

Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen

FA 77.469/02

Forschungsstellen: RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen (isac) (Prof. Dr.-Ing. B. Steinauer) / Ingenieurbüro SEP Maerschalk, München

Bearbeiter: Steinauer, B. / Ueckermann, A. / Maerschalk, G.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: November 2005

1. Aufgabenstellung

Das derzeitige Verfahren für die Zustandsbewertung von Innerortsstraßen basiert letztlich auf visuellen Zustandserfassungen. Für Zustandsdaten aus messtechnischen Zustandserfassungen wurden pragmatische Anpassungen vorgenommen, die sich nur teilweise als praxistauglich erwiesen haben und die weder in technischer noch in wissenschaftlicher Hinsicht systematisch analysiert sind.

Die Schlüssigkeit und Vermittelbarkeit eines Verfahrens für die Zustandsbewertung ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, die Nutzeffekte einer systematischen Straßenerhaltung für die Öffentlichkeit und die Entscheidungsebene zu verdeutlichen. Mit Hilfe vorliegender Datenbestände aus messtechnischen Zustandserfassungen von innerörtlichen Straßen sollten daher die Grundlagen für eine praxisingerechte Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens mit den erforderlichen Normierungsfunktionen, den Warn- und Schwellenwerten und maßgeblichen Funktionsklassen erarbeitet werden. Da ein objektiv wissenschaftlicher Nachweis der Validität von Bewertungsalgorithmen nicht möglich ist, sollte die Plausibilität der vorgenommenen Änderungen in enger Abstimmung mit Straßenbauverwaltungen der Kommunen beurteilt und mit den Erkenntnissen eines ähnlichen Forschungsprojekts für Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen abgestimmt werden [1]. Damit sollten die Voraussetzungen für die praktische Umsetzung der Ergebnisse in einem Arbeitspapier zur Ergänzung der E EMI 2003 [2] geschaffen werden, das den Betreibern von Messsystemen und den Straßenbauverwaltungen künftig eindeutige Empfehlungen bietet.

2. Untersuchungsmethodik

Bei der Verbesserung des Bewertungsverfahrens können bereits vorliegende Änderungsvorschläge zu erkannten Schwachstellen teilweise aufgegriffen werden. Zusätzlich sind neue inhaltliche Analysen erforderlich, für die Daten aus messtechnischen Zustandserfassungen/-bewertungen von 7 Kommunen (Düsseldorf, Erfurt, Essen, Ludwigshafen, Münster, Rüsselsheim, Wiesbaden) zur Verfügung standen. Mit der anonymisierten Datenbasis können die bisherigen Bewertungsschritte nachvollzogen werden. Auf dieser Grundlage werden Änderungsvorschläge zum Bewertungsverfahren abschnittsbezogen und in netzbezogenen Häufigkeitsverteilungen analysiert. Bei allen aus den Analyseergebnissen abgeleiteten Änderungen des Bewertungsverfahrens wird untersucht, ob und in welcher Weise die bisherigen Bewertungsergebnisse mit den neuen Ergebnissen vergleichbar sind. Sofern die Vergleichbarkeit an Grenzen stößt, werden die Ursachen aufgezeigt und Empfehlungen für die künftige Verfahrensweise erarbeitet.

3. Untersuchungsergebnisse

Bei den verfügbaren Messdaten sind im Wesentlichen Hauptverkehrs-/Verkehrsstraßen und in relativ geringem Umfang untergeordnete Straßen berücksichtigt. Es stellte sich somit

