

PRAKTISCHE ANWENDUNG VON KENNZAHLEN DER STRASSENBEFESTIGUNG IM ÖSTERREICHISCHEN PMS

Dipl.-Ing.Dr. Alfred Weninger-Vycudil
Dipl.-Ing. Petra Simanek
Univ.-Prof.Dipl.-Ing.Dr. Johann Litzka

Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung
Technische Universität Wien
A-1040 Wien / Gußhausstraße 28 / Österreich
Tel.: ++43 / 1 / 58801-23312 / Fax: ++43 / 1 / 58801-23399
E-mail: aweninger@istu.tuwien.ac.at

Kurzfassung

Eine wichtige Voraussetzung für eine effiziente Erhaltungsplanung des Straßenoberbaus ist die Beschreibung der Straßeneigenschaften durch bestimmte Kennzahlen und Kennwerte. Dies ist einerseits für die Festlegung von Anforderungs- und Zielkriterien der baulichen Erhaltung erforderlich, andererseits aber auch für die gesamt- oder betriebswirtschaftliche Beurteilung unterschiedlicher Erhaltungsstrategien sowohl aus der Sicht der Straßennutzer als auch aus der Sicht der Straßenbetreiber.

Mit der Implementierung eines computerunterstützten PMS auf den österreichischen Bundesstraßen wurde ein Verfahren entwickelt, das für die Bewertung des Straßenzustandes unterschiedliche Kennzahlen der Straßenbefestigung berechnet. Die hierfür erforderlichen Eingangsgrößen werden aus verschiedenen Datengrundlagen entnommen, wie z.B. Straßenzustandsdaten (Spurrinnen, Risse, Griffigkeit, etc.), Informationen über den Oberbau (Material, Schichtdicke, Herstellungsjahr, etc.), Daten über die Beanspruchung durch Verkehr und Klima, Informationen der Straßengeometrie, etc. Um eine Verknüpfung der unterschiedlichen Informationen zu ermöglichen, werden zunächst die dimensionsbehafteten Einzelgrößen über spezielle Bewertungs- bzw. Normierungsfunktionen in dimensionslose Zustandswerte übergeführt und danach durch die Anwendung geeigneter Gewichtungsvorschriften zu Teilwerten (Gebrauchswert und Substanzwert) und letztendlich zu einem Gesamtwert zusammengefasst.

Durch die Verknüpfung des Verfahrens mit auf die Einzelmerkmale bezogenen Straßenzustandsprognosemodellen (deterministische Verhaltensfunktionen) sind zu jedem Zeitpunkt der Analyse Vorhersagen hinsichtlich des Straßenzustandes möglich, sodass die Auswirkungen unterschiedlicher Erhaltungsstrategien über einen bestimmten Zeitraum quantifiziert werden können. Die Kennwerte der Straßenbefestigung haben daher einen entscheidenden Einfluss auf verschiedene Elemente der angewendeten Lebenszyklusanalyse, wie Nutzen-Kosten-Untersuchung, Optimierung, Verhaltensfunktionen, etc.

Für die praktische Anwendung dieses Verfahrens werden zwei speziell für die Erhaltung von Infrastrukturobjekten entwickelte Softwarelösungen aus Kanada verwendet, die eine abschnittsbezogene Analyse des zu untersuchenden Straßennetzes ermöglichen. Die Ergebnisse der Berechnungen werden einerseits als Grundlage für mehrjährige Arbeits- oder Bauprogramme verwendet, können aber auch durch eine Zusammenfassung der Einzelergebnisse auch als Grundlage für Entscheidungen auf Netzebene herangezogen werden (z.B. Zustandsentwicklung für unterschiedliche budgetäre Randbedingungen).

Abstract

A key prerequisite for an efficient maintenance-planning of road pavements is the description of pavement characteristics by specific performance indicators for road pavements. This is necessary to specify the performance criteria and goals of the structural road maintenance as well as for the commercial or macro-economic assessment of different maintenance strategies from the perspective of both road users and road operators.

With the implementation of a computer-assisted Pavement Management System on the Austrian federal road network a process for the assessment of road condition was developed, which calculates special performance indicators for road pavements. The necessary input-values for these calculations are taken from different data bases, like road condition data (rutting, cracking, skid-resistance, etc.), information of pavement construction (material, thickness of layer, year of placement, etc.), data of traffic loads and climatic effects, information of road-geometry, etc. To enable the combination of different data, first the single attributes are transformed into dimensionless condition indexes by using special assessment- or normalization-functions respectively. After that the dimensionless condition indexes are combined into sub-indexes (comfort and safety index, pavement and distress index) and finally into a total condition index by using appropriate weighting- and combination-instructions.

It is possible to receive a prediction of the pavement condition at every time throughout the analysis period by combining this method with performance prediction models of each single condition attribute, so that the impact of different maintenance strategies can be quantified over a certain time period. Thus the performance indicators for road pavements have an important influence to different elements of the applied life-cycle-analysis, such as cost-benefit-calculation, optimization, performance prediction models, etc.

For the practical application of this method two software-products, which are especially developed for the maintenance of infrastructures, are used. The software-solutions, both of Canadian origin, enable a section-based analysis of the investigated road network. The results of the calculations are used on the one hand as a basis for multi-year working- or construction programs but on the other hand they can also be disposed as a foundation for decision on network-level by combining the outcomes of each single road section (e.g. development of road condition under different budget preconditions).

1. Einleitung

Mit der Entscheidung ein einheitliches Managementsystem für die systematische Erhaltung des Straßenoberbaus auf den österreichischen Bundesstraßen einzusetzen, wurden im Auftrag der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) und des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) erstmalig 1998 die vorhandenen erhaltungsrelevanten Daten zentral gesammelt und in eine spezielle Straßendatenbank implementiert. Diese Aufgabe wurde zunächst für die Autobahnen und Schnellstraßen (ca. 2.000 km Gesamtlänge) und nachfolgend für sonstige Bundesstraßen (ca. 10.000 km Gesamtlänge, heute Landesstraßen Kategorie B) durchgeführt. Das Ziel dieser Datenzusammenführung, die sich auf Oberbaudaten, Zustandsdaten, Verkehrsdaten, Geometriedaten, etc. bezog, war die Schaffung einer einheitlichen Datengrundlage für die praktische Anwendung eines computerunterstützten Pavement Management Systems (PMS) auf diesem Straßennetz.

Um eine effiziente Erhaltungsplanung des Straßenoberbaus überhaupt zu ermöglichen, ergab sich die Notwendigkeit, die in unterschiedlicher Qualität und Quantität vorliegenden Einzelinformationen in beschreibende Kennwerte und Kennzahlen zusammenzufassen. Dies war einerseits für die Festlegung von Anforderungs- und Zielkriterien der baulichen Erhaltung

erforderlich, andererseits aber auch für die gesamt- oder betriebswirtschaftliche Beurteilung unterschiedlicher Erhaltungsstrategien sowohl aus der Sicht der Straßennutzer als auch aus der Sicht der Straßenbetreiber.

Da bis zum Zeitpunkt dieser erstmaligen Datenerfassung keine ausreichenden Grundlagen für die Bildung von Kennzahlen der Straßenbefestigung in Österreich zur Verfügung standen, mussten zunächst die Methoden und Verfahren zur Bildung dieser Werte entwickelt werden. Der gegenständliche Beitrag beschreibt im Überblick die derzeit im österreichischen PMS verwendeten Kennzahlen der Straßenbefestigung sowie die notwendigen Verfahren und Algorithmen zur Berechnung dieser Werte. Die Grundlagen dieser Methoden sind das Ergebnis von mehreren Forschungsprojekten, die am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung in den letzten Jahren bearbeitet wurden, und der ersten praktischen Anwendung des Systems auf dem Autobahnen- und Schnellstraßennetz.

2. Überblick über das österreichische PMS

Das für die systematische Erhaltungsplanung des Oberbaus herangezogene System greift auf ein Verfahren zurück, das die Entscheidungsfindung für Erhaltungsmaßnahmen systematisiert, um ein Optimum an Effizienz in Bezug auf den Mitteleinsatz oder den Straßenzustand zu erreichen. Dabei wird neben einer Nutzen-Kosten-Untersuchung auch ein heuristisches Optimierungsverfahren angewendet, das unter vorgegebenen Randbedingungen (Budget oder Straßenzustand) die optimale Erhaltungsstrategie ermittelt. Es handelt sich dabei um ein System, das grundsätzlich für die Bewertung der Netzebene entwickelt wurde, jedoch in seiner Genauigkeit auch abschnittsbezogene Vorschläge von Erhaltungsstrategien berechnet.

Für die praktische Anwendung der systematischen Erhaltungsplanung des Oberbaus wird auf ein aus Kanada stammendes kommerzielles Softwaresystem mit der Bezeichnung VIAPMS[®] (dTIMS_CT[™], kanadischer Originalname) zurückgegriffen. Dieses auf die österreichischen Verhältnisse adaptierte offene System verwaltet die erhaltungsrelevanten Daten, verknüpft unterschiedliche Informationen (z.B. Oberbau-, Zustands- und Verkehrsdaten), berechnet die beschreibenden Kennzahlen und Kennwerte und unterzieht diese einer optimierten Lebenszyklusanalyse. Das Ergebnis der Analyse sind Vorschläge für abschnittsbezogene Erhaltungsstrategien, die durch eine Zusammenfassung auch Aussagen über das Gesamtnetz ermöglichen (Zustandsverteilungen, Investitionszeitreihen, Statistiken von Erhaltungsmaßnahmen, etc.)

2. Daten und Informationen im österreichischen PMS

2.1 Einteilung von Daten und Informationen

Die im österreichischen PMS derzeit verwendeten erhaltungsrelevanten Daten können nach WENINGER-VYCUDIL (2003a) in Abhängigkeit von den zu beschreibenden Eigenschaften in folgende Kategorien geteilt werden:

- Informationen über das Straßennetz (Straßenbezeichnung, Bezugspunkte, etc.)
- Informationen über den Straßenoberbau (Konstruktionsdaten)
- Informationen über die Verkehrsbelastung
- Informationen über den Straßenzustand (Mess- und Erfassungsdaten)
- Sonstige Daten (Geometriedaten, Klimadaten, Unfalldaten, Bauwerksdaten, etc.)

Für die Berechnung von Kennzahlen der Straßenbefestigung spielen vor allem die Informationen über den Straßenoberbau, die Verkehrsdaten sowie die Zustandsdaten eine wesentliche Rolle, da sie einerseits den Oberbau charakterisieren und andererseits die Belastungen bzw. die Beanspruchungen definieren.

2.2 Informationen über das Straßennetz

Die Informationen über das Straßennetz sind für die Bildung von Kennwerten der Straßenbefestigung nur von geringer Bedeutung, ermöglichen jedoch eine eindeutige Identifizierung einer Eigenschaft auf dem Objekt Straße. Die Identifizierung erfolgt dabei durch die Verwendung von Straßenschlüsseln (Bezeichnung der Straße, Richtungsfahrbahn, Fahrstreifen, etc.) und Bezugssystemen, die mit den in der Natur aufzufindenden Bezugsobjekten übereinstimmen. Für das eindeutige Auffinden von Straßeneigenschaften (Zustandsdaten, Oberbauabschnitte, etc.) werden im österreichischen PMS sowohl die Straßenkilometrierung als auch die Netzknoten herangezogen. Die Grundlage hierfür bildet das Abschnittsverzeichnis der österreichischen Bundesstraßen (AVZ).

