

## Realistische Lastannahmen für die Bemessung des Straßenoberbaus

FA 4.193

Forschungsstelle: RWTH Aachen, Institut für Kraftfahrwesen (Prof. Dr.-Ing. H. Wallentowitz)

Bearbeiter: Bachmann, C. / Wöhrmann, M.

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

Abschluss: November 2007

### 1 Aufgabenstellung

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen prognostizierte von 1997 bis zum Jahr 2015 einen Anstieg der Transportleistung des gesamten Güterverkehrs in Deutschland um 57 % und für den Straßengüterfernverkehr allein gar eine Erhöhung um 82 %, wenn die Rahmenbedingungen unverändert bestehen bleiben. Ein vergleichbarer Trend zeigt sich für das EU-Gebiet.

Eine derartige Zunahme des Güterverkehrs auf deutschen Bundesautobahnen wird die Fahrbahnen verstärkt belasten und die damit einhergehenden Schädigungen werden mehr Instandsetzungsmaßnahmen erfordern. In Verbindung mit der erhöhten Verkehrsauslastung sind vermehrte Verkehrsstauungen die Folge, die aufgrund der zeitintensiven Belastung durch langsam fahrende Fahrzeuge eine nochmals verstärkte Straßenbeanspruchung hervorrufen. Dadurch wird die Volkswirtschaft erheblich geschädigt werden.

Um diesen Tendenzen entgegenzuwirken, sind Straßenbau- und Fahrzeugindustrie sowie der Gesetzgeber gleichermaßen gefordert. Auf der einen Seite müssen neue Technologien zur Straßen-, Fahrzeug- und Verkehrsflussverbesserung entwickelt werden, andererseits müssen die gesetzlichen Rahmenbedingungen die Einführung solcher Neuentwicklungen fördern.

Schnittstelle zwischen Straßenbauern und Fahrzeugentwicklern ist der Fahrbahn-Reifen-Kontakt. Die gesamte Kraft wird über die Reifenaufstandsfläche übertragen und belastet an dieser Stelle den Straßenoberbau. Die Höhe und Art der Beanspruchung ist somit die wesentliche Schnittstellengröße zwischen Fahrzeugentwicklern und Straßenbauern.

Für die Schädigung durch Vertikalkräfte ist jedoch neben der statischen Radlast insbesondere die dynamische Radlastschwankung infolge der Hub- und Wankbewegungen von großer Bedeutung. Neben den statischen Radlasten sind daher die dynamischen Zusatzlasteintragungen für die Konstruktion und Auslegung des Straßenoberbaus mit entscheidend.

Sowohl die statischen als auch die dynamischen Radlasten hängen jedoch in starkem Maße von der Fahrzeugklasse, den Fahrwerk- und Achskonzepten sowie den Betriebsbedingungen ab. Für die Bemessung der Lastannahmen des Straßenoberbaus ist daher eine Zusammenarbeit zwischen Fahrzeugentwicklern und Straßenbauern unabdingbar.

Zur Entschärfung dieser Problematik ist es Ziel des Forschungsvorhabens FA 4.193 die neben den statischen Radlasten auftretenden dynamischen Radlasten in Abhängigkeit von der Straßenbeschaffenheit, den Fahrzeugtypen und den Fahrwerkparametern für aktuelle und zukünftige Fahrzeugkonzepte zu ermitteln und damit Auslegungsanhaltspunkte für die Bemessung Straßenoberbau zu erarbeiten. Zudem sollen Vorschläge zur Minderung der dynamischen vertikalen Lasteintragungen erarbeitet werden. Die Straßenbeanspruchung durch horizontale Kräfte wird nicht untersucht.

### 2 Untersuchungsmethodik

Das Forschungsziel wurde in einem mehrstufigen Vorgehen erreicht. Dazu wurde die Aufgabe in Arbeitspunkte und Unterziele aufgeteilt und es wurden folgende Arbeitspunkte definiert:

#### AP 1 Analyse Fahrzeug- / Fahrwerkkonzepte

Ziel des AP 1 war die Recherche der Fahrwerkkonzepte nach Fahrzeugkategorie, um geeignete Annahmen für fahrzeugspezifische Parameter treffen zu können.

#### AP 2 Auswertung und Bewertung der Einflussfaktoren

Anhand der Zuordnung von recherchierten Technologien, den zukünftig zu erwartenden Fahrzeug- / Fahrwerkkonzepten und den Einflussfaktoren auf die Straßenbeanspruchung erfolgte eine Bewertung der einzelnen Systeme. Dabei sollte auch das Potenzial zur Verringerung des Lasteintrags abgeschätzt werden.

#### AP 3 Vorschläge für realistische Lastannahmen

Der dritte Arbeitspunkt AP 3 wurde parallel zu AP 4 durchgeführt. Anhand der Einflussfaktoren und der Bewertung wurden Vorschläge für die realistischen Lastannahmen erarbeitet. Ziel war, für die jeweiligen Fahrzeugkategorien eine Aussage zur Beanspruchung infolge der Lasteintragungen auf die Straße zu tätigen.

#### AP 4 Vorschläge für Fahrzeug- / Fahrwerkkonzepte

Parallel zu AP 3 wurden Vorschläge für zukünftige Fahrzeug- / Fahrwerkkonzepte erarbeitet, die die Straßenbelastung reduzieren und im Sinn der Fragestellung eine Verbesserung erreichen. Gemäß den Einflussfaktoren wurde hier geprüft, inwieweit eine Minderung der Lasteintragungen erreichbar ist. Mithilfe von Abschätzungen und Simulationsberechnungen wurden Analysen zur dynamischen Radlast durchgeführt. Der Zielkonflikt von Fahrsicherheit und Fahrkomfort sowie Ladegutschonung wird hierbei berücksichtigt.

#### AP 5 Zusammenführung und Ableitung von Vorschlägen zur Minderung dynamischer Lasteintragungen im Straßenoberbau

In AP 5 erfolgt eine abschließende Bewertung der Einflussfaktoren, Konzepte und Bemessungslastannahmen. Ergebnis sind weitergehende Vorschläge zur Entschärfung der Problematik gemäß der Forschungsaufgabe.

#### AP 6 Bericht und Dokumentation

Alle Forschungsergebnisse werden ausführlich dokumentiert. In sinnvollen Zeitabständen erfolgen in gegenseitiger Absprache Zwischenberichte und Präsentationen von Zwischenergebnissen.

### 3 Untersuchungsergebnisse

Anhand von statistischen Veröffentlichungen des Kraftfahrtbundesamtes und des Bundesamtes für Güterverkehr konnte die Aufteilung der Gütertransportleistung auf einzelne Fahrzeugkonzepte ermittelt werden. