

Erarbeitung eines Bewertungshintergrundes für Tragfähigkeitsmessungen auf Basis von Zustandsindikatoren nach JENDIA

FA 4.188

Forschungsstelle: Universität Karlsruhe (TH), Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (Prof. Dr.-Ing. R. Roos)

Bearbeiter: Freund, H.-J. / Thiele, T.

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

Abschluss: Mai 2007

1 Aufgabenstellung

Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens besteht darin, in einem ersten Schritt auf Grundlage von systematisch angelegten Messungen mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD) konzeptionell für ausgewählte Asphaltbauweisen und Bauklassen Maßzahlen für die Zustandsindikatoren D0 sowie UI und Tz nach JENDIA als Basis für einen Bewertungshintergrund zu ermitteln. Im vorliegenden Rahmen sollten bestehende Defizite aufgearbeitet werden, z. B. in der Weise, dass auf der Basis von FWD-Messungen für Asphaltkonstruktionen unterschiedlichen Alters und verschiedener Aufbauten Bewertungskriterien vorgeschlagen werden, die der Systematik der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) zuzuordnen sind, Einschätzungen für die Abnahme und den Gewährleistungszeitraum ermöglichen sowie bei der Schadensanalytik Anwendung finden können.

Die erfassten Informationen und Ergebnisse sollen dabei in einer Datenbank mit umfassenden Recherchemöglichkeiten gespeichert werden. In weiteren Schritten außerhalb dieses Projektrahmens ist dann zukünftig – auf den bisherigen Erfahrungen und Daten aufbauend – der Datenbestand für ein umfassenderes und verlässlicheres Bewertungssystem zu ergänzen bzw. zu vergrößern.

Grundsätzlich wird unterstellt, dass auch bei regionalen Unterschieden und differierenden Randbedingungen Verallgemeinerungen zulässig sind und die Entwicklung von zeit- bzw. beanspruchungsabhängigen Verhaltensfunktionen hinsichtlich der abgeleiteten Tragfähigkeitskennwerte allgemein, d. h. "streckenneutral", möglich ist. Da im Laufe dieses Projekts abzusehen war, dass wegen relativ geringer Stichprobenanzahl Verallgemeinerungen nur bedingt zulässig sind und deshalb kurz- bis mittelfristig die Entwicklung von zeit- bzw. beanspruchungsabhängigen Verhaltensfunktionen nicht möglich erschien, wurde das Ziel dahin gehend erweitert, neben dem Ansatz zu einer allgemeinen bauweisen- und bauklassenbezogenen Bewertung der Struktur auch die zeit- und temperaturabhängige Veränderlichkeit der betreffenden Zustandsindikatoren "streckenbezogen" zu erfassen – die Strecke also jeweils als Unikat zu betrachten.

2 Untersuchungsmethodik

Tragfähigkeitsmessungen mit dem FWD fanden an 24 Strecken statt, die sich nach Bauklasse, Aufbau, Alter und Beanspruchungsgeschichte unterscheiden. Auf Basis vorhandener Bauakten wurden Informationen zu den einzelnen Untersuchungsstrecken eingeholt, ergänzende Untersuchungen (Impulsradar, Bohrkernentnahmen, Tragfähigkeitsmessungen auf den ungebundenen Schichten, visuelle Zustandserfassung) und die maßgebenden FWD-Messungen durchgeführt. Entsprechend der Zielsetzung waren die Untersuchungs-

strecken in einem für Wiederholungsmessungen fixierten Raster unter jahreszeit- und temperaturbezogenen Aspekten mindestens zweimal, teilweise bis zu achtmal mit dem FWD zu untersuchen. Parallel zu den FWD-Messungen wurden die vorherrschenden Temperaturen auch in der Konstruktion aufgenommen.

Die im Sinne der Zielsetzung erforderlichen bzw. verfügbaren Ausgangsdaten und Informationen über die zu untersuchenden Strecken sowie die Ergebnisse der visuellen Zustandserfassung wurden für spätere Vergleiche und weitere Auswertungen zusammen mit den Messwerten in einer spezifischen Datenbank erfasst. Die Datenbank wurde so angelegt, dass prinzipiell Gruppierungen z. B. nach geeigneten Merkmalen und Randbedingungen der Strecken sowie nach Messergebnissen vorgenommen, statistische Auswertungen durchgeführt sowie Schlüsse daraus gezogen werden können. Dies erfolgte im Einzelnen unter Anwendung von Methoden der deskriptiven und analytischen Statistik.

3 Untersuchungsstrecken und streckenbezogene Ergebnisse

Der Tabelle 1 sind die Varianten der zu untersuchenden Bauweisen (Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, (RStO 01, Tafel 1, Zeilen 1 und 2.2)) und Bauklassen (SV, II, IV) sowie die jeweilige Anzahl der Strecken zu entnehmen.

