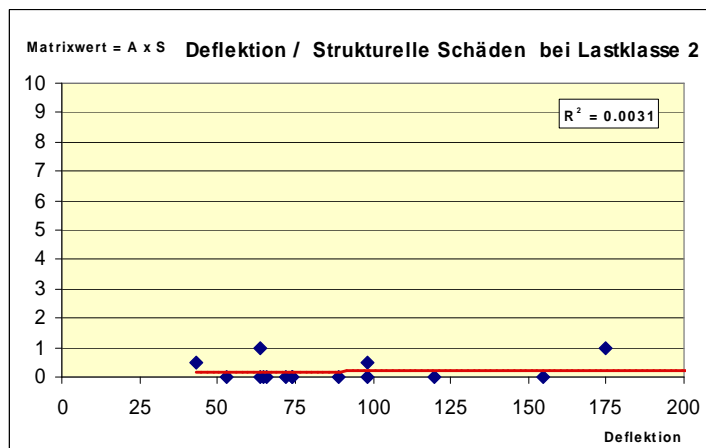


Abb. 16: Verteilung für die einzelnen Lastklassen : Tragfähigkeit – Verformungen IA\_3

#### 4.5.3. Korrelation Tragfähigkeit – Strukturelle Schäden IA\_4 (pro Lastklasse)

Auch der Versuch zwischen der Tragfähigkeit und den strukturellen Schäden IA\_4 zeigt ein ähnliches Bild. Hier sind die Trendkurven sämtlicher Lastklassen fast auf einer horizontalen Linie. Die Verteilung der Matrixwerte und der Deflektionswerte ist über alle Lastklassen sehr gleichmässig.





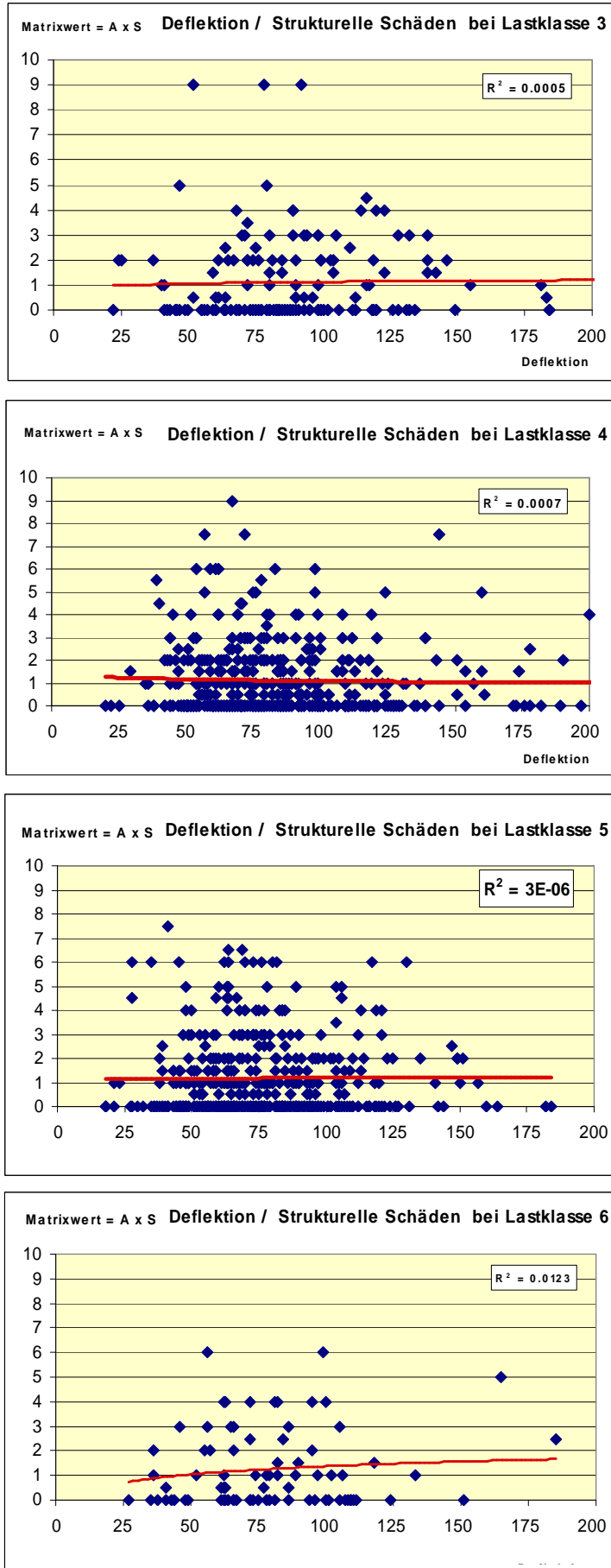


Abb. 17: Verteilung für die einzelnen Lastklassen : Tragfähigkeit – Strukturelle Schäden IA\_4

#### 4.6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das Instrument, um die Korrelationsgüte zu beziffern, ist das Bestimmtheitsmass ( $R^2$ ), auch Determinationskoeffizient genannt.

Das Bestimmtheitsmass ist ein Mass der Statistik für den Anteil der erklärten Varianz eines Zusammenhanges. Beträgt es für zwei Variablen X und Y beispielsweise  $R^2 = 0.5$ , dann heisst dies, dass 50 % der Streuung von Y durch lineare Abhängigkeit von X erklärt werden kann. Das Bestimmtheitsmass liegt zwischen 0 (kein linearer Zusammenhang) und 1 (exakter linearer Zusammenhang). Das heisst, je höher der Wert  $R^2$  ist, desto besser ist die Korrelationsgüte. Ab einem Wert von  $R^2 = 0.7$  spricht man von einer echten Korrelation.

Die nachfolgende Tabelle fasst die ermittelten Bestimmtheitsmassen aller berechneten Korrelationsversuche zusammen. Wie in den vorherigen Textabschnitten bereits erwähnt wurde, lassen sich für keine der untersuchten Datensätze eine Korrelation zwischen der Tragfähigkeit und den einzelnen Hauptgruppen der Schadenmerkmale nachweisen.

Obwohl die Werte des Bestimmtheitsmasses sehr tief bleiben, die eindeutige Zunahme der Werte mit steigender Lastklasse bei den Belagsschäden darf nicht unerwähnt bleiben. Die Erklärung dafür lässt sich auch relativ klar zuordnen: die im vorherigen Kapitel erläuterten leichten bis mittleren potentiellen Wechselwirkungen zwischen Tragfähigkeit und einzelnen Typen von Belagsschäden werden durch die Intensität des Schwerverkehrs beeinflusst und beschleunigt. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Ausführung der Unterhaltmassnahme mit der Schadenentwicklung zeitlich nicht mithalten kann, ist bei hoher Verkehrslast natürlich grösser. Die schon erwähnte frühzeitige und richtige Erfassung der Schadenentstehung wird damit klar bekräftigt.

Bestimmtheitsmass $R^2$	Gesamthaft T2 bis T6	Lastklasse T2	Lastklasse T3	Lastklasse T4	Lastklasse T5	Lastklasse T6
IA_1 Oberflächenglätte	0.09					
IA_2 Belagsschäden	0.08	0.02	0.02	0.07	0.11	0.20
IA_3 Verformungen	0.03	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00
IA_4 Strukturelle Schäden	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
IA_5 Flicke	0.10					

Tab. 4: Korrelationsgüte (Bestimmtheitsmass) für die einzelnen Gruppen von Wertepaaren

Somit kommen wir mit der vorhandenen Analyse von Zustandsdaten auch nicht wesentlich weiter. Die bereits in den Schlussfolgerungen des Kapitels 3 erwähnte Nötigkeit einer feineren Analyse der potentiellen Wechselwirkungen anhand der besonderen Entwicklungsmechanismen der einzelnen Schadenbilder bestätigt sich.

Als neuer Ansatz wird im Kapitel 5 probiert, die SN-Methode (Structure Number) zur Analyse der einzelnen Schadenmerkmale in Bezug auf Substanzverlust anzuwenden.

## 5. Analyse mit der SN-Methode

### 5.1. Einführung

Die Dimensionierungsgrundlagen der schweizerischen Oberbaunormen sind dem ASSHTO Guide for Design entnommen worden und bilden die Basis für den Typenkatalog. Die Tragfähigkeit des Strassenoberbaus in bituminöser Bauweise wird ausgedrückt durch den Strukturwert SN (Structural Number). Dieser ist definiert als die Summe der Dicken  $D$  [cm] der einzelnen Oberbauschichten, multipliziert mit den entsprechenden Tragfähigkeitswerten  $a$ :

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 + a_3 * D_3 + \dots + a_n * D_n \quad (\text{Berechnungsbeispiel})$$

$a_i$     Mass für die relative Tragfähigkeit einer Oberbauschicht bezogen auf den Basiswert Kiessand rund  $a = 1.0$

$a_i * D_i$     Tragfähigkeitswert einer Oberbauschicht von  $D$  cm Dicke

Der SN-Wert kann einerseits anhand der Tab. 3 der Dimensionierungsnorm SN 640'324a im Kapitel „D. Grundlagen der Tragfähigkeitsdimensionierung“ zur Bestimmung eines Oberbaus in Bezug auf den erforderlichen Strukturwert  $SN_{\text{erf}}$  für eine entsprechende Verkehrslastklasse angewandt werden. Andererseits kann mit dem SN-Wert die durch eine Massnahme erreichte Strukturverbesserung quantifiziert werden. Somit ist es möglich, bei einer bestimmten Verkehrslastklasse zu berechnen, durch welche Massnahmen der jeweilige Strukturwert  $SN_{\text{erf}}$  erreicht werden kann.

### 5.2. Substanzverlust durch Schadenentwicklung

Der Substanzverlust von einem Strassenoberbau kann mit der Abminderung des jeweiligen SN-Wertes der betroffenen Schicht berechnet werden. Anhand der Schwere des Schadens fällt die Abminderung grösser oder kleiner aus. In den nachfolgenden Kapiteln „5.2.1 Bewertung SN-Verlust für leichte Schäden“ und „5.2.2 Bewertung SN-Verlust für schwere Schäden“ ist die Wirkungsweise detailliert beschrieben und mit den Tab. 5 & 6 anhand von Beispielen dargestellt. Das Kapitel „5.2.3 Bandbreite des Substanzverlustes“ zeigt die ganze Bandbreite des Substanzverlustes von leichten bis schweren Schäden. In der Tab. 7 ist deutlich zu sehen, dass der Substanzverlust mit der Schwere der Schäden teilweise sehr ausgeprägt um ein Mehrfaches zunimmt.

### 5.2.1. Bewertung SN-Verlust für leichte Schäden

Die Grundlagen für die nachfolgenden Tabellen (Tab.5 & Tab.6) beruhen auf der VSS-Norm 640 324a (Dimensionierung Strassenoberbau). Als Standardaufbau wurde für die Bewertung eine Kiessand-Fundationsschicht von 50 cm Stärke und eine Belagsstärke von insgesamt 16 cm angenommen.

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

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

Zur Berechnung des definitiven Substanzverlustes werden beide Einzelresultate (Fundationsschicht und Belag) addiert, sodass sich daraus der gesamte SN-Verlust für den Oberbau ergibt.

#### Berechnungsbeispiele aus Tab. 5:

Ablösungen	>>	50 * 0	+	2 * 0.6	=	<b>1.2</b>	(Total SN-Verlust)
Wellblechverformungen	>>	50 * 0	+	8 * 0.6	=	<b>4.8</b>	
Belagsrandrisse	>>	10 * 0.25	+	8 * 0.6	=	<b>7.3</b>	
Netzrisse	>>	25 * 0.25	+	16 * 0.6	=	<b>15.9</b>	

Es zeigt sich, dass der SN-Verlust schon bei leichten strukturellen Schäden einen mittleren bis starken Einfluss auf den Substanzwert hat, während leichte Belagsschäden und Belagsverformungen den Substanzwert leicht bis mittel beeinträchtigen.

