

Bestimmung der durch reale und absehbare Verkehrsbelastung verursachten Beanspruchungssituationen in der Straßenkonstruktion

FA 4.180

Forschungsstelle: Universität Hannover, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Fachgebiet Konstruktiver Straßenbau (Prof. Dr.-Ing. Wellner)

Bearbeiter: Wellner, F. / Förster, M.-O. / Depner, E.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Abschluss: August 1999

Einleitung

Die Bemessung der Befestigungsdicke von Straßenkonstruktionen in Deutschland erfolgt im Wesentlichen auf der Grundlage empirisch gewonnener Erkenntnisse. Aus Verkehrszählungen werden relativ einfache Annahmen für die Belastung der Straße entwickelt. Hierbei findet lediglich der Schwerverkehr durch den DTV^(SV)-Wert Berücksichtigung, der alle Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von mehr als 3,5 t umfasst. Unberücksichtigt dabei bleibt der Einfluss der unterschiedlichen Achslasten und Achskonstellationen, die bei Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs vorkommen können, sowie die temporären Unterschiede in der Steifigkeit der Fahrbahnbefestigung.

1. Aufgabenstellung

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, in einem ersten Teil eines komplexen Forschungsvorhabens der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), die Belastung aus Verkehr zu bestimmen, die Beanspruchung der Fahrbahnbefestigung zu ermitteln und abschließend gezielte Angaben zur Instrumentierung und zur Erfassung der Beanspruchung von den zu untersuchenden Befestigungen für die Modellstraße der BASt anhand der Erfahrungen europäischer Labors zu erarbeiten.

Zusätzlich sollten Art und Ort der einzubauenden Messinstrumente zur Bestimmung der theoretisch ermittelten Beanspruchung innerhalb der Befestigung der Modellstraße benannt werden. Hierzu werden zunächst einmal die zu untersuchenden Befestigungen und die zugehörigen Materialkennwerte auf der Grundlage nationaler und internationaler Literatur festgelegt.

In dem folgenden Abschnitt wird die Entwicklung des Schwerverkehrs in Deutschland mit allen für die Belastung relevanten Größen auf der Grundlage von Verkehrserfassungsdaten aufgezeigt und die maßgebenden Fahrzeugklassen ermittelt. Ausgehend von den technischen Eigenschaften der Fahrzeuge werden dann die resultierenden Belastungsgrößen beschrieben. Anschließend werden die Beanspruchungen berechnet und die maßgebenden und messbaren Beanspruchungen sowie die Orte der erwarteten Maxima bestimmt. Im letzten Kapitel werden die in Europa üblichen Verfahren zur Messung der in situ auftretenden Beanspruchungen aufgezeigt, diskutiert und Empfehlungen für die Instrumentierung der Modellstraße der BASt gegeben.

2. Untersuchungsmethodik

2.1 Befestigungsgrößen

In die Modellstraße der BASt können acht unterschiedliche Befestigungsaufbauten in ausreichender Flächengröße nebeneinander eingebaut werden. In Absprache mit dem Auftraggeber werden Fahrbahnaufbauten gemäß Tafel 1 der RStO 86/89 [1] bestimmt. Im Einzelnen sind dies: Bauklasse SV, I, III und V. Die Materialkennwerte für die ungebundenen Schichten werden iterativ aus den vorgegebenen Randbedingungen (E_{V2} -Werte) ermittelt. Für die Festlegung der Kennwerte der ungebundenen aber auch der hydraulisch gebundenen und der Asphalt-schichten werden eine konstante Temperatur von 20°C und günstige Wasserverhältnisse vorausgesetzt.