Einzelheiten zur Entstehung, Beanspruchung und Erhaltung mit Unterschieden in weiteren Details (Baustoffe, Schichten und Schichtdicken, Entwässerung, Lage der Gradienten, Klima) wurden als die Tragfähigkeit beeinflussende Faktoren aufgenommen. Diese sind zusammen mit Angaben zur Lage, zum Zustand (einschließlich Fotos) sowie zur Tragfähigkeitscharakteristik der Untersuchungsstrecken als Streckenband oder tabellarisch zusammengefasst als deskriptive statistische Kenngrößen dokumentiert.

Bei der Festlegung der Untersuchungsstrecken ist auf möglichst gleichartige (homogene) örtliche Gegebenheiten geachtet worden, die aber vielfach nicht durch die ermittelten Messwertniveaus bestätigt werden konnten. Deshalb wurden homogene Unterabschnitte mithilfe der kumulativen Summenmethode gebildet und durch Signifikanztests überprüft.

4 Abgrenzung unterschiedlicher Datenkollektive

4.1 Abgrenzung a priori

Zur Ermittlung streckenunabhängiger bewertungsrelevanter Maßzahlen sind die vorliegenden und künftigen Datenkollektive aufgrund relevanter Unterschiede in sinnvoller Weise voneinander abzugrenzen. A priori ergeben sich Unterschiede durch die festgelegten Bauweisen und Bauklassen. Aufgrund allgemeiner und vorliegend gesammelter Erfahrungen sind auch die während der Bau- und/oder Konsolidierungsphase ermittelten Daten zu trennen von denen aus der Beharrungsphase. Die Übergänge sind dabei fließend und müssen durch Festlegungen definiert werden. Da insbesondere die Bauabläufe und Konsolidierungsprozesse streckenspezifisch sind, werden hier ausschließlich die Ergebnisse der Beharrungsphase für bewertungsrelevante Maßzahlen herangezogen. Offensichtlich ist auch die Art der Gesteinskörnungen in den Tragschichten ohne Bindemittel (ToB) maßgeblich. Vorliegend sind untersuchte Varianten mit künstlichen Gesteinskörnungen

signifikant für eine erhöhte Tragfähigkeit gegenüber den natürlichen Gesteinskörnungen. Deshalb mussten die diesbezüglichen Datenkollektive grundsätzlich differenziert bewertet werden.

Tabelle 1: Streckenauswahl nach Zielvorgaben, Belegung der Zellen

Bauweisen	Kat.	Bauklasse						Summe der Strecken (Varianten)
		SV	I	II	III	IV	V	
RStO 01, Tafel 1								
Zeile 1: ATS auf FSS	NB ³⁾	2 (7) ¹⁾		2		1	2	7 (12)
	LV ⁴⁾	2		2		1		5 (5)
Zeile 2.2: ATS auf TS mit hydr. Bindem. aus frostunempfl. Material	NB	2		2		1		5 (5)
	LV	2	(1) ²⁾	3		2		7 (7)

- 1) Eine Untersuchungsstrecke wurde in 6 verschiedenen Materialvarianten in der Tragschicht ohne Bindemittel (ToB) gebaut. Σ 24 (29)
- 2) Eine Untersuchungsstrecke der Bauweise nach Zeile 2.2, Bauklasse II weist in Teilabschnitten Schichtdicken der Bauklasse I auf.
- 3) NB = Neubaustrecken
- 4) LV = Strecken mit langjähriger Verkehrsbeanspruchung

Vorliegend wurden (zunächst) ausschließlich die Strecken mit natürlichen Gesteinskörnungen in den ToB zur Ermittlung bewertungsrelevanter Maßzahlen herangezogen. Auch wurden hierfür die Ergebnisse dann (noch) nicht genutzt, wenn

- Unterabschnitte – zumeist sehr kleine – vorlagen, die wiederholt als statistische Ausreißer erkannt worden waren und deshalb davon auszugehen ist, dass hier deutlich abweichende Randbedingungen vorliegen. Von diesbezüglich ergänzenden Untersuchungen zur Klärung dieser Vermutung wurde jedoch bisher aufgrund des unverhältnismäßig großen Aufwandes abgesehen;
- irreguläre Randbedingungen wie Risse oder Nähte im Bereich der Messlinien dominierten,
- die Untergrundverhältnisse entscheidend von den übrigen Fällen abwichen, z. B. felsiger Untergrund und
- die hydrologischen Verhältnisse als ungünstig eingestuft wurden.

4.2 Abgrenzung post hoc

Eine Vielzahl von Faktoren können sich kumulativ oder gegenläufig auf die Tragfähigkeit auswirken. Anhand des vorliegenden Datenkollektivs wurde durch Klassenbildung und anschließende Signifikanztests untersucht, ob und inwieweit Auskünfte zu den Einflüssen der Faktoren "Temperatur", "Lage der Gradienten", "Verkehrsbeanspruchung (Alter, Liegedauer)" und "Jahreszeit" erhältlich sind.