Schadenmerkmale	Leichte Belagsschäden					Einfluss auf Substanzwert
	KS-Fundationsschicht Total 50 cm		Belagsschichten Total 16 cm		Oberbau	
	Betroffene Dicke [cm]	SN-Verlust	Betroffene Dicke [cm]	SN-Verlust	Total SN-Verlust	
<b>Oberflächenglätte</b>						
Polieren	50	0	4	0	0.0	keinen
Schwitzen	50	0	4	0	0.0	keinen
<b>Belagsschäden</b>						
Abrieb	50	0	4	0	0.0	keinen
Ausmagerung	50	0	4	0	0.0	keinen
Kornausbrüche	50	0	2	0.6	1.2	leicht
Ablösungen	50	0	2	0.6	1.2	leicht - mittel
Schlaglöcher	50	0	4	0.6	2.4	mittel - stark
Offene Nähte	50	0	2	0.6	1.2	leicht
Querrisse	50	0	4	0.6	2.4	leicht - mittel
Wilde Risse	50	0	4	0.6	2.4	leicht - mittel
<b>Belagsverformungen</b>						
Spurrinnen im Deckbelag	50	0	4	0	0.0	leicht
Spurrinnen im gesamten Belag	50	0	16	0	0.0	leicht - mittel
Aufwölbungen	50	0	8	0.6	4.8	leicht - mittel
Wellblechverformung	50	0	8	0.6	4.8	leicht - mittel
Schubverformung	50	0	8	0.6	4.8	mittel
<b>Strukturelle Schäden</b>						
Setzungen / Einsenkungen	50	0	16	0.6	9.6	mittel - stark
Anrisse von Setzungen	10 40	0.25 0	16	0.6	12.1	mittel - stark
Abgedrückte Ränder	50	0	16	0.6	9.6	mittel
Belagsrandrisse	10 40	0.25 0	8	0.6	7.3	mittel
Frosthebungen	50	0.25	16	0.6	22.1	mittel - stark
Längsrisse	25 25	0.25 0	16	0.6	15.9	mittel - stark
Netzrisse	25 25	0.25 0	16	0.6	15.9	mittel - stark
<b>Flicke</b>						keinen

Tab. 5: Bewertung der SN-Verluste bei leichten Schadenbildern

### 5.2.2. Bewertung SN-Verlust für schwere Schäden

Bei der Bewertung für den SN-Verlust bei schweren Schäden finden sich im Gegensatz zur vorhergehenden Tabelle einige Anpassungen im Bereich der Multiplikationsfaktoren.

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

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

Die Berechnung des gesamten Substanzverlustes erfolgt ebenfalls durch Addition der beiden Einzelresultate Foundationsschicht und Belagsschichten.

#### Berechnungsbeispiele aus Tab. 6:

Schlaglöcher	>>	10 * 0.5	+	16 * 1.6	=	<b>30.6</b>	(Total SN-Verlust)
Querrisse	>>	50 * 0	+	8 * 1.6	=	<b>12.8</b>	
Aufwölbungen	>>	10 * 0.5	+	8 * 1.6	=	<b>17.8</b>	
Schubverformung	>>	5 * 0.5	+	16 * 1.6	=	<b>28.1</b>	
Setzungen/Einsenkungen	>>	50 * 0.5	+	16 * 1.6	=	<b>50.6</b>	
Frosthebungen	>>	50 * 0.5	+	16 * 1.2	=	<b>44.2</b>	

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

Schadenmerkmale	Schwere strukturelle Schäden					Einfluss auf Substanzwert
	KS-Fundationsschicht Total 50 cm		Belagsschichten Total 16 cm		Oberbau	
	Betroffene Dicke [cm]	SN-Verlust	Betroffene Dicke [cm]	SN-Verlust	Total SN-Verlust	
<b>Oberflächenglätte</b>						
Polieren	50	0	4	0	0.0	keinen
Schwitzen	50	0	4	0	0.0	keinen
<b>Belagsschäden</b>						
Abrieb	50	0	4	0	0.0	keinen
Ausmagerung	50	0	4	0	0.0	keinen
Kornausbrüche	50	0	4	0.6	2.4	leicht
Ablösungen	50	0	8	1.6	12.8	leicht - mittel
Schlaglöcher	10 40	0.5 0	16	1.6	30.6	mittel - stark
Offene Nähte	50	0	4	0.6	2.4	leicht
Querrisse	50	0	8	1.6	12.8	leicht - mittel
Wilde Risse	50	0	8	1.6	12.8	leicht - mittel
<b>Belagsverformungen</b>						
Spurrinnen im Deckbelag	50	0	4	0.6	2.4	leicht
Spurrinnen im gesamten Belag	50	0	16	0.6	9.6	leicht - mittel
Aufwölbungen	10 40	0.5 0	8	1.6	17.8	leicht - mittel
Wellblechverformung	50	0	8	1.6	12.8	leicht - mittel
Schubverformung	5 45	0.5 0	16	1.6	28.1	mittel
<b>Strukturelle Schäden</b>						
Setzungen / Einsenkungen	50	0.5	16	1.6	50.6	mittel - stark
Anrisse von Setzungen	50	0.5	16	1.6	50.6	mittel - stark
Abgedrückte Ränder	25 25	0.5 0	16	1.2	31.7	mittel
Belagsrandrisse	25 25	0.5 0	16	1.6	38.1	mittel
Frosthebungen	50	0.5	16	1.2	44.2	mittel - stark
Längsrisse	50	0.5	16	1.6	50.6	mittel - stark
Netzrisse	50	0.5	16	1.6	50.6	mittel - stark
<b>Flicke</b>						keinen

Tab. 6: Bewertung der SN-Verluste bei schweren Schadenbildern

### 5.2.3. Bandbreite des Substanzverlustes

In den nachfolgenden Darstellungen (Tab. 7 und Abb. 17) wird der Vergleich des SN-Verlustes zwischen leichten Belagsschäden und schweren strukturellen Schäden tabellarisch und graphisch visualisiert. Die Bandbreite reicht von 1.2 Punkten bei Kornausbrüchen, Ablösungen und offenen Nähten bis zu 50.6 Punkten bei Setzungen/Einsenkungen, Anrissen von Setzungen, Längs- und Netzzissen.

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

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

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



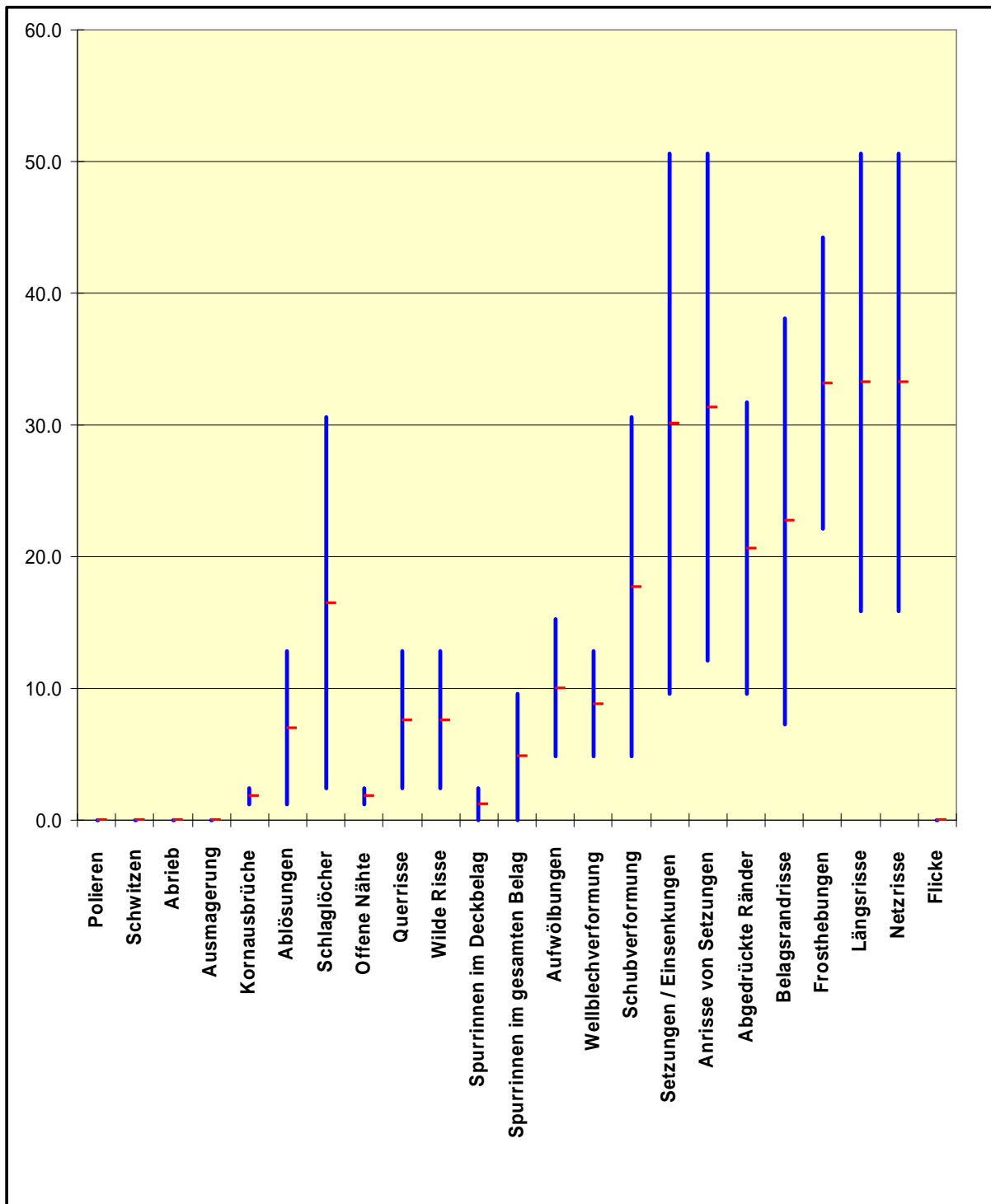


Abb. 18: Bandbreite der **SN-Verluste** je nach Schadensschwere (Leicht bis schwer)

### 5.3. Substanzerhöhung durch standardisierte Massnahmen

Genauso wie ein Substanzverlust bei Belagsschäden und strukturellen Schäden berechnet werden kann, lässt sich im umgekehrten Fall eine Substanzzunahme quantifizieren. In der Tabelle 8 sind die möglichen Verbesserungsmassnahmen aufgeführt und die jeweils dazugehörigen Erhöhungsfaktoren für die SN-Bewertung.

Die Tabelle funktioniert vom Prinzip her analog der Substanzverlust-Tabellen. An Stelle der betroffenen Schichten sind es hier die Schichtstärken der beitragenden Schichten, die mit dem Faktor der SN-Erhöhung multipliziert werden, um die gesamte Substanzzunahme zu erhalten.

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

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

#### Berechnungsbeispiele aus Tab. 8a:

Kaltmicro ohne Fräsen	>> 1.5 * 2.5 = <b>3.8</b> (Total SN-Erhöhung)
Hocheinbau, 40 mm, Vorfräsen + Armierung	>> 4 * 4.0 = <b>16.0 (+8.0 Armierung)</b>
Hocheinbau, 100 mm, Vorfräsen + Armierung	>> 10 * 4.0 = <b>40.0 (+12.0 Armierung)</b>
Tiefeinbau, 40 mm mit Armierung	>> 4 * 1.6 = <b>6.4 (+8.0 Armierung)</b>
Tiefeinbau, 100 mm ohne Armierung	>> 10 * 1.6 = <b>16.0</b>

Spezifikationen  Massnahmen		Beurteilung Substanzzunahme für FP 2004/713 - Teilprojekt 3				
		KS-Fundationsschicht		Belagsschichten		Oberbau
		Beitragende Dicke [cm]	Erhöhung SN Wert	Beitragende Dicke [cm]	Erhöhung SN Wert	Total SN-Erhöhung
<b>1.</b>						
1.1	Riss - Instandsetzung	50	0.0	2	0.9	1.8
1.2	Flächenflick, kleine Einzelflächen	50	0.0	4	1.2	4.8
1.3	Flächenflick, grosse Einzelflächen	50	0.0	4	1.2	4.8
1.4	Grabenflicke Instand stellen	50	0.0	2	0.6	1.2
1.5	Fugen RA ausgiessen	50	0.0	2	0.9	1.8
<b>2.</b>	<b>Instandsetzung und Verstärkung</b>					
2.1	<b>Oberflächenverbesserungen</b>					
2.1.1	OB fein	50	0.0	1	1.5	1.5
2.1.2	OB grob	50	0.0	1.5	1.5	2.3
2.1.3	OB doppelt	50	0.0	2	1.5	3
2.2	<b>Dünnschichtbelag</b>					
2.2.1	Kaltmicro (DSK), 15 mm, ohne Fräsen	50	0.0	1.5	2.5	3.8
2.2.2	Kaltmicro (DSK), 15 mm, mit Fräsen	50	0.0	1.5	0.1	0.2
2.2.3	Heissmicro (DSH), 20 mm, ohne Fräsen	50	0.0	2	2.5	5
2.2.4	Heissmicro (DSH), 20 mm, mit Fräsen	50	0.0	2	0.1	0.2
2.3	<b>Hocheinbau (Deckschicht)</b>					
2.3.1	40 mm, ohne Vorfräsen	50	0.0	4	4.0	16
2.3.2	40 mm, mit Vorfräsen	50	0.0	4	4.0	16
2.3.3	40 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	50	0.0	4	4.0	16 (+8)
2.4	<b>Hocheinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.4.1	100 mm, ohne Vorfräsen	50	0.0	10	4.0	40
2.4.2	100 mm, mit Vorfräsen	50	0.0	10	4.0	40
2.4.3	100 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	50	0.0	10	4.0	40 (+12)
2.5	<b>Tiefeinbau (Deckschicht)</b>					
2.5.1	20 mm (Gehweg)	50	0.0	2	1.6	3.2
2.4.2	40 mm	50	0.0	4	1.6	6.4
2.4.3	40 mm mit Asphaltarmierung	50	0.0	4	1.6	6.4 (+8)
2.6	<b>Tiefeinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.6.1	100 mm	50	0.0	10	1.6	16
2.6.2	100 mm mit Asphaltarmierung	50	0.0	10	1.6	16 (+12)
2.7	<b>Spurrinnen - Instandsetzung (Fräsen, Belag)</b>					
2.7.1	2 Radspuren	50	0.0	4	0.4	1.6
2.7.2	4 Radspuren	50	0.0	4	0.8	3.2

Tab. 8a: Berechnung der SN-Erhöhung (Substanzerhöhung) durch standardisierte Massnahmen (Belag)

Bei einer kombinierten Oberbauerneuerung wird sowohl ein Teil der Fundation oder das Bankett sowie die Belagsschicht ersetzt. Beim Ersatz einer ungenügenden Fundationsschicht durch Kiessand wird die SN-Erhöhung mit dem Faktor 0.75 gerechnet. Wird an Stelle von Kiessand eine gebundene Fundationsschicht eingebaut (AC F) kann für die Berechnung der Faktor 2.5 verwendet werden.