2.3 Informationen über den Straßenoberbau

Bei Straßenoberbauten handelt es sich in der Regel um Konstruktionen, die aus einem schichtweisen Aufbau bestehen, der auf den anstehenden oder verbesserten Untergrund aufgebracht wurde. Die Oberbaudaten sind aufgrund der unterschiedlichen Schichteigenschaften so strukturiert, dass für jede einzelne Schicht folgende Informationen zur Verfügung stehen (WENINGER-VYCUDIL 2003a):

- Schichtart (Deckschicht, gebundene Tragschicht, ungebundene Tragschicht, etc.)
- Material der Schicht (Asphaltbeton, Zementbeton, etc.)
- Schichtdicke
- Herstellungsjahr der Schicht

Darüber hinaus werden die Informationen des Straßenoberbaus in Form von historischen Aufzeichnungen vorgehalten, sodass die Nachvollziehbarkeit von Instandsetzungsmaßnahmen sowie die Zuordnung zu älteren Zustandsinformationen gewährleistet werden kann. Die Oberbaudaten werden zur Kategorisierung des Oberbaus (Asphaltbauweise, Betonbauweise, Bautypen, etc.), zur Beurteilung der Tragfähigkeit sowie zur Herleitung von Kennzahlen herangezogen, die die strukturelle Beschaffenheit des Oberbaus beschreiben.

2.4 Informationen über die Verkehrsbelastung

Für die Beurteilung der Beanspruchung von Straßenbefestigungen werden in erster Linie Verkehrsdaten verwendet, wobei vor allem der Schwerverkehr (Lastkraftwagen, Sattelzüge, Busse, etc.) die maßgebende Einflussgröße darstellt. Die hierfür erforderlichen Daten sind das Ergebnis von periodisch durchgeführten händischen Verkehrszählungen (im Auftrag des BMVIT und des ÖSTAT – Österreichisches Statistisches Zentralamt) sowie Ergebnisse von automatischen Zählstellen, die auf den hochbelasteten Bundesstraßen kontinuierliche Informationen liefern. Beide Zählmethoden liefern in der Regel eine ausreichende Datengenauigkeit, die zumindest eine Unterscheidung in Gesamtverkehr und Schwerverkehr ermöglichen.

2.4 Informationen über den Straßenzustand

Die Informationen hinsichtlich des Straßenzustandes sind das Ergebnis von visuellen und messtechnischen Zustandserfassungen, die in den letzten 13 Jahren auf den österreichischen Bundesstraßen durchgeführt wurden.

Durch die rasante Entwicklung der Aufnahmemethoden und –techniken können bereits eine Vielzahl von Zustandsmerkmalen der Straßenbefestigungen (Spurrinnen, Längsebenheit, Griffigkeit, Textur, etc.) im Rahmen von messtechnischen Zustandserfassungen mit

Hochleistungsgeräten (z.B. RoadSTAR, siehe Abbildung 1) mit Verkehrsgeschwindigkeit genau erfasst werden.



Abb. 1: RoadSTAR (Foto Arsenal Research)

Um die Anzahl der in der Datenbank zu speichernden Informationen zu reduzieren und um eine Grundlage für die Bildung von Erhaltungsabschnitten zu generieren, empfiehlt es sich, die in der Regel sehr kurzen Messabschnitte von messtechnischen Zustandserfassungen (in Österreich dzt. 50 m) zu längeren homogenen Abschnitten zusammenzufassen und mit repräsentativen Kennwerten zu hinterlegen. Seit Ende 2003 wird für das Auffinden solcher Abschnittsgrenzen von Messreihen ein statistisches Verfahren verwendet, das die Struktur der Messreihe analysiert. Dabei wird jedem Messpunkt eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet, dass es sich um einen Grenzpunkt eines homogenen Abschnitts handelt. Das von F. Thomas entwickelte auf dem Bayesian Updating-Prozess basierende Verfahren (siehe THOMAS 2001 und 2003), wurde in Kooperation mit VTI (Swedish Road Research Institute) für die praktische Anwendung aufbereitet und in eine spezielle Software mit der Bezeichnung SAMSRoad[®] (Statistical Analysis of Measurement Series on Roads) implementiert.

Neben den messtechnischen Zustandserfassungen spielen für die strukturelle Bewertung des Straßenoberbaus vor allem die Ergebnisse von visuellen Zustandserfassungen eine wesentliche Rolle. Für die Aufnahme der strukturellen Beschaffenheit einer Straßenbefestigung werden Netzrisse, Einzelrisse, unterschiedliche Formen von Oberflächenschäden (Ausmagerungen, Abplatzungen, etc.), Flick- und Reparaturstellen, etc. herangezogen. Die Grundlage für die visuelle Zustandserfassungen bilden der österreichische Schadenskatalog (LITZKA et al 2000a) sowie eine diesbezügliche Arbeitsanweisung für die praktische Durchführung der Erfassung (LITZKA et al 2000b).