zunächst die Frage, welche innerörtlichen Teilnetze in messtechnische Erfassungen einbezogen werden sollen und wie diese Netze in ihren Verknüpfungen mit den restlichen Innerortsstraßen oder den Ortsdurchfahrten von klassifizierten Straßen und in Bezug auf größerflächige Kreuzungsbereiche, die einzelnen Fahrstreifen, die vorgesehenen Messlinien und Erfassungslücken behandelt werden sollen. Der Problembereich der Netzdefinition ist in einem zwischenzeitlich verfügbaren Entwurf eines Arbeitspapiers "Ordnungssystem und Netzbeschreibung für innerörtliche Verkehrsflächen" der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen aufbereitet, auf das Bezug genommen werden kann. Neuere in der Praxis durchgeführte Messungen zeigen, dass der Einsatz von Messsystemen auch bei den speziellen Gegebenheiten von untergeordneten Straßen (z. B. im Hinblick auf Breiten, Kurvenradien, Nutzung durch ÖPNV oder Regelungen für den ruhenden Verkehr) möglich sind. Für die Zustandsbewertung ergibt sich daraus die Konsequenz, dass die Anforderungen an den Zustand aufgrund der unterschiedlichen Netzfunktion zu relativieren sind.

Als Ausgangsbasis für alle weiteren Analysen werden zunächst die in den 7 Analysestädten angewendeten, stark an der Methodik für Außerortsstraßen ausgerichteten Bewertungsverfahren beschrieben und in einer "Status-quo"-Analyse im Ergebnis dargestellt. Die Untersuchungen zu dieser Vergleichsgrundlage für alle eingebrachten Änderungsvorschläge zeigen, dass teilweise abweichende Zustandsgrößen/-indikatoren und unterschiedliche Normierungsfunktionen mit verschiedenen Schwellenwerten berücksichtigt sind. Auch bei den Verknüpfungsregeln zur Ermittlung der Teilzielwerte (Gebrauchs- und Substanzwert) sind unterschiedliche Ansätze gewählt. Insgesamt können bei den 7 Analysestädten, unter Vernachlässigung kleinerer Differenzen, vier grundsätzlich voneinander abweichende Bewertungsansätze unterschieden werden. Der Vergleich der Bewertungsergebnisse vermittelt wertvolle Hinweise zu den Schwachstellen der angewendeten Verfahren und zu den zweckmäßigen Ansatzpunkten inhaltlicher Analysen.

Ein Teil der nach der Status-quo-Analyse offenkundigen Schwachstellen des derzeitigen Bewertungskonzepts ist schon seit längerer Zeit bekannt [3]. Zu den Vorschlägen für die Behebung der Schwachstellen gehören:

- Aufhebung der Unstetigkeiten der Normierungsfunktionen bei den Zustandswerten von 1,5 und 4,5 durch Verwendung stetiger Funktionen,
- Extrapolation der Normierungsfunktionen über den bisher schlechtesten Zustandswert von 5,0 hinaus, aber Einhaltung der Begrenzung bei 5,0 für Darstellungen in Zustandskarten o. ä.,
- Entflechtung und Vereinfachung der Verknüpfungsalgorithmen zur Bildung von Teilzielwerten im Rahmen der Wertsynthese. Dabei soll vor allem die Sonderregelung des Durchschlags einzelner Zustandsmerkmale ab einem Zustandswert von 3,5, die aufgrund einer schlecht funktionierenden numerischen Verknüpfungsfunktion eingeführt wurde, in einen durchgängigen Algorithmus eingebunden werden,
- Verbesserte Einbindung des Längsbebenheitswirkindex LWI in das Bewertungsverfahren im Vorgriff auf eine spezielle Untersuchung [4] durch entsprechende inhaltliche Analysen (s. u.),
- Eine Kennzeichnung von Grabungsflächen durch Unterscheidung von grabungsbedingten Flickstellen und sonstigen (Reparatur-)Flickstellen.

Die zu diesen Schwachpunkten unterbreiteten Verbesserungsvorschläge werden derzeit teilweise auch bei einer Modifizierung des Bewertungsverfahrens für Außerortsstraßen analysiert [5].