Die Banketterneuerungen tragen zur besseren Auflagerstabilität bei und bewirken für einen Anteil der Fundationsschicht eine Erhöhung der SN-Werte um 0.3 Punkte bei einseitiger und 0.5 Punkte bei beidseitiger Erneuerung.

### Berechnungsbeispiele aus Tab. 8b:

Gesamt-Erneuerungen

250 mm, Fund. AC F, Trag- u. Decksch. >>  $10 * 2.5 + 15 * 1.6 = 48.5$  (Total Zunahme)

600 mm (400 mm Fundation Kiessand) >>  $40 * 0.75 + 20 * 1.6 = 62.0$

Bankett-Erneuerungen

Einseitig, ohne Belagserneuerung >>  $20 * 0.3 + 0 * 0.0 = 5.0$

Beidseitig, mit Belagserneuerung >>  $20 * 0.5 + 4 * 1.6 = 16.4$

Spezifikationen Massnahmen		Beurteilung Substanzzunahme für FP 2004/713 - Teilprojekt 3				
		KS-Fundationsschicht		Belagsschichten		Oberbau
		Beitragende Dicke [cm]	Erhöhung SN Wert	Beitragende Dicke [cm]	Erhöhung SN Wert	Total SN-Erhöhung
<b>3.</b>	<b>Erneuerung</b>					
3.1	<b>Gesamt - Erneuerungen</b>					
3.1.1	200 mm (Deck-, Binder- und Tragschicht)	50	0.0	20	1.6	<b>32</b>
3.1.2	250 mm (Fundation AC F, Deck- und Tragschicht)	10	2.5	15	1.6	<b>48.5</b>
3.1.3	400 mm (300 mm Fundation Kiessand)	30	0.75	10	1.6	<b>38.5</b>
3.1.4	600 mm (400 mm Fundation Kiessand)	40	0.75	20	1.6	<b>62</b>
3.2	<b>Bankett - Erneuerungen</b>					
3.2.1	Einseitig, ohne Belagserneuerung	20	0.3	0	0.0	<b>5</b>
3.2.2	Einseitig, mit Belagserneuerung	20	0.3	4	1.6	<b>11.4</b>
3.2.3	Beidseitig, ohne Belagserneuerung	20	0.5	0	0.0	<b>10</b>
3.2.4	Beidseitig, mit Belagserneuerung	20	0.5	4	1.6	<b>16.4</b>

Tab. 8b: Berechnung der SN-Erhöhung durch standardisierte Massnahmen (Fundation + Belag)

#### 5.4. Ausgleich Massnahme - Schadenbild auf Basis der SN-Bewertung

Das Ziel der SN-Bewertung ist, für eine bestimmte Art von Schadenbildern die wirtschaftlich und ausführungstechnisch beste Sanierungsmethode zu finden, um den SN-Verlust durch eine standardisierte Massnahme mit der mindestens gleich grossen SN-Zunahme wettzumachen. Falls der ursprüngliche Aufbau für den herrschenden Verkehr genügt, sollte die SN-Zunahme aus wirtschaftlicher Sicht nicht wesentlich höher als die SN-Abnahme ausfallen. Wenn hingegen der Gesamtaufbau zu schwach ist, kann bis zum erforderlichen SN-Wert eine optimale Verstärkungsvariante gesucht werden. In der nachfolgenden Abb. 19 ist graphisch dargestellt, dass die SN-Abnahme durch eine standardisierte Massnahme mindestens ausgeglichen werden muss.

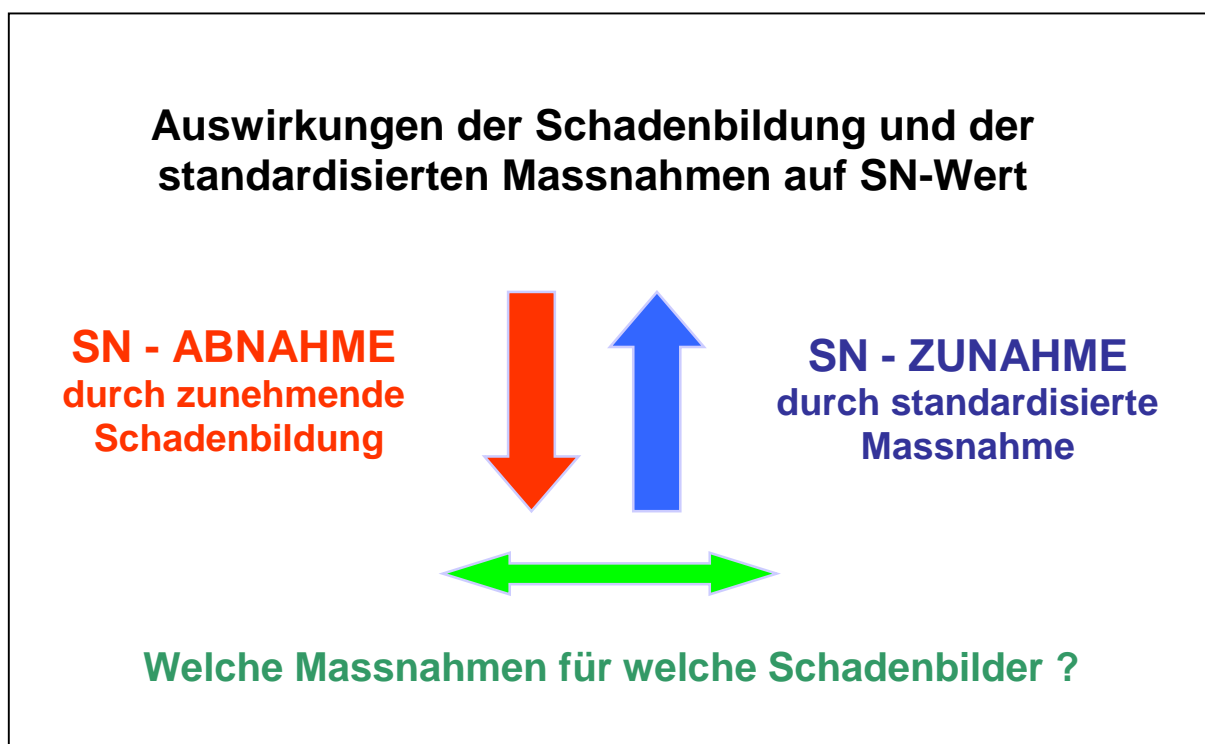


Abb. 19: Wechselwirkung **SN-Abnahme** (Schäden) und **SN-Zunahme** (Massnahmen)

## 5.5. Anwendungsmöglichkeiten der Massnahmen gemäss SN-Bewertung

Die SN-Abnahme durch zunehmende Schadenbildung sowie die SN-Zunahme durch standardisierte Massnahmen sind in ihren Ausmassen bekannt. Es geht nun darum, die geeigneten Massnahmen für die jeweiligen Schadenbilder zu definieren. Grundsätzlich ist zu sagen, dass als Minimalziel bei den Massnahmen ein Ausgleich der SN-Abnahme und der SN-Zunahme erreicht werden sollte. Das heisst, dass das Ausmass der SN-Zunahme durch die getroffene Massnahme mindestens die gleiche Punktzahl erreicht wie das Ausmass der SN-Abnahme durch das entsprechende Schadenbild. Idealerweise kann auch ein Zunahme-Überschuss entstehen und somit den Strassenkörper längerfristig vor weiteren Schadenfolgen bewahren. Übertrifft jedoch die Substanzzunahme den Substanzverlust um ein Mehrfaches, so ist das in der Regel eine unverhältnismässige Massnahme und kann aus ökonomischer Sicht nicht mehr als sinnvoll bezeichnet werden.

In den nachfolgenden Tabellen 9 bis 13 wird aufgelistet, welche Massnahmen bei den jeweiligen Schadenbildern sinnvoller Weise angewandt werden können und wo sie nur bedingt oder gar nicht möglich sind. Die Felder sind mit den entsprechenden Farben hinterlegt. Anhand der Farben ist die Übereinstimmung von Schadenbild und Massnahme ersichtlich. Die Beurteilung der Zutrefflichkeit der Massnahmen betrifft die Mittelwerte der jeweiligen SN-Verluste. Die Minima und Maxima der einzelnen Rubriken sind in den Kopfzeilen der Tabellen enthalten, sodass individuelle Anpassungen der richtigen Massnahmen unter Berücksichtigung der Tabellen möglich sind.

### Legende zu den Tab. 9 -13:

<b>OK</b>	<b>Ideale Massnahme</b>
<b>OK</b>	<b>Mögliche Massnahme</b>
<b>eventuell</b>	<b>Eventuell möglich (bei leichter Ausprägung)</b>
	<b>Theoretisch möglich, aber SN-Zunahme zu schwach</b>
	<b>Nicht zutreffend / unsinnig</b>

Spezifikationen  Massnahmen		ERHÖHUNG	Verlust	Verlust	Verlust	Verlust
		Oberbau	Abrieb	Ausmagerung	Kornausbrüche	Ablösungen
		Total SN-Erhöhung	0.0	0.0	1.8 (1.2 - 2.4)	7.0 (1.2 - 12.8)
<b>1.</b>	<b>Reparatur</b>					
1.1	Riss - Instandsetzung	1.8				
1.2	Flächenflick, kleine Einzelflächen	4.8			event.uell	event.uell
1.3	Flächenflick, grosse Einzelflächen	4.8			event.uell	event.uell
1.4	Grabenflicke instandstellen	1.2				
1.5	Fugen Randabschlüsse ausgiessen	1.8				
<b>2.</b>	<b>Instandsetzung und Verstärkung</b>					
<b>2.1</b>	<b>Oberflächenverbesserungen</b>					
2.1.1	OB fein	1.5	OK	OK	OK	
2.1.2	OB grob	2.3	OK	OK	OK	
2.1.3	OB doppelt	3.0	OK	OK	OK	
<b>2.2</b>	<b>Dünnschichtbelag</b>					
2.2.1	Kaltmicro (DSK), 15 mm, ohne Fräsen	3.8	OK	OK	OK	
2.2.2	Kaltmicro (DSK), 15 mm, mit Fräsen	0.2	OK	OK		
2.2.3	Heissmicro (DSH), 20 mm, ohne Fräsen	5.0	OK	OK	OK	
2.2.4	Heissmicro (DSH), 20 mm, mit Fräsen	0.2	OK	OK		
<b>2.3</b>	<b>Hocheinbau (Deckschicht)</b>					
2.3.1	40 mm, ohne Vorfräsen	16				
2.3.2	40 mm, mit Vorfräsen	16				OK
2.3.3	40 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	16 (+ 8)				
<b>2.4</b>	<b>Hocheinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.4.1	100 mm, ohne Vorfräsen	40				
2.4.2	100 mm, mit Vorfräsen	40				
2.4.3	100 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	40 (+ 12)				
<b>2.5</b>	<b>Tiefeinbau (Deckschicht)</b>					
2.5.1	20 mm (Gehweg)	3.2			OK	
2.4.2	40 mm	6.4				OK
2.4.3	40 mm mit Asphaltarmierung	6.4 (+8)				
<b>2.6</b>	<b>Tiefeinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.6.1	100 mm	16				
2.6.2	100 mm mit Asphaltarmierung	16 (+12)				
<b>2.7</b>	<b>Spurrinnen - Instandsetzung (Fräsen, Belag)</b>					
2.7.1	2 Radspuren	1.6	OK	OK	OK	
2.7.2	4 Radspuren	3.2	OK	OK	OK	