Für die Herleitung von Kennzahlen der Straßenbefestigung werden aus den Ergebnissen der messtechnischen und visuellen Zustandserfassungen – gegebenenfalls über Gewichtung- und Verknüpfungsvorschriften – nach WENINGER-VYCUDIL (2003a) folgende fünf unabhängige Zustandsgrößen für jeden (homogenen) Zustandsabschnitt herangezogen:

- Spurrinnen (Spurrinnentiefe unter der 2 m – Latte in mm)
- Längsebenheit (International Roughness Index IRI im m/km)
- Griffbarkeit (Reibungsbeiwert μ)
- Risse (Anteil geschädigte Fläche in %)
- Oberflächenschäden (Anteil geschädigte Fläche in %)

Diese fünf Zustandsmerkmale bilden die Grundlage für das in Kapitel 3.2 beschriebene Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes, das zur Berechnung von Kennzahlen der Straßenbefestigung herangezogen wird.

2.5 Sonstige Informationen

Neben Netz-, Verkehrs-, Oberbau- und Zustandsdaten werden noch eine Vielzahl von weiteren Informationen für die PMS-Analyse sowie für die Ableitung von Kennzahlen der Straßenbefestigung vorgehalten. Es handelt sich dabei in erster Linie um ergänzende Informationen, die zur Beschreibung der Straßengeometrie (z.B. Fahrbahnbreite), der Bauwerke (Brücke, Tunnel, etc.), der klimatischen Verhältnisse (z.B. Temperatur), des Unfallgeschehens, der Leistungsfähigkeit, etc. herangezogen werden. Verwendung finden diese Informationen sowohl im Zuge der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung verschiedener Erhaltungsstrategien (Einflussgrößen bei der Berechnung des Nutzens einer Erhaltungsstrategie) als auch im Rahmen der Prognose des zukünftigen Straßenzustandes bzw. von bestimmten Einzelmerkmalen.

3. Kennzahlen der Straßenbefestigung

3.1 Allgemeines

Im österreichischen PMS werden für die Beschreibung der Eigenschaften von Straßenbefestigungen eine Reihe von Kennzahlen verwendet, die sowohl die Beanspruchung durch den Verkehr als auch den Zustand des Oberbaus charakterisieren.

Einen besonderen Stellenwert nimmt dabei das Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes ein, das einerseits für die technische und wirtschaftliche Bewertung von Erhaltungsstrategien andererseits aber auch für die Festlegung der Erhaltungsziele und somit für die Definition der Zielfunktionen im Rahmen der Optimierung herangezogen werden kann. Da in der Regel jedes erfasste Zustandsmerkmal nur einen Teilaspekt bzw. eine Eigenschaft des Straßenoberbaus beschreibt, ist es erforderlich, die Einzelinformationen zu Teilwerten bzw. zu einem Gesamtwert zusammenzufassen, die letztendlich die Ziele der Straßenerhaltung repräsentieren (WENINGER-VYCUDIL, 2003a).

Die Ergebnisse eines solchen Verfahrens können darüber hinaus für die Abschätzung der vorhandenen Tragfähigkeit von bestehenden Oberbaukonstruktionen bzw. von erforderlichen Verstärkungsdicken herangezogen werden.

3.2 Bewertung des Straßenzustandes

3.2.1 Normierung

Um eine Verknüpfung von unterschiedlichen dimensionsbehafteten oder als Verhältniszahl (z.B. % betroffene Fläche) vorliegenden Zustandsgrößen zu Teilwerten und letztendlich zu einem Gesamtwert durchzuführen, müssen diese zunächst in dimensionslose Zustandswerte transformiert werden. Die hierfür verwendeten Normierungsfunktionen ermöglichen in Abhängigkeit von der Bedeutung der Straße eine Beurteilung und Klassifizierung des Schadens bzw. des Mangels (Normierungsfunktion Spurrinnen auf Autobahnen und Schnellstraßen siehe Abbildung 2). Entwickelt wurden die für Österreich gültigen Funktionen auf der Grundlage der statistischen Auswertungen der Zustandserfassung 1995 von MOLZER und LITZKA (1997). Die im Zuge der Normierung erhaltenen dimensionslosen Zustandswerte – Skalierung von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) – stellen die Eingangsgrößen für das nachfolgend angewendete Bewertungsverfahren dar.

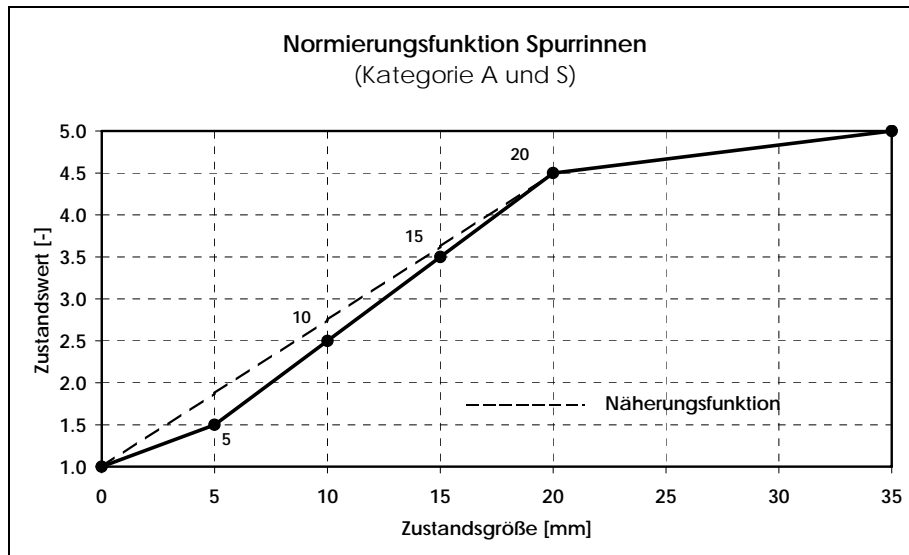


Abb. 2: Normierungsfunktion Spurrinnen für Bundesstraßen Kategorie A und S nach MOLZER und LITZKA (1997)

3.2.2 Wertsynthese

Die normierten dimensionslosen Zustandswerte werden in einem nächsten Schritt über Gewichtung- und Verknüpfungsvorschriften einerseits zu einem die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort beschreibenden Gebrauchswert G_I und andererseits zu einem die strukturelle Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion beschreibenden Substanzwert S_I zusammengefasst. Die Bildungsgesetze der Teilwerte (siehe hierzu Kapitel 3.2.3 und 3.2.4) sind abhängig von der

- Bauweise des Oberbaus (Asphalt oder Beton), dem
- Material der Deckschicht (Beton, Drainasphalt, Dünnschichtdecken, etc.), dem
- Straßenzustand, der
- Altersstruktur des Oberbaus und der
- Aufbaugeschichte des Oberbaus.