2.2 Entwicklung des Schwerverkehrs

Um die Veränderungen im Schwerverkehr aufzuzeigen, werden Daten des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) ausgewertet. Aus den Entwicklungen der letzten Jahre kann abgeleitet werden, dass mit der Harmonisierung im Zuge der vereinheitlichten Gesetzgebung in der EU auch die Grenzwerte für Lkw (Abmessungen und Gesamtgewichte) einen Standard annehmen werden, der über dem derzeitigen in Deutschland gültigen liegt. Aus den Daten des Kraftfahrtbundesamtes können aber keine detaillierten Aussagen über die Anzahl bzw. die Konstellation der Achsen, die Gewichtsverteilung auf die Achsen, die Radstände und die Spurweiten gewonnen werden. Allerdings lässt sich aus den Zulassungsdaten allgemein feststellen, dass immer mehr größere Lkw mit einem hohen Gesamtgewicht sowie kleinere Nutzfahrzeuge zugelassen werden. Des Weiteren ist aus anderen Forschungsarbeiten bekannt, dass zwischen den erbrachten Fahrleistungen des Schwerverkehrs auf den einzelnen Straßenkategorien (BAB, Bundesstraße, Landstraße) und dem Gesamtgewicht der Fahrzeuge offenbar ein Zusammenhang besteht. Fahrzeuge mit einem hohen Gesamtgewicht legen demnach die meisten Fahrkilometer auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen zurück, während Fahrzeuge mit geringen Gesamtgewichten ihre hauptsächliche Fahrleistung auf Land- und innerörtlichen Straßen erbringen.

2.3 Belastungsgrößen

Um die Beanspruchung der Fahrbahnkonstruktion beschreiben zu können, sind Kenntnisse über die verschiedenen Belastungsgrößen erforderlich. Hierzu gehören die Größe der Achslast inklusive des dynamischen Lastanteils, der aufgetragenen Pressung (abhängig von der Reifenaufstandsfläche) und dem Abstand der aufgetragenen Lasten. Verkehrszählungen, die im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführt wurden, führten zu einer Beschreibung der Häufigkeit mit der in Abhängigkeit von der Fahrzeugart (Bus, Lkw, Lkw + Anhänger und Sattelzug) die verschiedenen Straßenklassen genutzt werden. Da die Aussage allein über die Anzahl und das Gewicht der Schwerverkehrsfahrzeuge nicht ausreicht, um Annahmen über die Belastung einer Straßenklasse zu machen, wurden zusätzlich die Ergebnisse von Silhouettenerfassungen betrachtet, die

zumindest Aussagen über die Anzahl, Anordnung (Einzel-, Tandem- oder Tridemachse) und Bereifungsart („Normale“, „Super-Single“ oder „kleine“ Reifen) der Fahrzeugachsen ermöglichen. Durch die Vielzahl der Anbieter von Schwerverkehrsfahrzeugen, Anhängern und Aufbauten ist keine Möglichkeit gegeben, vorhandene Achslasten und Achsabstände eindeutig zu bestimmen. Hierzu müssen Ergebnisse von Langzeitbeobachtungen herangezogen werden.

Zur genauen Ermittlung der Belastungsgrößen wurden anhand der oben genannten Silhouettenerfassung Fahrzeugklassen für die drei Straßenkategorien (BAB, Bundesstraßen, Landstraßen) festgelegt. Dabei wurden seltene Fahrzeugkategorien mit häufig auftretenden Fahrzeugkategorien, die sich nur in Details unterscheiden, zusammengefasst. Unter Annahme der Gültigkeit des 4. Potenzgesetzes wurde weiterhin für jede Fahrzeugklasse ihr Schädigungspotenzial unabhängig von der Befestigungsart abgeschätzt. Durch Multiplikation des Schädigungspotenzials mit den DTV-Werten jeder Fahrzeugklasse ergeben sich die Gesamtschädigungen. Als die für die späteren Berechnungen maßgebenden Fahrzeugklassen wurden diejenigen bestimmt, deren Schädigungspotenzial mehr als 5% der Gesamtbelastung einer Straßenkategorie ausmacht.