Tab. 9: Anwendbarkeit der standardisierten Massnahmen je nach Schadenbildern (Teil 1)

Spezifikationen  Massnahmen		ERHÖHUNG	Verlust	Verlust	Verlust	Verlust
		Oberbau	Schlaglöcher	Offene Nähte	Querrisse	Wilde Risse
		Total SN-Erhöhung	16.5 (2.4 - 30.6)	1.8 (1.2 - 2.4)	7.6 (2.4 - 12.8)	7.6 (2.4 - 12.8)
<b>1.</b>	<b>Reparatur</b>					
1.1	Riss - Instandsetzung	1.8		OK		
1.2	Flächenflick, kleine Einzelflächen	4.8		OK	eventuell	eventuell
1.3	Flächenflick, grosse Einzelflächen	4.8		OK	eventuell	eventuell
1.4	Grabenflicke instand stellen	1.2				
1.5	Fugen Randabschlüsse ausgiessen	1.8				
<b>2.</b>	<b>Instandsetzung und Verstärkung</b>					
<b>2.1</b>	<b>Oberflächenverbesserungen</b>					
2.1.1	OB fein	1.5		OK		eventuell
2.1.2	OB grob	2.3		OK		eventuell
2.1.3	OB doppelt	3.0		OK		eventuell
<b>2.2</b>	<b>Dünnschichtbelag</b>					
2.2.1	Kaltmicro (DSK), 15 mm, ohne Fräsen	3.8		OK	eventuell	eventuell
2.2.2	Kaltmicro (DSK), 15 mm, mit Fräsen	0.2		eventuell		
2.2.3	Heissmicro (DSH), 20 mm, ohne Fräsen	5.0		OK	eventuell	eventuell
2.2.4	Heissmicro (DSH), 20 mm, mit Fräsen	0.2		eventuell		
<b>2.3</b>	<b>Hocheinbau (Deckschicht)</b>					
2.3.1	40 mm, ohne Vorfräsen	16			OK	OK
2.3.2	40 mm, mit Vorfräsen	16			OK	OK
2.3.3	40 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	16 (+ 8)			OK	OK
<b>2.4</b>	<b>Hocheinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.4.1	100 mm, ohne Vorfräsen	40			OK	OK
2.4.2	100 mm, mit Vorfräsen	40			OK	OK
2.4.3	100 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	40 (+ 12)			OK	OK
<b>2.5</b>	<b>Tiefeinbau (Deckschicht)</b>					
2.5.1	20 mm (Gehweg)	3.2		OK		
2.4.2	40 mm	6.4		OK	eventuell	eventuell
2.4.3	40 mm mit Asphaltarmierung	6.4 (+8)		OK	OK	OK
<b>2.6</b>	<b>Tiefeinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.6.1	100 mm	16	OK		eventuell	eventuell
2.6.2	100 mm mit Asphaltarmierung	16 (+12)	OK		eventuell	eventuell
<b>2.7</b>	<b>Spurrinnen - Instandsetzung (Fräsen, Belag)</b>					
2.7.1	2 Radspuren	1.6				
2.7.2	4 Radspuren	3.2				

Tab. 10: Anwendbarkeit der standardisierten Massnahmen je nach Schadenbildern (Teil 2)



Spezifikationen  Massnahmen		ERHÖHUNG	Verlust	Verlust	Verlust	Verlust
		Oberbau	Spurrinnen im Deckbelag	Spurrinnen im gesamten Belag	Aufwölbungen	Wellblechverformungen
		Total SN-Erhöhung	1.2 (0.0 - 2.4)	4.8 (0.0 - 9.6)	11.3 (4.8 - 17.8)	8.8 (4.8 - 12.8)
<b>1.</b>	<b>Reparatur</b>					
1.1	Riss - Instandsetzung	1.8				
1.2	Flächenflick, kleine Einzelflächen	4.8			eventuell	eventuell
1.3	Flächenflick, grosse Einzelflächen	4.8			eventuell	eventuell
1.4	Grabenflicke instand stellen	1.2				
1.5	Fugen Randabschlüsse ausgiessen	1.8				
<b>2.</b>	<b>Instandsetzung und Verstärkung</b>					
2.1	<b>Oberflächenverbesserungen</b>					
2.1.1	OB fein	1.5				
2.1.2	OB grob	2.3				
2.1.3	OB doppelt	3.0				
2.2	<b>Dünnschichtbelag</b>					
2.2.1	Kaltmicro (DSK), 15 mm, ohne Fräsen	3.8	eventuell			
2.2.2	Kaltmicro (DSK), 15 mm, mit Fräsen	0.2	eventuell			
2.2.3	Heissmicro (DSH), 20 mm, ohne Fräsen	5.0	eventuell			
2.2.4	Heissmicro (DSH), 20 mm, mit Fräsen	0.2	eventuell			
2.3	<b>Hocheinbau (Deckschicht)</b>					
2.3.1	40 mm, ohne Vorfräsen	16			OK	OK
2.3.2	40 mm, mit Vorfräsen	16			OK	OK
2.3.3	40 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	16 (+ 8)			OK	OK
2.4	<b>Hocheinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.4.1	100 mm, ohne Vorfräsen	40				
2.4.2	100 mm, mit Vorfräsen	40				
2.4.3	100 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	40 (+ 12)				
2.5	<b>Tiefeinbau (Deckschicht)</b>					
2.5.1	20 mm (Gehweg)	3.2	OK			
2.4.2	40 mm	6.4	OK		eventuell	eventuell
2.4.3	40 mm mit Asphaltarmierung	6.4 (+8)			OK	OK
2.6	<b>Tiefeinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.6.1	100 mm	16		OK	OK	OK
2.6.2	100 mm mit Asphaltarmierung	16 (+12)			OK	OK
2.7	<b>Spurrinnen - Instandsetzung (Fräsen, Belag)</b>					
2.7.1	2 Radspuren	1.6	OK	eventuell		
2.7.2	4 Radspuren	3.2	OK	eventuell		

Tab. 11: Anwendbarkeit der standardisierten Massnahmen je nach Schadenbildern (Teil 3)

Spezifikationen  Massnahmen		ERHÖHUNG	Verlust	Verlust	Verlust	Verlust
		Oberbau	Schubverformung	Setzungen / Einsenkungen	Anrisse von Setzungen	Abgedrückte Ränder
		Total SN- Erhöhung	16.5 (4.8 - 28.1)	30.1 (9.6 - 50.6)	31.9 (12.1 - 50.6)	20.7 (9.6 - 31.7)
<b>1.</b>	<b>Reparatur</b>					
1.1	Riss - Instandsetzung	1.8				
1.2	Flächenflick, kleine Einzelflächen	4.8				
1.3	Flächenflick, grosse Einzelflächen	4.8				
1.4	Grabenflicke instandstellen	1.2				
1.5	Fugen Randabschlüsse ausgiessen	1.8				
<b>2.</b>	<b>Instandsetzung und Verstärkung</b>					
<b>2.1</b>	<b>Oberflächenverbesserungen</b>					
2.1.1	OB fein	1.5				
2.1.2	OB grob	2.3				
2.1.3	OB doppelt	3.0				
<b>2.2</b>	<b>Dünnschichtbelag</b>					
2.2.1	Kaltmicro (DSK), 15 mm, ohne Fräsen	3.8				
2.2.2	Kaltmicro (DSK), 15 mm, mit Fräsen	0.2				
2.2.3	Heissmicro (DSH), 20 mm, ohne Fräsen	5.0				
2.2.4	Heissmicro (DSH), 20 mm, mit Fräsen	0.2				
<b>2.3</b>	<b>Hocheinbau (Deckschicht)</b>					
2.3.1	40 mm, ohne Vorfräsen	16			eventuell	eventuell
2.3.2	40 mm, mit Vorfräsen	16	OK	eventuell	eventuell	eventuell
2.3.3	40 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	16 (+ 8)	OK	eventuell	eventuell	eventuell
<b>2.4</b>	<b>Hocheinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.4.1	100 mm, ohne Vorfräsen	40				
2.4.2	100 mm, mit Vorfräsen	40	OK	OK	OK	OK
2.4.3	100 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	40 (+ 12)	OK	OK	OK	OK
<b>2.5</b>	<b>Tiefereinbau (Deckschicht)</b>					
2.5.1	20 mm (Gehweg)	3.2				
2.4.2	40 mm	6.4	eventuell			
2.4.3	40 mm mit Asphaltarmierung	6.4 (+8)	eventuell	eventuell	eventuell	eventuell
<b>2.6</b>	<b>Tiefereinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.6.1	100 mm	16	OK	eventuell	eventuell	OK
2.6.2	100 mm mit Asphaltarmierung	16 (+12)	OK	OK	OK	OK
<b>2.7</b>	<b>Spurrinnen - Instandsetzung (Fräsen, Belag)</b>					
2.7.1	2 Radspuren	1.6				
2.7.2	4 Radspuren	3.2				

Tab. 12: Anwendbarkeit der standardisierten Massnahmen je nach Schadenbildern (Teil 4)

Spezifikationen  Massnahmen		ERHÖHUNG	Verlust	Verlust	Verlust	Verlust
		Oberbau	Belagsrandrisse	Frosthebungen	Längsrisse	Netzrisse
		Total SN-Erhöhung	22.7 (7.3 - 38.1)	33.2 (22.1 - 44.2)	33.3 (15.9 - 50.6)	33.3 (15.9 - 50.6)
<b>1.</b>	<b>Reparatur</b>					
1.1	Riss - Instandsetzung	1.8				
1.2	Flächenflick, kleine Einzelflächen	4.8				
1.3	Flächenflick, grosse Einzelflächen	4.8				
1.4	Grabenflicke instandstellen	1.2				
1.5	Fugen Randabschlüsse ausgiessen	1.8				
<b>2.</b>	<b>Instandsetzung und Verstärkung</b>					
2.1	<b>Oberflächenverbesserungen</b>					
2.1.1	OB fein	1.5				
2.1.2	OB grob	2.3				
2.1.3	OB doppelt	3.0				
2.2	<b>Dünnschichtbelag</b>					
2.2.1	Kaltmicro (DSK), 15 mm, ohne Fräsen	3.8				
2.2.2	Kaltmicro (DSK), 15 mm, mit Fräsen	0.2				
2.2.3	Heissmicro (DSH), 20 mm, ohne Fräsen	5.0				
2.2.4	Heissmicro (DSH), 20 mm, mit Fräsen	0.2				
2.3	<b>Hocheinbau (Deckschicht)</b>					
2.3.1	40 mm, ohne Vorfräsen	16	OK		eventuell	
2.3.2	40 mm, mit Vorfräsen	16	OK		eventuell	
2.3.3	40 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	16 (+ 8)	OK		eventuell	
2.4	<b>Hocheinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.4.1	100 mm, ohne Vorfräsen	40			OK	OK
2.4.2	100 mm, mit Vorfräsen	40			OK	OK
2.4.3	100 mm, mit Vorfräsen und Asphaltarmierung	40 (+ 12)			OK	OK
2.5	<b>Tiefeinbau (Deckschicht)</b>					
2.5.1	20 mm (Gehweg)	3.2				
2.4.2	40 mm	6.4				
2.4.3	40 mm mit Asphaltarmierung	6.4 (+8)				
2.6	<b>Tiefeinbau (Deck- und Binderschicht)</b>					
2.6.1	100 mm	16	OK		eventuell	eventuell
2.6.2	100 mm mit Asphaltarmierung	16 (+12)	OK	eventuell	eventuell	eventuell
2.7	<b>Spurrinnen - Instandsetzung (Fräsen, Belag)</b>					
2.7.1	2 Radspuren	1.6				
2.7.2	4 Radspuren	3.2				

Tab. 13: Anwendbarkeit der standardisierten Massnahmen je nach Schadenbildern (Teil 5)

## 5.6. Schlussfolgerung SN-Bewertung

Die SN-Bewertung ermöglicht eine Ziel führende Beurteilung der potentiell anwendbaren standardisierten Massnahmen (siehe Abb. 20) sowie eine Einstufung des Substanzwertes:

- ➔ Die Einflüsse der Schadenbildung und die entsprechende Schadenbandbreite können mittels SN-Bewertung gut dargestellt und benotet werden
- ➔ Die potentiellen Einflüsse der Schadenbildung auf den Substanzwert können genauer benotet werden, d.h. auch ihre Einflüsse auf die Sanierungskosten. Eine Schadenbildung mit Substanzverlust ist, im Vergleich mit der Erhaltung des Gebrauchswertes, meistens mit wesentlich höheren Kosten verbunden.
- ➔ Die Anwendung des gleichen Ansatzes und der gleichen Benotung für die Zunahme des Substanzwertes durch die einzelnen standardisierten Massnahmen des Einzelprojektes 1 ermöglicht eine zielgerichtete Massnahmenwahl für die Wiederherstellung des nötigen Substanzwertes. Die Anwendbarkeit der einzelnen potentiell passenden Massnahmen wurde für alle mögliche Paarung tabellarisch behandelt, und bildet eine Basis für die bevorstehende Überprüfung der Erhaltungsnormen.