Im Wesentlichen sind die Zustandsgrößen vom Temperaturzustand innerhalb der Asphaltkonstruktion während des Messzeitpunktes beeinflusst. Sie wurden unter Beachtung der

temperaturbezogenen Häufigkeitsverteilungen der FWD-Messergebnisse Temperaturbereichen (5–17 °C, 17–25 °C, 25–35 °C) zugewiesen.

Statistische Analysen der Ergebnisse hinsichtlich beeinflussender Faktoren, wie Lage der Gradienten, Alter/Verkehrsbeanspruchung und Jahreszeit, führten zwar vielfach zu plausiblen Mittelwertunterschieden, es ist zu diesem Zeitpunkt aufgrund des begrenzten Datenkollektivs dennoch nicht auszuschließen, dass Aussagen hierzu von streckenspezifischen Gegebenheiten dominiert werden. Allgemeine Schlussfolgerungen lassen sich nur bezüglich des Temperatureinflusses ziehen. Bezüglich des Alters/der Verkehrsbeanspruchung bedeutet dies, dass eine streckenneutrale Entwicklung von zeit- bzw. beanspruchungsabhängigen Verhaltensfunktionen auf diese Weise bisher nicht möglich ist.

5 Ermittlung von Maßzahlen und deren Anwendung

Unter Berücksichtigung der vorgenommenen Abgrenzungen und bisheriger Feststellungen wurden zunächst auf Basis der bestehenden Datenlage "FWD-Referenzmaßzahlen" (siehe Bild 1) vorgeschlagen. Mit arithmetischen Mittelwerten und Standardabweichungen werden zum einen statistische Basisdaten für die Deflexionsmulden, zum anderen für die Zustandsindikatoren nach JENDIA geliefert, hauptsächlich für die rechte äußere Radspur "R" und informativ auch für die Messlinie zwischen den Radspuren "M". Sie sind unterschieden nach den angegebenen Temperaturbereichen. Die Maßzahlen gelten im Übrigen nur für die im jeweiligen Seitenkopf angegebenen weiteren Randbedingungen (d. h.: ausschließlich natürliche Gesteinskörnungen in der ToB, nicht felsiger Untergrund, Beharrungsphase). Die weitere Differenzierung würde zunächst aufgrund der Datenlage zu Einzelfallbetrachtungen führen. Eine

Katalogisierung nach anderen Randbedingungen erfordert demzufolge im Allgemeinen eine Erhöhung des Datenbestandes unter Beachtung der danach einzubeziehenden Kriterien.

Statistisch signifikante Unterschiede zu den angegebenen Maßzahlen sollten aufgrund des nur kleinen Stichprobenumfangs Anlass für zusätzliche Untersuchungen sein. Ob und inwieweit Abweichungen der Messergebnisse von den heranzuziehenden Deflexionsmuldenintervallen bzw. von den Orientierungswerten Hinweise auf ein günstigeres bzw. schlechteres Tragverhalten geben, mithin bei Ausschöpfung der theoretischen Gesamtbeanspruchung vorzeitiger Substanzverzehr vorliegt oder aber ein Restnutzungspotenzial verbleibt, muss zunächst offen bleiben.

6 Streckenbezogene Untersuchungen

Um dennoch im Zeitraum des Projektes Einschätzungen zum Tragverhalten zu ermöglichen, wurde deshalb das Ziel dahingehend erweitert, neben dem Ansatz zu einer allgemeinen bauweisen- und bauklassenbezogenen Bewertung der Struktur die zeitabhängige Veränderlichkeit der betreffenden Zustandsindikatoren streckenbezogen zu erfassen. Vor diesem Hintergrund werden die Strecken also als Unikat betrachtet.

Es wurden für die betreffenden Untersuchungen an 7 der 24 bereits untersuchten Strecken der bisherige Zeitkorridor vergrößert sowie die Temperaturabhängigkeit bezüglich Temperaturniveaus und Temperaturgradienten im Jahreszyklus punktuell und im Tagesverlauf intensiv verfolgt.

Aufgrund der Folgemessungen und der Durchführung von Regressionsanalysen konnte ein großer Teil der sich über die verschiedenen Messtermine einstellenden Streuungen als signifikant auf die Standard-Asphalttemperatur zurückgeführt werden. Eine anschließende Ausschaltung der dadurch erklärbaren Varianzen führt zu einer Restvarianz, die zunächst weder durch Einbeziehung des Temperaturgradienten noch der Liegedauer weiter reduziert werden konnte. Ihre Größenordnung ist insofern erheblich, als sie die durch Tragfähigkeitsmessungen feststellbaren vergleichsweise geringen Strukturveränderungen ΔZI_{Str} im Beobachtungszeitraum überdeckt.