Um später genaue Angaben über die repräsentativen Fahrzeuge für die Berechnungen zu haben, aber auch, um reale Versuche in der Modellstraße der BAST durchführen zu können, werden konkrete Fahrzeugmodelle für die einzelnen bemessungsrelevanten Fahrzeuge bestimmt. Dies sind:

- zweiachsiger Reisebus (zul. GG 18 t)
- zweiachsiger Lastkraftwagen (zul. GG 18 t)
- dreiachsiger Lastkraftwagen (zul. GG 26 t)
- zweiachsiger Lastkraftwagen (zul. GG 18 t) mit einem zweiachsigen Anhänger (zul. GG 18 t)
- zweiachsiger Lastkraftwagen (zul. GG 18 t) mit einem dreiachsigen Anhänger (zul. GG 22 t)
- dreiachsiger Lastkraftwagen (zul. GG 26 t) mit einem zweiachsigen Anhänger (zul. GG 18 t)
- zweiachsige Zugmaschine (zul. GG 18 t) mit einem dreiachsigen Sattelaufleger (zul. GG 22 t)

2.4 Ermittlung der Beanspruchungen

Die Berechnungen der Beanspruchungen wurden mit dem Berechnungsprogramm BISAR durchgeführt. Da mit diesem Programm nur für vorher definierte Punkte Beanspruchungen ermittelt werden können, mussten vor den eigentlichen Berechnungen noch Vorüberlegungen über die maßgebenden und messbaren Beanspruchungen sowie den Ort der maximalen Beanspruchung durchgeführt werden. Da eine messtechnische Erfassung lediglich von Normalspannungen und Dehnungen in Koordinatenrichtung möglich ist, werden auch nur diese weiter betrachtet. Die maximalen Spannungen in vertikaler Richtung (Druckspannungen) ergeben sich an der Oberfläche der Befestigung in der Lastachse unabhängig davon, ob die Belastung aus einer Einzel- oder Doppelachse, einzel- oder zwillingsbereift resultiert. Die Untersuchungen haben ergeben, dass das jeweilige Maximum in Abhängigkeit von der Tiefe aus der Lastachse herauswandert. Dieser Effekt verstärkt sich, wenn anstatt einer einfachbereiften eine zwillingsbereifte Achse die Belastung aufbringt. Auf Grund der Geringfügigkeit des Herauswanderns der Maxima aus der Lastachse können die Spannungen mit guter Näherung direkt unter der Lastachse ermittelt werden. Entscheidend in diesem Zusammenhang ist aber die Tatsache, dass eine zwillingsbereifte Tandemachse mit einem häufig vorkommenden Achsenabstand von 1,3 m eine Erhöhung der Vertikalspannungen auf der FSS um 13,5 % und auf dem Planum von

47 % zur Folge hat. Bei der Untersuchung der maßgebenden horizontalen Spannungen ergaben sich auch nur kleine Ausmitteigkeiten für den Ort der maximalen Beanspruchung. Auf Grund der Superposition der einzelnen Belastungen ergaben sich auch für die horizontalen Spannungen σ_x und σ_y erhöhte Werte infolge von Tandem- und Tridemachsen. Diese Beeinflussung ist aber für einen sehr gängigen Achsenabstand von ca. 1,3 m mit maximal 11 % als gering zu bezeichnen. Um auch das Zusammenwirken und die gegenseitige Beeinflussung zu erfassen, werden in den nachfolgend durchgeführten Rechnungen nicht nur einzelne Achsen, sondern alle Radlasten eines Fahrzeuges als Belastung im Berechnungsprogramm abgebildet.

Des Weiteren wird der Einfluss horizontaler Fahrbahnbelastungen, die aus den Fahrwiderständen (z.B. Rollwiderstand, Vorspurwiderstand, Schwallwiderstand) resultieren, an einem Beispiel berechnet. Unter der Vorgabe, dass die horizontalen Belastungen aus einer konstanten Fahrt auf ebener und trockener Fläche ermittelt werden sollen, ergeben sich nur sehr geringe zusätzliche Belastungen, die im Rahmen der weiteren Berechnungen vernachlässigt werden.

Abschließend werden die Belastungen (Spannungen und Dehnungen) in den Fahrbahnbefestigungen getrennt für jede Bauklasse entsprechend der Straßenkategorie ermittelt. Die Berechnungen erfolgen unter jeder Last an der Unterkante der Asphalttragschicht, an der Oberkante Frostschutzschicht und an der Oberkante Planum.