Aus den beiden Teilwerten wird letztendlich wiederum über eine Gewichtung- und Verknüpfungsvorschrift der Gesamtwert GW gebildet. Dieser kann einerseits für die Berechnung des Nutzens einer Erhaltungsstrategie herangezogen werden und andererseits für die Definition der Zielfunktion im Rahmen der Optimierung (z.B. Optimierung des Gesamtwertes unter budgetären Restriktionen). Die Abbildung 3 zeigt schematisch das Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes für flexible Oberbaukonstruktionen.

3.2.3 Gebrauchswert

Wie bereits erwähnt, dient der Gebrauchswert G_I zur Beschreibung des Fahrkomforts und der Fahrsicherheit. Dazu werden über ein Maximalkriterium die Zustandswerte der Einzelmerkmale Spurrinnen ZW_{SR} , Griffigkeit ZW_{GR} , Längsebenheit ZW_{LE} und Oberflächenschäden ZW_{OS} herangezogen, wobei das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden – ausgenommen bei Drainasphaltdecken – mit einem den Wert reduzierenden Gewicht Eingang in die Berechnung findet.

Bildung Teilwerte und Gesamtwert bei Asphaltbefestigungen

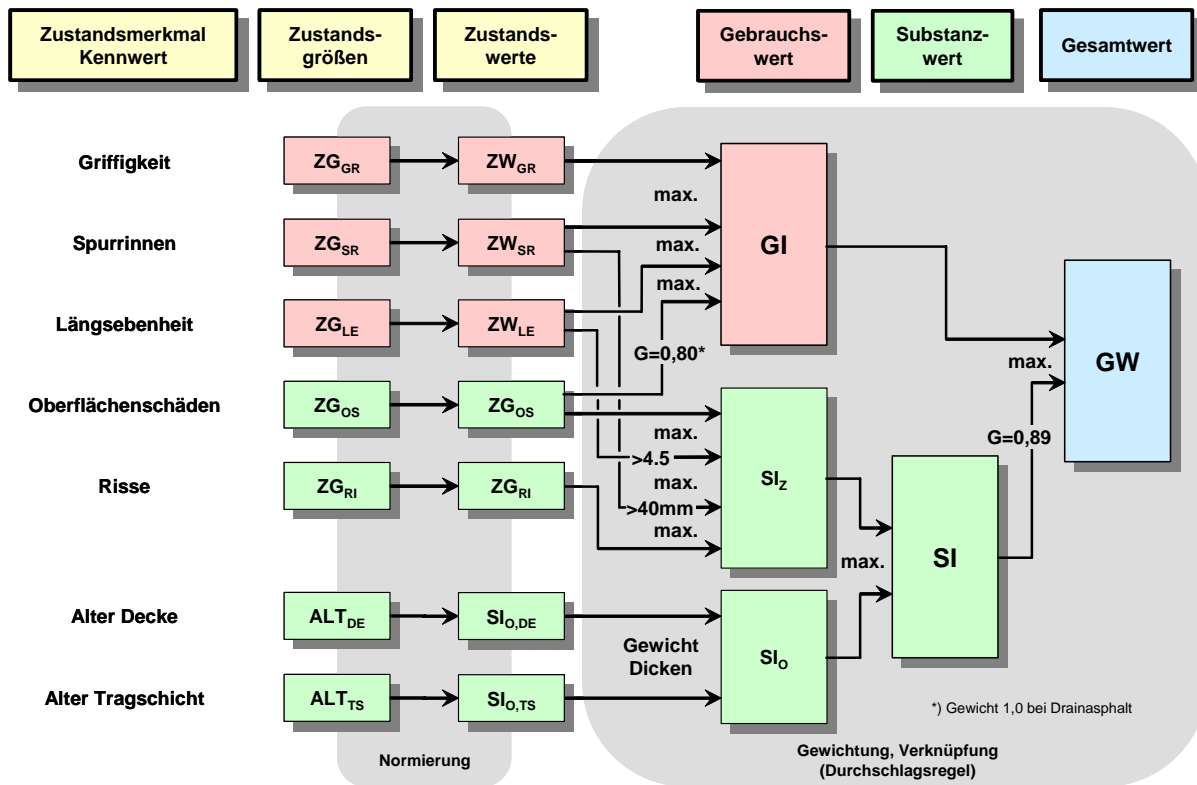


Abb. 3: Schematische Darstellung des Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes für Asphaltbefestigungen (WENINGER-VYCUDIL 2003b)

Das Bildungsgesetz des Gebrauchswertes ist nach WENINGER-VYCUDIL (2003a) für Asphaltbefestigungen mit konventionellen Decken bzw. Drainasphaltdecken in den Gleichungen (1) und (2) sowie für Betondecken in der Gleichung (3) dargestellt.