Bei der inhaltlichen Überprüfung und Überarbeitung des Bewertungsverfahrens steht zunächst die Länge der Auswertebchnitte im Vordergrund, für die aus den vor Ort gemessenen Rohdaten Zustandsgrößen/-indikatoren ermittelt werden. Die bisher zugrunde gelegten Standardlängen liegen i. Allg. bei 20 m und, in einem Fall, bei 10 m. Wenn für die Kennzeichnung der Längsebenheit anstelle des außerorts gebräuchlichen Unebenheitsmaßes AUN der Längsebenheitswirkindex LWI (s. u.) verwendet wird, empfiehlt sich eine Standardauswertelänge von 10 m. Aus den 10-m-Abschnitten können, wie auch die praktische Umsetzung zeigt, problemlos und mit sehr guter Genauigkeit Zustandsgrößen/-indikatoren für längere Abschnitte ermittelt werden. Bei 10-m-Auswertebchnitten werden auch örtlich-punktueller Ereignisse relativ gut berücksichtigt. Die vor Netzknoten unvermeidlichen Restabschnitte kürzerer Länge sollten mit den Vorgängerabschnitten verknüpft werden.

Die inhaltlichen Analysen zu den zweckmäßigen bewertungsrelevanten Zustandsgrößen/-indikatoren und den Fixpunkten ihrer Normierungsfunktionen konzentrieren sich zunächst auf die Längsebenheit. Da die derzeit verwendeten Indikatoren einer Planografensimulation Schwächen aufweisen und das Unebenheitsmaß AUN für die bei Innerortsstraßen realistischen Auswertelängen ungeeignet ist, wurde in einer Auftragserweiterung für eine Stadt der Längsebenheitswirkindex LWI für 10-m-, 20-m- und 40-m-Abschnitte für 4 unterschiedliche Geschwindigkeitsvarianten ermittelt. Eine zweite Auftragserweiterung für zusätzliche 2 Städte wurde abgelehnt, sodass alle Auswertungen, die, wie z. B. die Verknüpfungsalgorithmen für Gebrauchs- und Substanzwert, den LWI einbeziehen, auf den Daten nur einer Stadt basieren und eingeschränkt repräsentativ sind. Die Analysen zur Längsebenheit zeigen, dass der Längsebenheitswirkindex LWI, der sich als Maximum der drei normierten Auswirkungen der Radlastschwankungen einer 11,5-t-Achse, der vertikalen Beschleunigungen auf das Transportgut und dem vertikalen Schwingungseintrag in den sitzenden Menschen ergibt, ein für Innerortsstraßen geeigneter Zustandsindikator ist, und zwar in der Variante $LWI_{50/100}$ [Zähler = $f(50 \text{ km/h})$; Nenner = $f(100 \text{ km/h})$]. Diese LWI-Variante ist aufgrund des Nennerbezuges mit dem LWI für Außerortsstraßen vergleichbar. Sie stellt ein Maß für die Schwingungsauswirkungen auf Straße, Fahrer und Ladegut dar und berücksichtigt dabei den Einfluss der niedrigeren Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h im Innerortsbereich. Für die Normierung wird eine lineare Funktion mit einem Schwellenwert bei $LWI = 14$ vorgeschlagen. Alternativ kommt eine nicht lineare Funktion mit einem Schwellenwert bei $LWI = 18$ in Betracht.

Eine Analyse der Variationskoeffizienten für die Zustandsgrößen/-indikatoren der Querebenheit zeigt, dass bei Innerortsstraßen vielfach regellose Querunebenheiten und in wesentlich geringerem Umfang homogene durchgehende Spurrinnen auftreten. Der bisher verwendete Indikator, der schlechtere Wert der mittleren Spurrinntiefen der rechten und linken Radspur (MSPT), vermittelt dementsprechend ein zu günstiges Bild zur Bewertung der Querunebenheiten. Es wird daher vorgeschlagen, ergänzend zu diesem Indikator den Mittelwert der maximalen Querunebenheiten der rechten und linken Radspur (MSPT_MAX) zu bewerten. Für die identischen linearen Normierungsfunktionen kann sowohl für MSPT als auch für MSPT_MAX ein Schwellenwert von 28 mm angenommen werden. Der Zustandswert der Querebenheit ZWQEB ergibt sich als schlechterer Wert aus ZWSPT und ZWSPT_MAX.