7 Folgerungen für die Praxis

Da eine Reduzierung der Restvarianz nicht unbedingt erwartet werden kann, sollte zur Einschätzung der Größenordnung und des Verhaltens von ΔZI_{Str} – gegebenenfalls auch seiner streckenspezifischen Zuweisung – der Beobachtungszeitraum der hier untersuchten Strecken weiter vergrößert werden. Selbstverständlich ist hierbei auch der Zusammenhang zwischen dem Entwicklungsfortschritt oberflächenbezogener Zustandsmerkmale und dazugehöriger Tragfähigkeit zu untersuchen.

Grundsätzlich ist eine Fortführung der Untersuchungen auch an einem größeren Streckenkollektiv zu empfehlen, um die Katalogwerte fortzuschreiben und im Laufe der Zeit immer wieder zu überprüfen. Das erarbeitete Datenmaterial wird bei Vergrößerung des Datenbestandes voraussichtlich eine weitere Differenzierung der Maßzahlen auch für bisher als nicht signifikant erkannte Einflüsse erlauben. Exemplarisch konnte bereits durch eine weitergehende Unterteilung der Temperaturbereiche gezeigt werden, dass damit eine differenziertere Bewertung von Bauklassen möglich scheint. Voraussetzung hierfür ist, dass die beschriebene Vorgehensweise z. B. für die Ermittlung der Maßzahlen in Zusammenhang mit dem Temperaturgeschehen eingehalten und die im Bericht angegebenen Berechnungsgrundlagen gleich gehalten werden.

In diesem Zusammenhang sollte weiterhin überprüft werden, inwieweit hilfsweise der Messlinienvergleich – temperaturdifferenziert und querschnittsbezogen – zur Beurteilung der Beanspruchungen herangezogen werden kann.

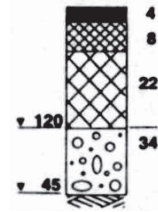
Hilfsweise können auch Daten theoretisch generiert werden, um Orientierungen für bisher nicht untersuchte Randbedingungen verfügbar zu haben. Die Kalibrierung verwendeter theoretischer Modelle kann mit bereits vorhandenen Daten vorgenommen werden.

Aufgrund der wesentlichen Einschränkung, dass also nur ein kleiner Stichprobenumfang je untersuchter Zelle vorliegt, ist eine eindeutige und belastbare, mithin vertragsrelevante Zuordnung derzeit noch nicht möglich. Ob und inwieweit Vertragsrelevanz durch Vergrößerung des Stichprobenumfangs und weitergehende Differenzierungen erreicht werden kann, ist letztendlich daraufhin zu klären. Die prinzipielle Anwendbarkeit der FWD-Referenzmaßzahlen konnte aufgezeigt werden.

Aufbau nach RStO 01, Tafel 1, Zeile 1, Bauklasse SV:

ToB: natürl. Gesteinskörnungen
 Untergrund/-bau: nicht felsig
 Frosteinwirkungszone: allgemein
 Lage der Gradiente: allgemein
 Zeitpunkt der Messung:
 Jahreszeit: allgemein
 Phase: Beharrungsphase
 Alter: allgemein

Asphaltdeckschicht
 Asphaltbinderschicht
 Asphalttragschicht
 Frostschutzschicht



Temperaturbereich	Deflexionsmuldenintervall (für Messlinie "R")	Kenngößen (Jendia)		
		$\bar{x} \pm s$		
		Messlinie		
		R	M	
1: 5 - 17 °C		D0	73 ± 19 (n: 671)	73 ± 20 (n: 187)
		U1	13 ± 4 (n: 671)	13 ± 4 (n: 187)
		Tz	4,7 ± 1,3 (n: 671)	5,4 ± 2,0 (n: 187)
2: 17 - 25 °C		D0	85 ± 20 (n: 396)	80 ± 20 (n: 79)
		U1	15 ± 4 (n: 396)	13 ± 4 (n: 79)
		Tz	3,4 ± 0,7 (n: 396)	3,3 ± 0,6 (n: 79)
3: 25 - 35 °C		D0	102 ± 29 (n: 230)	106 ± 25 (n: 149)
		U1	16 ± 6 (n: 230)	16 ± 5 (n: 149)
		Tz	2,6 ± 0,6 (n: 230)	2,3 ± 0,6 (n: 149)

n: Anzahl der zugrundeliegenden Ergebnisse (Stand: 30.06.2006)

"R": Rechte äußere Radspur

"M": zwischen den Radspuren (Mitte)

Bild 1: Deflexionsmuldenintervalle und Referenzmaßzahlen für die Bauweise nach Zeile 1, Bauklasse SV (Beispiel)