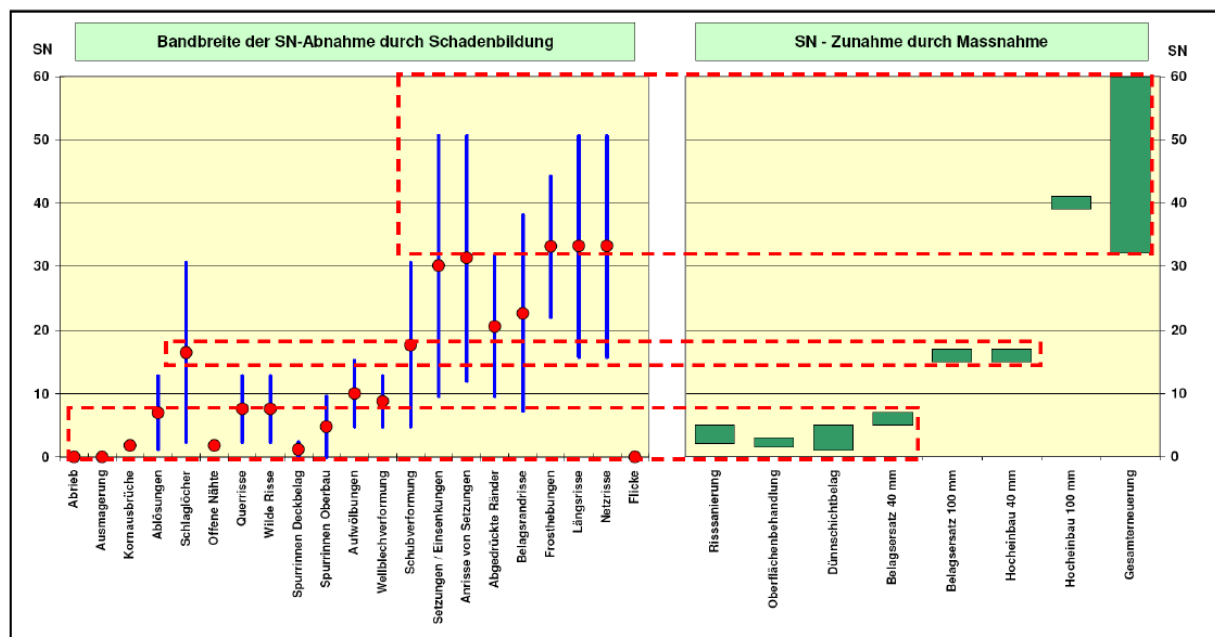


Abb. 20: Gegenüberstellung der Bandbreiten der SN-Abnahme durch Schadenbildung und der potentiellen SN-Zunahme durch typische standardisierte Sanierungsmassnahmen

## 6. Verstärkungswirkung, SN-Wert und Index I5

### 6.1. Einführung

Im Zusammenhang mit den im Rahmen des Einzelprojektes 1 aufgestellten Tabellen hat sich die Frage der korrekten Rücksetzwerte für den Tragfähigkeitsindex I5 gestellt.

Anhand der vorhandenen Grundlagen aus der Norm SN 640'733 [20] und SN 640'925 [2] haben wir die zu Grunde liegenden Werte zurückgerechnet.

Diese Rückrechnungen wurden zur Konsistenzüberprüfung für die Lastklassen T2 (Abb. 21) und T4 (Abb. 22) durchgeführt.

### 6.2. Verstärkungswirkung: Verhältnis Dicke - SN-Wert

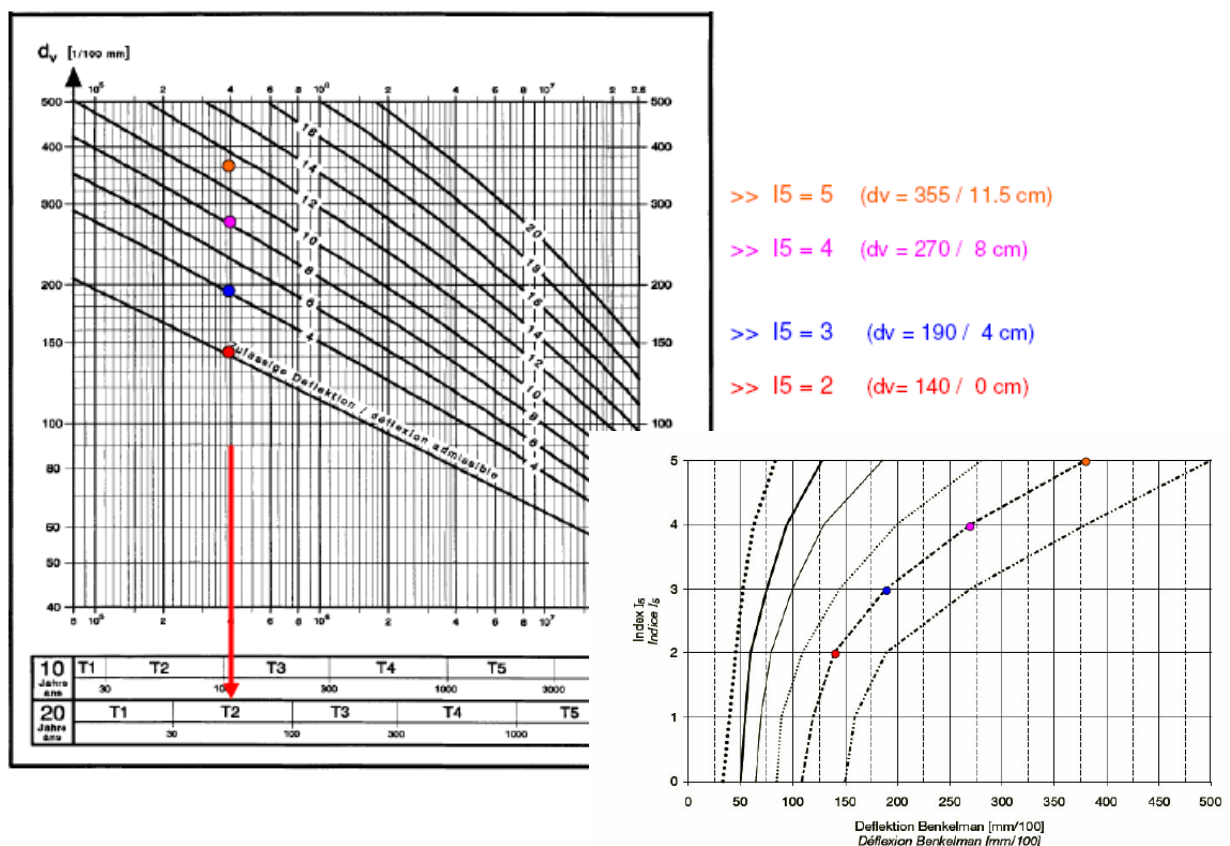


Abb. 21: Verstärkungswirkung von verschiedenen Belagsdicken für die Lastklasse T2 (gemäss SN 640'925 und SN 640'733)

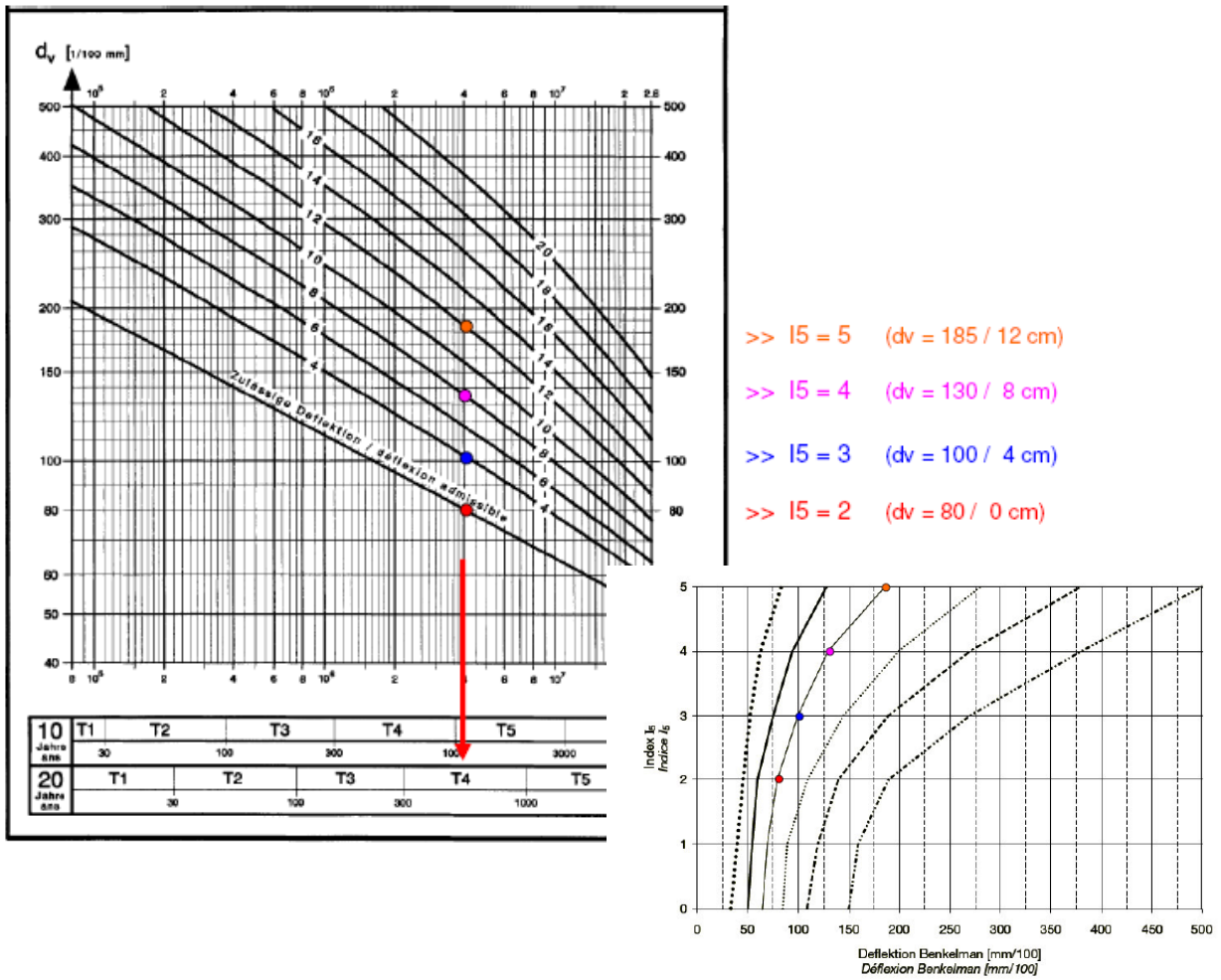


Abb. 22: Verstärkungswirkung von verschiedenen Belagsdicken für die Lastklasse T4 (gemäss SN 640'925 und SN 640'733)

### 6.3. Verstärkungswirkung: Verhältnis Dicke – Index I5

Die für beiden Lastklassen ermittelten Einflüsse auf die Indexbewertung sind die folgenden.

- 4 cm >> + SN 16 >> I5 - 1
- 8 cm >> + SN 32 >> I5 - 2
- 12 cm >> + SN 48 >> I5 - 3
- 16 cm >> + SN 64 >> I5 - 4

#### 6.4. Verstärkungswirkung: Rücksetzwert Index I<sub>5</sub>

Der entsprechende Rücksetzwert für den Index I<sub>5</sub> beträgt somit 1.0 für eine Verstärkungsdicke mit jeweils 4 cm einer neuen bitumenhaltigen Schicht. Der entsprechende SN-Wert beträgt 16 für 4 cm.