Bei der auf der Grundlage der Querebenheit und der Querneigung ermittelten Fiktiven Wassertiefe kann sinngemäß vorge-

gangen werden, indem zusätzlich zum schlechteren Wert der mittleren Wassertiefen der rechten und linken Radspur (MSPH) auch der Mittelwert der maximalen Wassertiefen der rechten und linken Radspur (MSPH_MAX) bewertet wird. Als Schwellenwert der identischen linearen Normierungsfunktionen können 14 mm angesetzt werden. Als Zustandswert für den Wasser-rückhalt ZWWAS wird der schlechtere Wert aus ZWSPH und ZWSPH_MAX angesehen.

Für die Griffigkeit standen keine Analysedaten zu Verfügung, da in den Kommunen derzeit allenfalls punktuelle Messungen durchgeführt werden. Da die Messung und Bewertung der Griffigkeit geschwindigkeitsabhängig erfolgt, können die Normierungsfunktionen der Außerortsstraßen, allerdings ohne die Unstetigkeitsstellen bei 1,5 und 4,5, übernommen werden.

Risse und Flickstellen beeinträchtigen den Zusammenhang von Asphaltdecken, beinhalten damit das Risiko von Folgeschäden und sollten in ihrem Gesamtumfang ermittelt und bewertet werden. Für die Normierung werden lineare Funktionen mit Schwellenwerten bei 21 % (ZWRIS für Risse) bzw. 35 % betroffener Flächenanteil (ZWFLI für Flickstellen) vorgeschlagen. Offene Arbeits-/Anschlussnähte sollten nicht als Risse erfasst und bewertet werden, da sie normalerweise in Rahmen der baulichen Unterhaltung beseitigt werden. Als Beeinträchtigungen der Homogenität der Befestigung und als Indikatoren für beginnende substantielle Schäden sollten auch die Flächenanteile mit Ausbrüchen, Abplatzungen, Bindemittelanreicherungen und Ausmagerungen ermittelt und einem zusammengefassten Merkmal "sonstige Oberflächenschäden" zugeordnet werden. Die Bewertung dieser bei Innerortsstraßen häufiger vorkommenden Schäden kann an die Bewertung der Flickstellen angeglichen werden.

Das Ziel der Straßenerhaltung besteht in der Gewährleistung einer angemessenen Befahrbarkeit und Verkehrssicherheit bei gleichzeitig minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten und höchstmöglicher Umweltverträglichkeit. Die Zielkriterien Befahrbarkeit und Sicherheit werden durch den Gebrauchswert TWGEB abgedeckt, der aus einer Verknüpfung der Zustandswerte der Längsebenheit, der Querebenheit und des Wasser-rückhalts (und, falls erfasst, der Griffigkeit) ermittelt wird. Ein Indikator für die Wirtschaftlichkeit der Erhaltung ist der Substanzwert TWSUB, der aus der Verknüpfung des schlechteren Wertes aus Längs-/Querebenheit mit den Rissen, Flickstellen und sonstigen Oberflächenschäden entsteht. Für die Verknüpfung der einzelnen Zustandswerte kann eine Beziehung angewendet werden, die ohne Sondervereinbarungen (z. B. in Form einer Durchschlagsregel) auskommt. Die Bildung eines Teilzielwerts TWUMD für "Umwelt/Dritte" (Lärmentwicklung, Spritzwasser, optisches Erscheinungsbild) ist sinnvoll, wenn die Zustandsgrößen/-indikatoren im Hinblick auf die dafür kennzeichnenden Wirkungen bewertet werden können. Dies ist derzeit noch nicht möglich, weil u. a. auch die dafür erforderlichen Informationen zum Umfeld von Straßen (z. B. Art/Dichte der angrenzenden Bebauung) nicht verfügbar sind. Eine Verknüpfung der in ihren Wirkungen bezüglich des Gebrauchs- oder Substanzwertes bewerteten Zustandsgrößen/-indikatoren zu einem Teilzielwert "Umwelt/Dritte" führt zu einer unzulässigen Mehrfachbewertung, da die beeinträchtigten Effekte für das Straßenumfeld auch durch Maßnahmen zur Wiederherstellung des Gebrauchs- und Substanzwertes beseitigt werden.