$$GI_{\text{Asphalt}} = \max [ZW_{SR}; ZW_{GR}; ZW_{LE}; (0,8 \cdot ZW_{OS})] \quad (1)$$

$$GI_{\text{Drainasphalt}} = \max [ZW_{SR}; ZW_{GR}; ZW_{LE}; ZW_{OS}] \quad (2)$$

$$GI_{\text{Beton}} = \max [ZW_{SR}; ZW_{GR}; ZW_{LE}; (0,8 \cdot ZW_{OS})] \quad (3)$$

3.2.4 Substanzwert

Zur Beurteilung der strukturellen Beschaffenheit eines Oberbaus wird der Substanzwert SI nach WENINGER-VYCUDIL (2003a) über ein Maximalkriterium aus zwei Faktoren gebildet, die einerseits den strukturellen Oberflächenzustand beschreiben (Substanzwert Zustand SI_z) und andererseits die Altersstruktur und die Aufbaugeschichte berücksichtigen (Substanzwert Oberbaualter SI_o):

$$SI = \max (SI_z; SI_o) \quad (4)$$

Für die Berechnung des Substanzwertes Zustand werden in Abhängigkeit von der Bauweise, der Deckschichtart (hohlraumarm, hohlraumreich) und den gemessenen (evtl. hochgerechneten) Zustandsgrößen verschiedene Zustandsmerkmale herangezogen, die ebenfalls über ein Maximalkriterium zusammengeführt werden (siehe WENINGER-VYCUDIL 2003b).

Es handelt sich dabei um die Zustandswerte der Merkmale

- Risse ZW_{RI}
- Oberflächenschäden ZW_{OS}
- Spurrinnen (Zustandsgröße > 40 mm) ZW_{SR}
- Längsebenheit (Zustandswert > 4,5) ZW_{LE} .

Die von WENINGER-VYCUDIL (2003a) ermittelte empirische Verteilung der Liegedauern von bituminösen Deck- und Tragschichten sowie von Betondecken wird als Grundlage für die Berechnung des Substanzwertes Oberbaualter herangezogen. Bei starren Befestigungen wird dabei ausschließlich das Alter der Betondecke herangezogen (siehe Gleichung (5)). Im Vergleich zu flexiblen Befestigungen, wo die Berechnung des Substanzwertes Oberbaualter $SI_{O,Asphalt}$ über eine Gewichtung Deckschichtdicke $D_{bit.Decke}$ und der Dicke der zuletzt errichteten strukturell wirksamen bituminösen Tragschicht $D_{bit.TS}$ erfolgt (siehe Gleichung (6) bis (9)).

$$SI_{O,Beton} = 0,2072 \cdot Alter_{Beton} - 3,8038 \quad \text{für } [23 \leq Alter_{Beton} \leq 40] \quad (5)$$

$$SI_{O,Asphalt} = \frac{SI_{O,Decke} \cdot D_{Decke} + SI_{O,bit.TS} \cdot D_{bit.TS}}{D_{Decke} + D_{bit.TS}} \quad (6)$$

mit

$$SI_{O,Decke,(Kat.B)} = 0,2053 \cdot Alter_{Decke} - 0,1761 \quad \text{für } [5 \leq Alter_{Decke} \leq 23] \quad (7)$$

$$SI_{O,Decke,(Kat.A/S)} = 0,3073 \cdot Alter_{Decke} - 0,4766 \quad \text{für } [4 \leq Alter_{Decke} \leq 17] \quad (8)$$

$$SI_{O,bit.TS} = 0,1575 \cdot Alter_{bit.TS} - 0,1638 \quad \text{für } [7 \leq Alter_{bit.TS} \leq 30] \quad (9)$$

3.2.5 Gesamtwert

Der Gesamtwert als Funktion von Gebrauchs- und Substanzwert soll sowohl die auf den Straßennutzer bezogenen Erhaltungsziele (Fahrkomfort und Fahrsicherheit), als auch jene Vorgaben, die zusätzlich aus der Sicht des Straßenbetreibers anzustreben sind (Erhaltung der Substanz), gleichermaßen berücksichtigen, wobei jedoch der Fahrsicherheit die höchste Priorität eingeräumt werden muss. Zur Berücksichtigung dieser Forderungen erfolgt die Bildung des Gesamtwertes über ein Maximalkriterium, bei dem der Anteil des Substanzwertes mit einem geringeren Gewicht versehen ist (siehe Gleichung (10)). Das Gewicht wurde nach WENINGER-VYCUDIL (2003a und 2003b) so gewählt, dass ein „sehr schlechter“ Substanzwert (Zustandsklasse 5) maximal einen „schlechten“ Gesamtwert (Zustandsklasse 4) erreichen kann. Dies bedeutet, dass Abschnitte mit einem „sehr schlechten“ Gebrauchswert in jedem Fall eine höhere Priorität gegenüber Abschnitten mit einem „sehr schlechten“ Substanzwert aufweisen.

$$GW = \max(GI; 0,89 \cdot SI) \quad (10)$$

Der Gesamtwert wird im österreichischen PMS für die Berechnung des Nutzens einer Erhaltungsstrategie (verkehrsgewichtete technische Wirkung einer oder mehrerer zeitlich hintereinander vorgeschlagener Erhaltungsmaßnahmen im Vergleich zur „Nicht-Tun-Strategie“) und somit als Zielfunktion für die heuristische Optimierung (Maximierung des Nutzens) verwendet.