### SCHLUSSFOLGERUNGEN

#### Verstärkungsdicke < > Tragfähigkeitsindex I<sub>5</sub>

Zulässige Deflektion Norm SN 640'733	>>>	I <sub>5</sub> = 2
Verstärkung von 4 cm (SN-Wert = 16)	>>>	I <sub>5</sub> = I <sub>5</sub> - 1
➤ Rücksetzwert des Indexes I <sub>5</sub> für 4 cm	>>>	- 1
➤ Rücksetzwert des Indexes I <sub>5</sub> für 8 cm	>>>	- 2
➤ Rücksetzwert des Indexes I <sub>5</sub> für 12 cm	>>>	- 3
➤ Rücksetzwert des Indexes I <sub>5</sub> für 16 cm	>>>	- 4

## 7. Überprüfung der Rückstellwerte der Einzelindizes

Die Berechnung von Indexwerten anhand der Matrixwerte der Hauptgruppen aus der visuellen Zustandserfassung ist in den beiden Normen SN 640'925 und SN 640'926 mit unterschiedlichen Umwandlungssystemen beschrieben. Wir haben untersucht, ob es eine Möglichkeit gibt, die beiden Systeme miteinander zu vergleichen, und somit die Kohärenz der einzelnen Rückstellwerte zu überprüfen (gilt auch für die anderen Einzelprojekte).

### Indexberechnung gemäss Norm SN 640 925b (Gesamtindex I1)

In der Norm SN 640'925b werden die Matrixwerte  $M$  der Hauptgruppen mit der Formel **Ausmass \* Schwere ( $M = A * S$ )** bestimmt. Durch Multiplikation der Matrixwerte  $M$  mit der jeweiligen Gewichtung  $G$  ergibt sich über alle Hauptgruppen eine mögliche Gesamtpunktzahl von 90 Punkten. Die Umwandlung der gewichteten Gesamtsumme erfolgt jedoch bis zu einer maximalen Punktzahl von 50 (siehe folgende Abbildung).

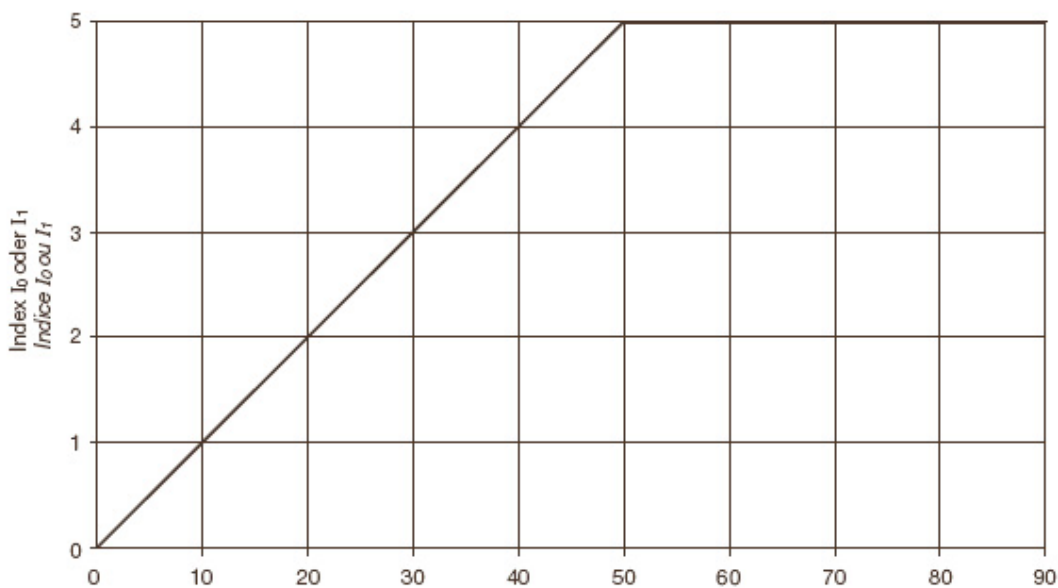


Abb. 23: Index I1 gemäss SN 640'925b (bezogen auf eine maximale Gesamtpunktzahl von 50)

### Indexberechnung gemäss Norm SN 640 926b (Einzelindizes IAi)

In der Norm SN 640'926 werden die Matrixwerte  $M$  der einzelnen Hauptgruppen ohne Gewichtung linear von der möglichen Gesamtzahl 9 ( $3*3$ ) auf 5 (maximale Indexzahl) umgerechnet (siehe Abbildung 24), das ergibt die Einzelindizes  $IA_i$ .



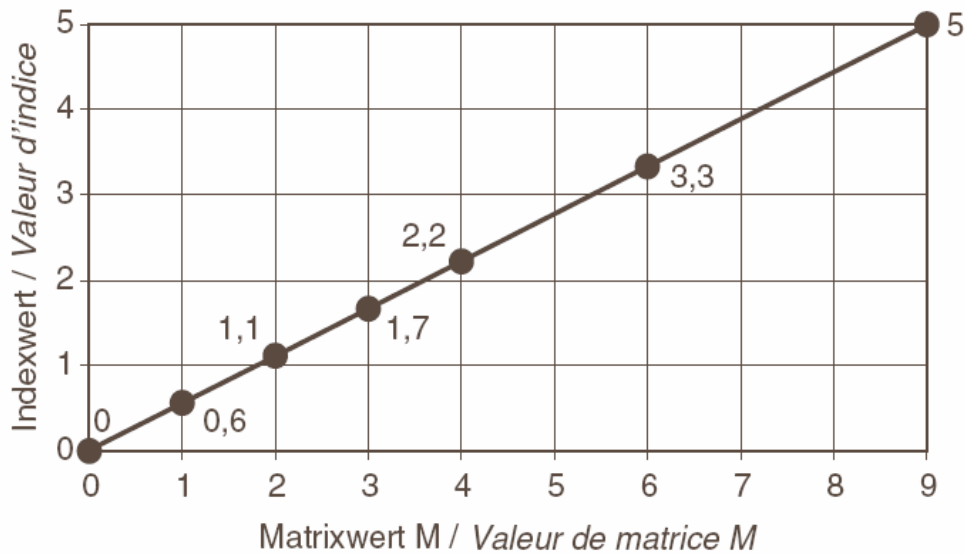


Abb. 24: Indexbewertung  $I_{A_i}$  gemäss SN 640'926 (bezogen auf eine maximale Matrixwert von 9)

Für eine Nachrechnung werden die Werte  $I_{A_i}$  mit der Gewichtung  $G$  der Hauptgruppen gemäss SN 640'925b multipliziert, das ergibt dann die Werte „I1 ab  $I_{A_i}$ “. Zur Kontrolle wird die Summe aller Werte „I1 ab  $I_{A_i}$ “ mit dem Divisor 5.56 dividiert (Resultat aus der Umrechnung  $10/9 \cdot 5$ ). Der Dividend 10 resultiert aus der Summe der Gewichtungen der einzelnen Hauptgruppen ( $2+2+2+3+1=10$ ). Es ergeben sich somit die gleichen Resultate bis zu einer Gesamtpunktzahl von 50 wie bei der Berechnung nach der Norm 640'925b. Bei Werten über 50 Punkten wird die Indexbewertung nach SN 640'926 weiterhin linear bewertet, während nach SN 640'925b die maximale Indexzahl bestehen bleibt bis zum Wert von 90 Punkten.

Die Umrechnungsformel lautet:

$$I1 \text{ [SN 640'925]} = \left( \sum I_{A_i} \text{ [SN 640'926]} * G \text{ [SN 640'925]} \right) / 5.56$$

Die folgenden zwei Fallbeispiele (Tab. 13 und Tab. 14) zeigen die reale Umsetzung der oben dargestellten Umrechnungsmethodik auf.

Berechnung der Indexwerte							
Einzel- Indizes	A Ausmass	S Schwere	M = A*S Matrixwert M	I <sub>Ai</sub> Einzel - Indizes SN 640 926	G Gewichtung	M * G Index I <sub>1</sub> SN 640 925	I <sub>Ai</sub> * G Nachrechnung I <sub>1</sub> ab I <sub>Ai</sub>
I <sub>A1</sub>	3	1	3	1.7	2	6.0	3.4
I <sub>A2</sub>	2	1	2	1.1	2	4.0	2.2
I <sub>A3i1</sub>	1	3	3	1.7	2	6.0	3.4
I <sub>A4</sub>	2	2	4	2.2	3	12.0	6.6
I <sub>A5</sub>	1	1	1	0.6	1	1.0	0.6
<b>Summe der Indexwerte</b>						29.0	16.2
						<b>Σ M * G/10</b>	<b>Σ I<sub>Ai</sub>*G/5.56</b>
						<b>2.9</b>	<b>2.9</b>

Tab. 13: Fallbeispiel 1

Berechnung der Indexwerte							
Einzel- Indizes	A Ausmass	S Schwere	M = A*S Matrixwert M	I <sub>Ai</sub> Einzel - Indizes SN 640 926	G Gewichtung	M * G Index I <sub>1</sub> SN 640 925	I <sub>Ai</sub> * G Nachrechnung I <sub>1</sub> ab I <sub>Ai</sub>
I <sub>A1</sub>	1	1	1	0.6	2	2.0	1.2
I <sub>A2</sub>	3	2	6	3.3	2	12	6.6
I <sub>A3i1</sub>	1	1	1	0.6	2	2.0	1.2
I <sub>A4</sub>	1	1	1	0.6	3	3.0	1.8
I <sub>A5</sub>	1	3	3	1.7	1	3.0	1.7
<b>Summe der Indexwerte</b>						22.0	12.5
						<b>Σ M*G/10</b>	<b>Σ I<sub>Ai</sub>*G/5.56</b>
						<b>2.2</b>	<b>2.2</b>

Tab. 14: Fallbeispiel 2

## 8. Gebrauchswert und Substanzwert

### 8.1. Analyse der aktuellen Berechnungsgrundlage

Die Berechnung von Gebrauchswert und Substanzwert sind im Anhang der SN 640'904 [2] für verschiedene Strassentypen angegeben. Sie berücksichtigen ausserdem verschiedene Geschwindigkeitsregime und Ortslage. Entscheidend aber im Bezug auf den heutigen Wissenstand, welcher durch diese Forschungsarbeit noch bekräftigt wird, ist die unpräzise bis ungeeignete Anwendung des Indexes  $I_1$  (bzw.  $I_0$ ) als Berechnungsgrundlage. Der Index  $I_1$  ist ein zusammengesetzter Wert anhand der gewichteten Ergebnisse der Zustandserhebung der Hauptgruppen der Schadenmerkmale [1]. Der Index  $I_1$  enthält einerseits Bestandteile, welche auf die Substanzwert Auswirkungen haben und andererseits weitere Bestandteile, welche ausschliesslich Einflüsse auf die Gebrauchswerte ausüben. Einige einzelne Schadenmerkmale weisen sogar geteilte Einflüsse auf. Der Index  $I_1$  (bzw.  $I_0$ ) ist somit als zusammengesetzter „Blackbox“ für eine zielgerechte und aussagekräftige Berechnung des Substanz- und Gebrauchswerts ungeeignet; seine Einzelkomponenten in Form der Einzelindizes  $I_{Ai}$  hingegen schon!

Strassentyp <i>Type de route</i>	Relevante Indizes <i>Indices considérés</i>	Substanzwert $SW_i$ <i>Valeur intrinsèque <math>SW_i</math></i>	Gebrauchswert $GW_i$ <i>Valeur d'usage <math>GW_i</math></i>
HLS 120/100	$I_0, I_2, I_3, I_4, I_5$	$SW_1 = 0,4 I_0 + 0,2 I_3 + 0,4 I_5$	$GW_1 = 0,2 I_0 + 0,1 I_2 + 0,2 I_3 + 0,5 I_4$
HLS 80	$I_0, I_2, I_3, I_4, I_5$	$SW_2 = 0,3 I_0 + 0,2 I_3 + 0,5 I_5$	$GW_2 = 0,2 I_0 + 0,3 I_3 + 0,5 I_4$
HVS a. o.	$I_0, I_3, I_4, I_5$	$SW_3 = 0,3 I_0 + 0,2 I_3 + 0,5 I_5$	$GW_3 = 0,3 I_0 + 0,2 I_3 + 0,5 I_4$
VS a. o.*	$I_0, I_4, I_5$	$SW_4 = 0,5 I_0 + 0,5 I_5$	$GW_4 = 0,5 I_0 + 0,5 I_4$
SS, ES a. o.*	$I_0$	$SW_5 = I_0$	$GW_5 = I_0$
HVS i. o.*	$I_0, I_4, I_5$	$SW_6 = 0,5 I_0 + 0,5 I_5$	$GW_6 = 0,5 I_0 + 0,5 I_4$
SS, ES i. o.*	$I_0$	$SW_7 = I_0$	$GW_7 = I_0$

Abb. 25: Beispiele von indexierten Zusammensetzungen zur Bestimmung des Substanz- und Gebrauchswerts gemäss Anhang der SN 640'906 [2]

Bei der momentan gültigen Berechnungsgrundlage gemäss SN 640'906 beträgt die Summe der einzelnen Gewichtungsfaktoren 1.0. Dies führt dazu, dass sowohl der Substanzwert wie auch der Gebrauchswert meistens zu niedrig ausfallen und somit eine nicht mehr vorhandene Qualität vortäuschen. Dieser „Verschönerungseffekt“ ist besonders ausgeprägt, wenn ein einzelner Index einen hohen Wert aufweist.