Für die direkte Verwendung der Ergebnisse der Zustandsbewertung zur Erhaltungsplanung und für Ergebnisdarstellungen ist es zweckmäßig, die Bewertung den unterschiedlichen Anforderungen an den Zustand, die sich in Abhängigkeit der Bauweise oder der Straßenfunktion ergeben, anzupassen. Dazu werden zunächst Bewertungsfunktionen für Pflasterdecken angegeben, die den durch die Bauweise bedingten Gegebenheiten hinsichtlich der Längs- und Querebenheit Rechnung tragen und

die andere Substanzmerkmale als bei den Asphaltdecken einbeziehen (zertrümmerte/fehlende Pflastersteine, offene Pflasterfugen). Für die Relativierung der Anforderungen an den Zustand von Asphaltfahrbahnen werden zwei Funktionsklassen für die Straßenkategorien "Hauptverkehrs-/Verkehrs-/Sammelstraßen" (FK 1) und "Anlieger-/Wohnstraßen" (FK 2) unterschieden. Die unterschiedlichen Normierungsfunktionen gewährleisten, dass Abschnitte mit Funktionsklasse 1 bei gleichen Zustandsausprägungen dringlicher eingestuft werden als Abschnitte mit Funktionsklasse 2.

Die vorgeschlagenen Normierungsfunktionen sind mit dem jeweiligen Schwellenwert (4,5-Wert), Warnwert (3,5-Wert) und 1,5-Wert in Tabelle 1 zusammengestellt. Dort finden sich auch die empfohlenen Beziehungen für die Verknüpfung zum Gebrauchs- und Substanzwert.

4. Folgerungen für die Praxis

Die aus den Auswertungsergebnissen abgeleiteten Vorschläge für die Bewertung messtechnisch ermittelter Zustandsdaten bei Innerortsstraßen sind für die praktische Umsetzung so aufbereitet, dass sie in Struktur und Inhalt einem Arbeitspapier entsprechen, das alle wesentlichen Ergebnisse in verdichteter Form enthält. Der Vorschlag für die Bezeichnung dieses Arbeitspapiers lautet:

"Zustandsbewertung bei messtechnischer Zustandserfassung".

Die in dem Arbeitspapier-Entwurf zusammengefassten Normierungs- und Verknüpfungsfunktionen liefern Ergebnisse, die auch im Vergleich zu den bisherigen Bewertungsansätzen als

plausibel eingestuft werden können. Wesentliche Teile der Auswertungen, z. B. im Hinblick auf den Längsebenheitswirkindex LWI oder die Verknüpfungen zum Gebrauchs- und Substanzwert, basieren allerdings nur auf den Daten aus einer Analysestadt. Ein Erweiterungsantrag zur problemgerechten Aufbereitung der Daten für zwei weitere Städte wurde abschlägig beschieden.

Literaturverzeichnis

- [1] Heller, S.; Köhler, M.; Schniering, A. (2003): Ergänzung der Bewertung des Straßenzustandes freier Strecken um eine gleichwertige Bewertung von Ortsdurchfahrten der Bundesstraßen. Schlussbericht zum FA 9.129 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Darmstadt, Oktober Bonn 2003.
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln (2003): Empfehlungen für das Erhaltungsmanagement von Innerortsstraßen. E EMI 2003. Arbeitsgruppe Sonderaufgaben, Arbeitsausschuss: Systematik der Straßenerhaltung, Arbeitskreis: Erhaltung kommunaler Straßen.
- [3] Bühler, B.; Klinghammer, S.; Maerschalk, G.; Oertelt, S. (2002): Leitfaden für die Erfassung und Bewertung des Zustandes von Straßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 832; BMVBW, Bonn 2002.
- [4] FA 4.200/2004/DRB: Umsetzung des Längsebenheitswirkindex (LWI) in ein praxisnahes, Erhaltungsmaßnahmen auslösendes Verfahren im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung. HI Heller Ing.-Ges. und RS-Consult Rübensam. *In Bearbeitung*
- [5] FA 9.132/2003/MGB: Verbesserung der praxisnahen Bewertung des Straßenzustandes. Ing.-Büro Oertelt und SEP Maerschalk. *In Bearbeitung*