2.5 Messung der Beanspruchung innerhalb von Befestigungen

Der letzte Teil dieses Berichtes beschäftigt sich mit der Möglichkeit zur Messung der zuvor theoretisch ermittelten Beanspruchungen direkt in der Straßenbefestigung. Grundlage dieser Beschreibung sind Informationen verschiedener Hersteller und die Erfahrungen, die an europäischen Versuchsanlagen mit den verschiedensten Messmethoden gemacht wurden. Im Einzelnen werden die Messgeräte entsprechend ihres Einsatzfeldes (Druck-, Dehnungs- und Verformungsmessung) beschrieben und die mit ihnen gemachten Erfahrungen aufgezeigt.

Die Erfassung von Drücken in Straßenaufbauten wird in allen hier erwähnten Testanlagen durch Druckmessdosen vorgenommen. Diese haben aber den Nachteil, auf Grund ihres steifen Gehäuses eine gewisse Störung des Gefüges zu erzeugen, sodass die gemessenen Werte nicht unbedingt der Realität entsprechen. Bei der Verwendung von Druckmessdosen ist deshalb auf eine genaue Abschätzung der Einflüsse zu achten. Andere Möglichkeiten, den Druck bzw. die Flächenpressung an der Oberfläche zu messen, sind von verschiedenen Firmen entwickelt worden (Weighing In Motion-Systeme [WIM], Druckempfindliche Folien). Der Vorteil dieser Geräte besteht in der Zuverlässigkeit und dem einfachen Einbau.

Auch die Systeme zur Ermittlung der horizontalen Dehnungen an der Unterseite der gebundenen Schichten bzw. der vertikalen Dehnungen arbeiten fast alle nach dem gleichen Prinzip. Ausnahme ist ein so genannter eingebetteter Dehnungsmessstreifen, der aber wegen seiner Eigensteifigkeit, die zu einer Verfälschung der Messergebnisse führt, nicht weiter betrachtet wird. Bei den übrigen Messgeräten werden ein oder zwei Dehnungsmessstreifen auf einem Träger (Fiberglas, Metallstreifen, Folie) befestigt und in den Straßenkörper eingebaut. Um auf Fremdkörper, die diese Träger darstellen, völlig zu verzichten, besteht auch die Möglichkeit, die Dehnungsmessstreifen nachträglich mit Hilfe von Bohrkernen einzubauen. Die Erfahrungen mit diesen Messmethoden sind durchweg gut und einige der Verfahren werden auch zur Bestimmung vertikaler Dehnungen eingesetzt.

Die letzte in diesem Zusammenhang betrachtete Kategorie an Messgeräten beschäftigt sich mit der Erfassung von Verformungen.

Wenn Verformungen innerhalb der Straßenbefestigung gemessen werden sollen, werden dazu induktive Wegaufnehmer (LVDT) verwendet. Versuche haben aber gezeigt, dass die Ergebnisse mit diesen Geräten auf Grund deren Sensibilität nur schwer verwertbar sind.

Des Weiteren werden diese Wegaufnehmer auch verwendet, um Deflektionen an der Oberfläche zu bestimmen.

Die Verankerung des Messgerätes bzw. der Bezugshorizont liegt in Abhängigkeit von der Messanordnung in einer Tiefe zwischen 0,6 und 6 m. Jedoch ist der Aufwand zur Installation dieser Geräte verhältnismäßig hoch.

3. Schlussfolgerungen

Bei der Instrumentierung der Modellstraße der BAST sollte aus den oben beschriebenen Gründen weitestgehend auf die Installation von Druckmessdosen verzichtet werden oder aber eine genaue Abschätzung der Einflüsse erfolgen. Die Erfassung der Belastung an der Oberfläche kann mit den WIM-Systemen genauer und zuverlässiger erfolgen. In ähnlicher Weise wird empfohlen, auch bei der Wahl der Dehnungsmessgeräte nur Geräte einzusetzen, die auf Grund ihrer Eigensteifigkeit oder ihrer Abmessungen die Messergebnisse nicht beeinflussen. Da die Belastung auf die Modellstraße spurbezogen aufgebracht werden kann, ist die Anordnung der Instrumente in einer Linie möglich. Die Messung der Dehnungen sollte jeweils in den Schichtgrenzen, an der Unterkante der Asphalttragschicht, auf der Oberkante der Frostschutzschicht und auf dem Planum vorgenommen werden. □