Die nachstehend vorgeschlagene Änderung der Berechnungsgrundlage soll helfen, solche Fehlresultate weitgehend eliminieren zu können. Dafür werden verschiedene Lösungsansätze anhand von Wertebeispielen kritisch untersucht.

## 8.2. Einbindung der Spartenindices I<sub>Ax</sub>

Die folgende Abbildung stellt die Zuordnung der verschiedenen Zustandsindizes als Einflussparameter auf Gebrauchswert und Substanzwert. Die gestrichelten Linien zeigen Einflüsse, welche nur unter gewissen speziellen Bedingungen möglich sind (z.B. eine sehr schlechte Längsebenheit kann dynamische Überbelastungen bewirken, welche schlussendlich zur Schadenbildung und Substanzminderung führen können).

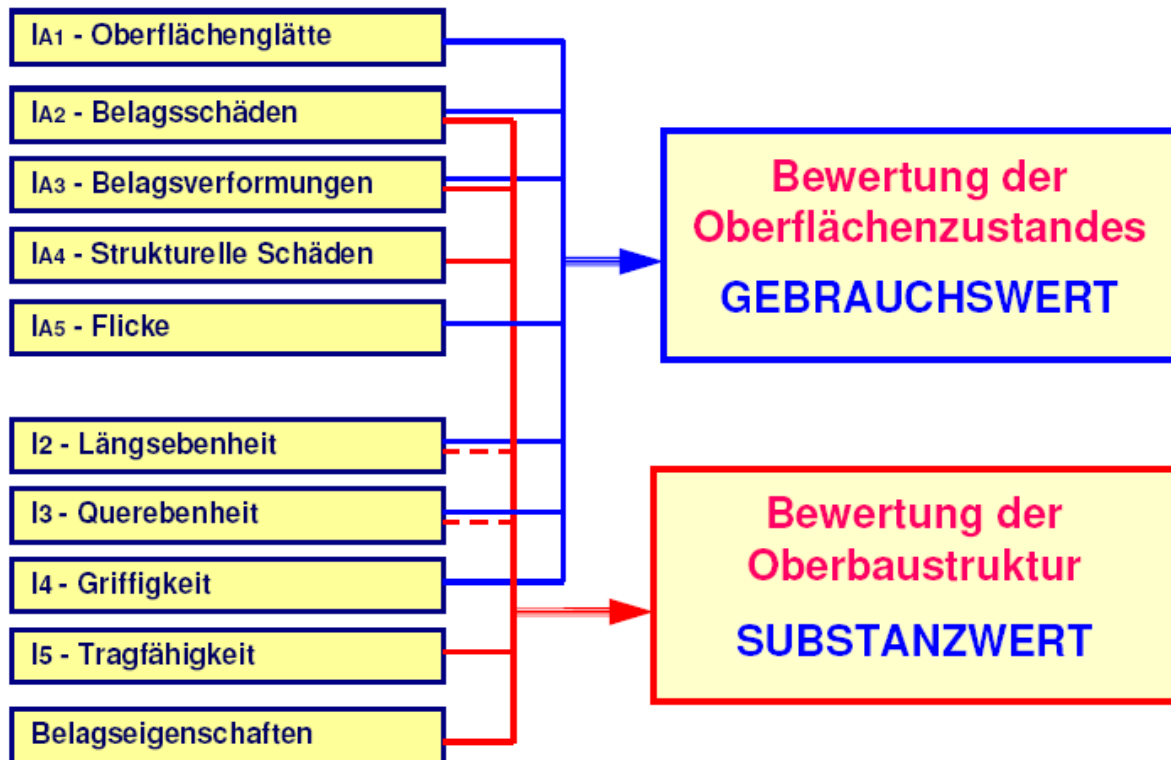


Abb. 26: Zuordnung der Zustandsindizes zur Bestimmung des Substanz- und Gebrauchswerts

### SUBSTANZWERT : Anteile mittlerer SN-Verluste

➔	Index I A1 (Oberflächenglätte)	- 0.0 (SN)	0 %	I1
➔	Index I A2 (Belagsschäden)	- 6.0 (SN)	13 %	I1
➔	Index I A3 (Verformungen)	- 8.5 (SN)	19 %	I1
➔	Index I A4 (Strukturelle Schäden)	- 29 (SN)	64 %	I1
➔	Index I A5 (Flicke & Reparaturen)	- 2.0 (SN)	4 %	I1
➔	Index I 3 (Spurrinnen)	⇒	sehr gering auf Substanzwert	
➔	Index I 4 (Griffigkeit)	⇒	null auf Substanzwert	
➔	Index I 5 (Tragfähigkeit)	⇒	repräsentativer als I A4 (Sichtbarkeit)	

### 8.3. Differenzierte Berücksichtigung der Indizes

Die Berücksichtigung der Einzelindizes IA1 bis IA5 (anstatt des für die Massnahmenplanung unbrauchbaren zusammengesetzten Indexes I1) ist eine wichtige Verbesserung zur genaueren und Ziel führenden Bestimmung von Gebrauchswert und Substanzwert.

Eine optimale Gewichtung der berücksichtigten Einzelindizes bleibt eine schwierige Angelegenheit, da sowohl zwischen den verschiedenen Strassenkategorien als auch innerhalb dieser mit gewissen Bandbreiten der Schadenhäufigkeit und des Schadenbildes zu rechnen sind. Die folgende Tabelle stellt für die verschiedenen Strassenkategorien (gemäss aktueller Einteilung in der SN 640'904) die Wahrscheinlichkeit der Schadenbildung für den Einzelindex dar.

#### SUBSTANZWERT : WAHRSCHEINLICHKEIT DER SCHÄDEN je nach Strassentyp

Strassenkategorie	IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I2	I3	I4	I5
HLS ausserorts		↗	↘	↘	↘		↗		↘
HVS ausserorts		↗	→	→	→		↗		→
VS ausserorts		↗	↗	↗	→		→		↗
SS, ES ausserorts		↗	↗	↗	↗		→		→
HVS innerorts		↗	→	→	→		↗		→
SS, ES innerorts		↗	↗	↗	↗		→		→

Nicht immer sichtbar ! 

Abb. 27: Wahrscheinlichkeit der Schadenbildung für die verschiedenen Zustandsmerkmale in Form von Einzelindex

#### 8.4. Vorschläge zur Berechnung von Gebrauchs- und Substanzwert

Die vorgeschlagene neue Berechnungsgrundlage für den Gebrauchs- und den Substanzwert unter Berücksichtigung der einzelnen Spartenindizes  $I_{Ai}$  ermöglicht eine saubere Gliederung und Unterteilung zwischen den unterschiedlichen Einflussparametern.

Die im Kapitel 8.1 erwähnte Problematik der zu kleinen Endwerte, bzw. der zu niedrigen Reaktivität dieser beiden zusammengesetzten Indizes, muss unbedingt angegangen werden, um bei der nächsten Normrevision angepasst zu werden. Die folgenden Ansätze wurden überprüft:

- systematische Erhöhung aller Gewichtungen um den Faktor X ( $X = 1.5$  bis  $1.8$ )
- gezielte Erhöhung der verschiedenen Gewichtungen
- Verdoppelung der Gewichtung des Zustandsindex mit dem Höchstwert.

Wie oben erwähnt, eine mögliche Variante ist die systematische Erhöhung aller Faktoren um z.B. den Faktor 1.5. Das hat aber wieder den Nachteil, dass die Gewichtung der Schadenbilder nicht immer wirksam wird, und dass die Eigenheiten der verschiedenen Strassentypen zu wenig berücksichtigt können. Um diesem Umstand gerecht zu werden, könnte jeweils der Faktor mit dem höchsten Indexwert verdoppelt werden, bzw. die Gewichtungsfaktoren variabel und in einer Bandbreite der Faktorensomme zwischen 1.5 und 1.8 angepasst werden.

AUTOBAHNEN	Gebrauchswert - Gewichtungsfaktoren			
	SN 640'904	Basis mit $I_{Ai}$	Vorschlag 1	Vorschlag 2
<b>I<sub>1</sub> : Oberflächenschäden</b>	<b>0.2</b>			
<b>I<sub>A1</sub> : Oberflächenglätte</b>		-----	-----	-----
<b>I<sub>A2</sub> : Belagsschäden</b>				<b>0.2</b>
<b>I<sub>A3</sub> : Belagsverformungen</b>				
<b>I<sub>A4</sub> : Strukturelle Schäden</b>				
<b>I<sub>A5</sub> : Flicke</b>				
<b>I<sub>2</sub> : Längsebenheit</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.45</b>	<b>0.5</b>
<b>I<sub>3</sub> : Spurrinnen</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.60</b>	<b>0.6</b>
<b>I<sub>4</sub> : Griffigkeit</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>	<b>0.45</b>	<b>0.5</b>
<b>I<sub>5</sub> : Tragfähigkeit</b>				
<b>Σ (Fakt X)</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.5</b>	<b>1.8</b>

Abb. 28: Vorschlagsbeispiele zur neuen Berechnung des Gebrauchswertes unter Berücksichtigung der Einzelindizes der visuellen Zustandserfassung für die Strassenkategorie „Autobahnen“

Mit den nachfolgend aufgeführten Beispielen wird ersichtlich, wie sich die beiden Varianten im Vergleich zu der bestehenden Berechnungsgrundlage verhalten und welche Schlüsse daraus gezogen werden können.

### Beispiel 1: Hauptsächlich leichte strukturelle Schäden + Tragfähigkeit

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF SUBSTANZWERT

Aktuelle Berechnungsgrundlage

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert gem. 640'904	Substanzwert gem. 640'904
0.0	1.7	0.6	1.1	0.8	1.5	1.5	2.0	1.5	0.6	HLS 120	1.61	1.25
0.0	1.7	0.6	2.2	0.8	2.1	1.5	2.0	1.5	1.5	HVS a.o.	1.79	1.79
0.0	1.7	0.6	2.2	0.8	2.1	1.5	2.0	1.5	1.5	HVS l.o.	1.81	1.81
0.0	1.7	0.6	2.2	0.8	2.1	1.5	2.0	1.5	1.5	SS/ES l.o.	2.12	2.12

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF SUBSTANZWERT

Systematischer Faktor

FAKTOR FG	FAKTOR FS
1.5	1.5

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.7	0.6	1.1	0.8	1.5	1.5	2.0	1.5	0.6	HLS 120	2.55	2.01
0.0	1.7	0.6	2.2	0.8	2.1	1.5	2.0	1.5	1.5	HVS a.o.	2.61	2.73
0.0	1.7	0.6	2.2	0.8	2.1	1.5	2.0	1.5	1.5	HVS l.o.	2.61	2.73
0.0	1.7	0.6	2.2	0.8	2.1	1.5	2.0	1.5	1.5	SS/ES l.o.	1.71	2.73

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF SUBSTANZWERT

Differenzierter Faktor

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.7	0.6	1.1	0.8	1.5	1.5	2.0	1.5	0.6	HLS 120	2.50	2.02
0.0	1.7	0.6	2.2	0.8	2.1	1.5	2.0	1.5	1.5	HVS a.o.	2.18	2.70
0.0	1.7	0.6	2.2	0.8	2.1	1.5	2.0	1.5	1.5	HVS l.o.	2.18	2.70
0.0	1.7	0.6	2.2	0.8	2.1	1.5	2.0	1.5	1.5	SS/ES l.o.	1.58	2.70

### Beispiel 2: Hauptsächlich mittlere strukturelle Schäden + Tragfähigkeit

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF SUBSTANZWERT

Aktuelle Berechnungsgrundlage

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert gem. 640'904	Substanzwert gem. 640'904
0.0	1.1	0.6	2.2	0.8	1.9	1.7	2.2	1.5	2.5	HLS 120	1.74	2.20
0.0	1.1	0.6	3.3	0.8	2.5	1.7	2.2	1.5	2.5	HVS a.o.	1.94	2.44
0.0	1.1	0.6	3.3	0.8	2.5	1.7	2.2	1.5	2.5	HVS l.o.	2.00	2.50
0.0	1.1	0.6	3.3	0.8	2.5	1.7	2.2	1.5	2.5	SS/ES l.o.	2.50	2.50

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF SUBSTANZWERT

Systematischer Faktor

FAKTOR FG	FAKTOR FS
1.5	1.5

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.1	0.6	2.2	0.8	1.9	1.7	2.2	1.5	2.5	HLS 120	2.76	2.64
0.0	1.1	0.6	3.3	0.8	2.5	1.7	2.2	1.5	2.5	HVS a.o.	3.06	3.69
0.0	1.1	0.6	3.3	0.8	2.5	1.7	2.2	1.5	2.5	HVS l.o.	3.06	3.69
0.0	1.1	0.6	3.3	0.8	2.5	1.7	2.2	1.5	2.5	SS/ES l.o.	1.86	3.81