Tabelle 1: Normierungs- und Verknüpfungsfunktionen

Merkmal	Funktionsklasse	Zustandswert	Funktion	4,5-Wert	3,5-Wert	1,5-Wert		
Längsebenheit	FK1	ZWLWI =	Min (5; 1,0 + 0,250 • LWI)	14	10	2		
	FK2	ZWLWI =	Min (5; 1,0 + 0,100 • LWI)	35	25	5		
	Pflaster	ZWLWI =	Min (5; 1,0 + 0,083 • LWI)	42	30	6		
Querebenheit	FK1/2 Pflaster	ZWSPT =	Min (5; 1,0 + 0,125 • MSPT)	28	20	4		
		ZWSPT_MAX =	Min (5; 1,0 + 0,125 • MSPT_MAX)	28	20	4		
		ZWQEB =	Max (ZWSPT, ZWSPT_MAX)	49	35	7		
		ZWSPT =	Min (5; 1,0 + 0,071 • MSPT)	49	35	7		
		ZWSPT_MAX =	Min (5; 1,0 + 0,071 • MSPT_MAX)					
		ZWQEB =	Max (ZWSPT, ZWSPT_MAX)					
Wasser-rückhalt	FK1/2 Pflaster	ZWSPH =	Min (5; 1,0 + 0,250 • MSPT)	14	10	2		
		ZWSPH_MAX =	Min (5; 1,0 + 0,250 • MSPH_MAX)	14	10	2		
		ZWWAS =	Max (ZWSPH, ZWSPH_MAX)	35	25	5		
		ZWSPH =	Min (5; 1,0 + 0,100 • MSPH)	35	25	5		
		ZWSPH_MAX =	Min (5; 1,0 + 0,100 • MSPH_MAX)					
		ZWWAS =	Max (ZWSPH, ZWSPH_MAX)					
Griffigkeit	80 km/h 60 km/h 40 km/h	ZWGRI =	Max (1,0; Min (5,0; a _v + b _v • GRI)) a _v = 4,5 – GRI _{sw,v} / (GRI _{sw,v} – GRI _{ww,v}) b _v = 1 / (GRI _{sw,v} – GRI _{ww,v})	0,32 0,39 0,46	0,39 0,46 0,53	0,53 0,60 0,67		
		Risse Asphalt	FK1	ZWRIS =	Min (5; 1,0 + 0,167 • RIS)	21	15	3
			FK2	ZWRIS =	Min (5; 1,0 + 0,125 • RIS)	28	20	4
Flickstellen Asphalt	FK1	ZWFLI =	Min (5; 1,0 + 0,100 • FLI)	35	25	5		
	FK2	ZWFLI =	Min (5; 1,0 + 0,083 • FLI)	42	30	6		
Sonstiges Asphalt	FK1	ZWOFS =	Min (5; 1,0 + 0,100 • OFS)	35	25	5		
	FK2	ZWOFS =	Min (5; 1,0 + 0,083 • OFS)	42	30	6		
Ausbrüche	Pflaster	ZWAUS =	Min (5; 1,0 + 0,167 • AUS)	21	15	3		
Off. Fugen	Pflaster	ZWOFU =	Min (5; 1,0 + 0,167 • OFU)	21	15	3		
Flickstellen	Pflaster	ZWFLI =	Min (5; 1,0 + 0,167 • FLI)	21	15	3		
Gebrauchswert		TWGEB =	Max (Max (ZWQEB, ZWWAS, ZWGRI)); Min (5; Max (ZWLWI, ZWQEB)) + (Min (ZWLWI, ZWQEB) – 1)/5)					
Substanzwert		TWSUB =	Min (5; (ZWRIS/4 + ZWFLI/4 + ZWOFS/4 + Max (ZWLWI, ZWQEB)/4)/2 + Max (ZWRIS, ZWFLI, ZWOFS, ZWLWI, ZWQEB)/2)					
Gesamtwert		GW =	MAX (TWGEB; TWSUB)					