3.3 Beurteilung der Tragfähigkeit von Oberbaukonstruktionen

Für die Abschätzung der Tragfähigkeit von bituminösen Oberbaukonstruktionen sowie für die Ermittlung der erforderlichen Dicke (und folglich der Kosten) bei Verstärkungsmaßnahmen

wurde ein Verfahren entwickelt, das auf der Grundlage der im AASHTO-Guide (AASHTO 1986) beschriebenen „Structural Number“ basiert. Die „Structural Number“ wurde dabei so erweitert, dass sie einerseits die in Österreich vorzufindenden Oberbaumaterialien berücksichtigt andererseits auch für bereits ein- oder mehrmals instandgesetzte Oberbauten herangezogen werden kann. Das Ergebnis dieser Erweiterungen ist die „österreichische Tragfähigkeitszahl“. Zum Zeitpunkt der letzten Instandsetzung bzw. des Neubaus der Konstruktion ($t=0$) errechnet sich österreichische Tragfähigkeitszahl $TZ_{t=0}$ nach folgender Funktion (WENINGER-VYCUDIL, 2003a):

$$TZ_{t=0} = \sum_{i=1}^n (D_i \cdot a_i \cdot r_{A,i}) + TZ_{Ug} \quad (11)$$

Neben dem konstanten Anteil der Untergrundtragfähigkeit TZ_{Ug} , der Schichtdicken $D_{i,j}$ und den auf die einzelnen Schichten bezogenen Materialkennwerten a_i wurde ein zusätzlicher Faktor $r_{A,i,j}$ eingeführt, der die Historie der Konstruktion berücksichtigt und aus der empirischen Verteilung der Liegedauern von gebundenen Schichten abgeleitet wurde. Der Zusammenhang zwischen dem Reduktionsfaktor „Alter“ $r_{A,i}$ und dem Alter der Schicht zum Zeitpunkt der letzten Instandsetzung $Alter_{i,t=0}$ kann nach WENINGER-VYCUDIL (2003a) der Gleichung (12) entnommen werden:

$$r_{A,i} = -0,0315 \cdot Alter_{i,t=0} + 1,234 \quad \text{für } [0,3 \leq r_{A,i} \leq 1,0] \quad (12)$$

Eine Abminderung der Tragfähigkeit erfolgt dabei jedoch ausschließlich für die gebundenen Schichten. Die als zeitabhängige Größe definierte österreichische Tragfähigkeitszahl TZ_t kann nach WENINGER-VYCUDIL (2003a und 2003b) zu jedem beliebigen Zeitpunkt t während der Analyseperiode ermittelt werden. Sie berücksichtigt neben der Ausgangslage ($TZ_{t=0,j}$) auch den aktuellen strukturellen Zustand durch die Verwendung eines auf den Substanzwert $SI_{t,Asphalt}$ bezogenen Reduktionsfaktors $r_{SI,t}$. Aus Gründen der Vereinfachung werden die auf einzelne Schichten bezogenen Reduktionsfaktoren „Alter“ $r_{A,i}$ in einen dickengewichteten Mittelwert umgerechnet. (siehe Gleichung (15)).

$$TZ_t = TZ_{t=0} + D_{Asphalt} \cdot a_{Asphalt} \cdot (\min(r_{A,MW,Asphalt}, r_{SI,t}) - r_{A,MW,Asphalt}) \quad (13)$$

mit

$$r_{SI,t} = -0,175 \cdot SI_{t,Asphalt} + 1,175 \quad \text{für } [0,3 \leq r_{SI,t} \leq 1,0] \quad (14)$$

$$r_{A,MW,Asphalt} = \frac{\sum_{i=1}^n (D_{i,bit} \cdot r_{A,i})}{D_{Asphalt}} \quad (15)$$

Der Zusammenhang zwischen den zulässigen Normlastwechseln $NLW_{zul,t}$ und der österreichischen Tragfähigkeitszahl für bituminöse Oberbaukonstruktionen TZ_t wurde über die in der österreichischen Oberbaubemessungsrichtlinie RVS 3.63 (1998) standardisierten Aufbauten hergestellt und kann der Gleichung (16) entnommen werden (WENINGER-VYCUDIL 2003a):

$$NLW_{zul,t} = 4,6996 \cdot \exp(0,8774 \cdot TZ_t) \quad (16)$$

Die erforderliche Dicke von bituminösen Verstärkungen ergibt sich aus der Differenz zwischen der vorhandenen Asphaltstärke und der erforderlichen Dicke des bituminösen Schichtpakets für eine neue Konstruktion. Ist die erforderliche Dicke einer Verstärkungsmaßnahme bekannt, können auch die Kosten der Erhaltungsmaßnahme berechnet werden.

Im Gegensatz zu den bituminösen Oberbaukonstruktionen, wo die zulässige Verkehrsbelastung über die österreichische Tragfähigkeitszahl abgeschätzt werden kann, wird für die Berechnung der zulässigen Normlastwechseln bei Betondecken ausschließlich die Dicke der Betondecke herangezogen. Die Grundlage hierfür bilden jedoch in gleicher Weise die in der österreichischen Oberbaubemessungsrichtlinie RVS 3.63 (1998) enthaltenden Standardaufbauten für Betondecken.

Zur Kategorisierung der Oberbaukonstruktion in über-, richtig und unterdimensionierte Aufbauten wird nach WENINGER-VYCUDIL (2003a) der Verkehrsbelastungskoeffizient VB herangezogen. Dieser errechnet sich als Quotient zwischen den zulässigen Lastwechseln der Oberbaukonstruktion $NLW_{zul,t=0}$ und den kumulierten Normlastwechseln $NLW_{kum,n,j}$ innerhalb der technischen Lebensdauer (siehe Gleichung (17)). Dieser Wert kann dabei direkt aus den vorhandenen Schwerverkehrsstärken errechnet werden.

$$VB = \frac{NLW_{zul,t=0}}{NLW_{kum,n}} \quad (17)$$

Liegt der Wert des Verkehrsbelastungskoeffizienten über 2,0, wird der Oberbau als überdimensioniert kategorisiert, ist der Wert kleiner als 0,5, spricht man von einem unterdimensionierten Oberbau. Sowohl die kumulierten Normlastwechsel als auch der Verkehrsbelastungskoeffizient sind erklärende Variablen (Regressoren) für die Zustandsprognosemodelle.