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF SUBSTANZWERT

Differenzierter Faktor

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.1	0.6	2.2	0.8	1.9	1.7	2.2	1.5	2.5	HLS 120	2.72	3.08
0.0	1.1	0.6	3.3	0.8	2.5	1.7	2.2	1.5	2.5	HVS a.o.	2.70	3.78
0.0	1.1	0.6	3.3	0.8	2.5	1.7	2.2	1.5	2.5	HVS l.o.	2.70	3.78
0.0	1.1	0.6	3.3	0.8	2.5	1.7	2.2	1.5	2.5	SS/ES l.o.	1.90	3.86

### Beispiel 3: Hauptsächlich starke strukturelle Schäden + mittlere Tragfähigkeit

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF SUBSTANZWERT

Aktuelle Berechnungsgrundlage

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert gem. 640'904	Substanzwert gem. 640'904
0.0	1.9	1.3	3.3	0.8	3.0	1.5	2.0	1.5	3.5	HLS 120	1.91	3.02
0.0	1.9	1.3	5.0	0.8	4.0	1.5	2.0	1.5	3.5	HVS a.o.	2.34	3.34
0.0	1.9	1.3	5.0	0.8	4.0	1.5	2.0	1.5	3.5	HVS l.o.	2.73	3.73
0.0	1.9	1.3	5.0	0.8	4.0	1.5	2.0	1.5	3.5	SS/ES l.o.	3.96	3.96

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF SUBSTANZWERT

Systematischer Faktor

FAKTOR FG	FAKTOR FS
1.5	1.5

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.9	1.3	3.3	0.8	3.0	1.5	2.0	1.5	3.5	HLS 120	2.55	4.11
0.0	1.9	1.3	5.0	0.8	4.0	1.5	2.0	1.5	3.5	HVS a.o.	3.45	5.37
0.0	1.9	1.3	5.0	0.8	4.0	1.5	2.0	1.5	3.5	HVS l.o.	3.45	5.37
0.0	1.9	1.3	5.0	0.8	4.0	1.5	2.0	1.5	3.5	SS/ES l.o.	3.03	5.67

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF SUBSTANZWERT

Differenzierter Faktor

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.9	1.3	3.3	0.8	3.0	1.5	2.0	1.5	3.5	HLS 120	2.50	4.72
0.0	1.9	1.3	5.0	0.8	4.0	1.5	2.0	1.5	3.5	HVS a.o.	3.30	5.58
0.0	1.9	1.3	5.0	0.8	4.0	1.5	2.0	1.5	3.5	HVS l.o.	3.30	5.58
0.0	1.9	1.3	5.0	0.8	4.0	1.5	2.0	1.5	3.5	SS/ES l.o.	3.02	5.78

### Beispiel 4: Hauptsächlich starke Spurrinnenbildung

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF GEBRAUCHSWERT

Aktuelle Berechnungsgrundlage

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert gem. 640'904	Substanzwert gem. 640'904
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	HLS 120	2.17	2.64
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	HVS a.o.	2.21	2.71
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	HVS l.o.	1.68	2.18
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	SS/ES l.o.	1.85	1.85

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF GEBRAUCHSWERT

Systematischer Faktor

FAKTOR FG	FAKTOR FS
1.5	1.5

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	HLS 120	4.05	2.55
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	HVS a.o.	3.21	2.88
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	HVS l.o.	3.21	2.88
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	SS/ES l.o.	1.56	3.03

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF GEBRAUCHSWERT

Differenzierter Faktor

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	HLS 120	4.50	2.72
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	HVS a.o.	3.04	2.67
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	HVS l.o.	3.04	2.67
0.0	1.7	0.6	1.7	0.8	1.9	1.5	4.5	1.5	2.5	SS/ES l.o.	1.38	3.02



### Beispiel 5: Hauptsächlich schlechte Griffigkeit

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF GEBRAUCHSWERT

Aktuelle Berechnungsgrundlage

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert gem. 640'904	Substanzwert gem. 640'904
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	HLS 120	3.27	2.24
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	HVS a.o.	3.31	2.31
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	HVS I.o.	3.18	2.18
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	SS/ES I.o.	1.85	1.85

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF GEBRAUCHSWERT

Systematischer Faktor

FAKTOR FG	FAKTOR FS
1.5	1.5

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	HLS 120	4.20	2.55
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	HVS a.o.	4.41	2.88
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	HVS I.o.	4.41	2.88
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	SS/ES I.o.	1.56	3.03

#### BEISPIEL EINFLÜSSE AUF GEBRAUCHSWERT

Differenzierter Faktor

IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	I0	I2	I3	I4	I5		Gebrauchswert FA 2004/713	Substanzwert FA 2004/713
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	HLS 120	4.15	2.72
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	HVS a.o.	4.74	2.67
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	HVS I.o.	4.74	2.67
0.0	1.7	0.6	1.7	0.6	1.9	1.5	2.5	4.5	2.5	SS/ES I.o.	1.38	3.02

Es zeigt sich, dass je nach Schadentyp und Schadenstärke die Resultate bei den verschiedenen Berechnungsgrundlagen unterschiedlich ausfallen. Einzelne Werte fallen mit den Faktoren etwas tiefer aus als mit der aktuellen Berechnungsgrundlage, doch bei den meisten Beispielen wirken sich die Faktoren entsprechend aus und führen zu einem realistischeren Bild.

## 9. Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

Aus den im Bericht beschriebenen Untersuchungen, konzeptuellen Analysen und methodischen Entwicklungen ergeben sich die folgenden Erkenntnissen und Schlussfolgerungen:

### **Tragfähigkeit und visueller Zustand sind nicht systematisch korreliert. Warum ?**

- Die Schadenbildung hängt von mehreren Faktoren ab, unter anderem von den Materialeigenschaften, der Aufteilung der Schichten, dem Schichtverbund, der richtigen Dimensionierung für die TF-Belastung sowie der gesamten Tragfähigkeit des Oberbaus
- Für gewisse Schäden, **Schadenbildung und Sichtbarkeit an der Fahrbahnoberfläche verlaufen unterschiedlich**. Sie sind teilweise erst im Endstadium, d.h. zu spät, visuell an der Oberfläche erfassbar
- Die meisten Strassen sind grundsätzlich richtig dimensioniert. Nur einzelne Zonen (oft in den Randbereichen) weisen Dimensionierungsschwächen auf.

### **Die SN-Bewertung ermöglicht eine Ziel führende Beurteilung des Substanzwertes**

- Die Einflüsse der Schadenbildung und die Schadenbandbreite können mittels SN-Bewertung gut abgeschätzt und benotet werden
- Die potentiellen Einflüsse der Schadenbildung auf den Substanzwert können genauer benotet werden, d.h. auch ihre Einflüsse auf die Sanierungskosten. Eine Schadenbildung mit Substanzverlust ist, im Vergleich mit der Erhaltung des Gebrauchswertes, meistens mit wesentlich höheren Kosten verbunden.

### **Die Berechnungsgrundlagen von Gebrauchs- und Substanzwert (Anhang SN 640'904) müssen dringend revidiert werden**

- Die aktuelle Berechnungsmethodik der SN 640'904 liefert Prinzip bedingt uninteressante Werte: sie sind systematisch zu klein (d.h. zu gut) und reagieren zu wenig empfindlich auf Veränderungen der einzelnen Zustandsmerkmale
- Die Summe der Gewichtungen aller Einzelindizes soll von 1.0 auf 1.5 bis 1.8 angehoben werden
- Die Anzahl der berücksichtigten unterschiedlichen Strassentypen soll überprüft werden (wahrscheinlich reduziert werden).

### Weitere Überlegungen und Empfehlungen

- Die Erfahrung zeigt, dass ein wesentlicher Teil der Schäden und der Tragfähigkeitsprobleme im Randbereich auftreten (durch fehlende oder ungenügende Banketten, sowie durch seitliche Umgebungseinflüsse). Die entsprechende standardisierte Massnahme „Banketterneuerung“ des EP1 kann aber mit keinen der vorhandenen Einzelindizes eindeutig ausgelöst werden
- **Als Folge ist die Bildung eines zusätzlichen Einzelindex IA4-R „Strukturelle Schäden im Randbereich“ sehr zu empfehlen.**

## 10. Bibliographieliste

- [1] Norm SN 640'904, Erhaltungsmanagement (EM); Gesamtbewertung von Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen: Substanz- und Gebrauchswerte. VSS, 2003.
- [2] Norm SN 640'925, Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF); Zustandserhebung und Indexbewertung. VSS, 2003.
- [3] Norm SN 640'926, Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF); Visuelle Zustandserhebung: Einzelindizes. VSS, 2006.
- [4] Claude Morzier, Ingénieur cantonal Fribourg; "Détermination des priorités et optimisation du processus PMS", Journée LAVOC, septembre 1999.
- [5] Alain Jacot, François Contausset, SACR SA; "Variations saisonnières de la déflexion sur les chaussées souples, Facteurs d'influence", Mandat de recherche VSS 24/88, Rapport 0231.
- [6] Bundesministerium für Verkehr (D); Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: "Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmassnahmen an Strassenbefestigungen RPE-Str 01", Berlin, 2001
- [7] J. Litzka ; Institut für Strassenbau und Strassenerhaltung, TU-Wien „Strassenzustandserfassung in Österreich, Grundlagen für die strukturelle Bewertung“, DACH-Tagung Oberbaubemessung, Bad Horn, CH, Mai 2004
- [8] A. Weninger-Vycudil, P. Simanek, J. Litzka; TU Wien, Institut für Straßenbau und Straßen-erhaltung. "Praktische Anwendung von Kennzahlen der Straßenbefestigung im österreichischen PMS 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin 2004"
- [9] Prof. S. Huschek; TU Berlin, Institut für Straßen- und Schienenverkehr, Fachgebiet Straßenbau "Die Bewertung von Fahrbahnoberflächen hinsichtlich Griffigkeit, Ebenheit und Substanz, VDI Berichte Nr. 1494, Reifen Fahrwerk Fahrbahn, Tagung 21. – 22.10.1999 in Hannover"
- [10] I. Scazziga & LAVOC (EPFL); "Diagnostic d'état des chaussées – Indice d'état unique, composé et global", Mandat de recherche VSS 1999/120, Rapport 1040.
- [11] Bundesministerium für Verkehr (D); FGSV. "Entwicklung einer Methodik zur zweckmässigen Zusammenfassung massnahmebedürftiger Abschnitte der BAB-Betriebsstrecken auf der Grundlage von Zustands- und Bestandsdaten", Heft 736, Berlin, 1996
- [12] M. Wistuba, R. Blab, J. Litzka ; Institut für Strassenbau und Strassenerhaltung, TU-Wien "Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen: Methodenüberblick und Ableitung von Klimadaten für die analytische Bemessung“, DACH-Tagung Oberbaubemessung, Bad Horn, CH, Mai 2004
- [13] Prof. Dr. F. Wellner, Dr. s. Werkmeister, J. Jähmig, A. Kiehne; „Analytische Bemessung von Strassenbefestigungen kontra RStO“, DACH-Tagung Oberbaubemessung, Bad Horn, CH, Mai 2004
- [14] Dr.-Ing. Ulf Zander; bast (D) „Substanzbewertung von Asphaltbefestigungen anhand von vergleichenden Ermüdungsuntersuchungen“
- [15] I. Scazziga; "Beobachtung des Verhaltens ausgewählter Strassenabschnitte" Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), IVT, ETH Zürich, Heft 365, 1996
- [16] M. Blumer, E. Stahel; "Management der Strassenerhaltung (MSE) Entwicklung Massnahmen - Strategie- und Kostenmodell" VSS, Heft 357, Zürich, 1996
- [17] Steffi Klinghammer, Thomas Huber, Dr. Mattias Nagel; "Methodenstudie zur Verbesserung des Prognoseinstrumentarismus für die langfristige Erhaltung der Bundesfernstrassen" Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 743, Bonn, 1997

- [18] Dr. J. Rübensam, F. Schulze; "Auswertung von Langzeitbeobachtungsdaten zur Beantwortung von Fragestellungen des Management der Strassenerhaltung" Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 712, Bonn, 1994
- [19] Deighton Associates Limited; „PMS Modèle dTIMS CT“; et sa version européenne : Viagroup ; "VIAPMS 6.1, Benutzerhandbuch"
- [20] Norm SN 640'733, Erhaltung von Fahrbahnen; Oberbauverstärkung von Fahrbahnen in bituminöser Bauweise aufgrund von Deflektionsmessungen; VSS, 1997.