3.4 Prognose von Kennzahlen der Straßenbefestigung

Für die Durchführung einer Lebenszyklusanalyse von unterschiedlichen Erhaltungsstrategien ist es erforderlich, jene Kennzahlen der Straßenbefestigung, die eine Zeitabhängigkeit aufweisen, mit Prognosemodellen zu verknüpfen (Gebrauchswert, Substanzwert, zul. Tragfähigkeit, etc.). Da es in der Regel sehr schwierig ist, Prognosemodelle für kombinierte Kennzahlen zu entwickeln bzw. anzuwenden, werden im österreichischen PMS die Einzelmerkmale bzw. Ausgangswerte einer Prognose unterzogen. Hierfür werden deterministische Verhaltensfunktionen verwendet, die im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten (MOLZER et al 2000, 2002a, 2002b) auf der Grundlage der in Österreich durchgeführten visuellen und messtechnischen Zustandserfassungen in Kooperation mit dem Institut für Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie der TU-Wien entwickelt wurden. Diese generellen Modelle werden im Rahmen der praktischen Anwendung des Systems zur Erhöhung der Aussagegenauigkeit mit einem Kalibrierverfahren auf die abschnittsbezogenen Zustandsdaten angepasst, sodass die Auswirkungen unterschiedlicher abschnittsbezogener Erhaltungsstrategien über einen bestimmten Zeitraum quantifiziert werden können.

4. Schlussfolgerung und Ausblick

Kennzahlen der Straßenbefestigung sind ein wesentliches Element im österreichischen PMS, da sie zur Charakterisierung von Eigenschaften des Straßenoberbaus herangezogen werden. Der Vorteil dieser Kennzahlen liegt dabei einerseits in der Reduzierung der Daten und Informationen auf ein überschaubares Maß an beschreibenden Kennwerten, andererseits aber auch in der Verfügbarkeit von Kennzahlen, die für die Festlegung von Erhaltungszielen, für die Maßnahmenbeurteilung, für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen und für die Optimierung herangezogen werden können. Wie jedes Element in einem PMS müssen auch diese Kennzahlen einer laufenden Weiterentwicklung unterzogen zu werden, um neuen bzw. erweiterten Anforderungen an die Systemgenauigkeit gerecht zu werden. Es erscheint auch sinnvoll und zweckmäßig, die Kennzahlen der Straßenbefestigung einer europäischen Harmonisierung zu unterziehen, damit zukünftig Straßenbefestigungen

europaweit nach den gleichen Grundlagen bewertet werden. Diese Kennzahlen könnten darüber hinaus auch als Eingangsgrößen für die Berechnung von kilometerbezogenen Abgaben (Maut) sowie als Kriterien für die Festlegung von Grenzwerten bei der Ausschreibung von PPP-Projekten herangezogen werden. Die geplante COST-Aktion 354 „Performance Indicators for Road Pavements“ könnte dabei eine wichtige Grundlage für eine solche europäische Harmonisierung darstellen.

Literatur

LITZKA, J., VYCUDIL, A. und STRECKEL, C. (2000a). *Österreichischer Schadenskatalog für Asphalt- und Betonstraßen*. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien im Auftrag der ASFINAG, unveröffentlicht, Wien

LITZKA, J., VYCUDIL, A. und STRECKEL, C. (2000b) *Arbeitsanweisung zur Durchführung der visuellen Zustandserfassung 2000 auf den österreichischen Bundesstraßen*. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien im Auftrag der ASFINAG, unveröffentlicht, Wien

MOLZER, C., FELSENSTEIN, K., VIERTL R., LITZKA, J. und VYCUDIL, A. (2000). *Statistische Methoden zur Auswertung von Straßenzustandsdaten*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung Heft 499, Wien

MOLZER, C., FELSENSTEIN, K., WENINGER-VYCUDIL, A., LITZKA, J. und SIMANEK, P. (2002a). *Statistische Auswertung der Zustandsdaten der visuellen Zustandserfassung 2000 auf den B-Straßen des österreichischen Bundesstraßennetzes*. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Schlussbericht ,unveröffentlicht, Wien

MOLZER, C., FELSENSTEIN, K., WENINGER-VYCUDIL, A., LITZKA, J. und SIMANEK, P. (2002b). *Statistische Auswertung der Zustandsdaten der messtechnischen Zustandserfassung 1999 und der visuellen Zustandserfassung 2000 auf dem ASFINAG-Netz*. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien im Auftrag der ASFINAG, Schlussbericht ,unveröffentlicht, Wien

RVS 3.63 (1998). *Bautechnische Details, Oberbaubemessung*. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien

THOMAS, F. (2001). *A Bayesian approach to retrospective detection of change points in road surface measurements*. PhD-thesis, Dept. of Statistics, Stockholm University; Stockholm, Sweden.

THOMAS, F. (2003). *Statistical Approach to Road Segmentation*. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 129, No. 3, May 1, 2003; American Society of Civil Engineers ASCE; Reston; USA; 300 – 308

WENINGER-VYCUDIL, A. (2003a). *Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System*. Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technische Universität Wien, Heft 14, Wien

WENINGER-VYCUDIL, A., SIMANEK, P., LITZKA, J. (2003b). *Pilotprojekt des Pavement Management Systems VIAPMS-AUSTRIA auf einem Landesstrassen B-Teilnetz in Oberösterreich*. Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung, Endbericht (unveröffentlicht), Wien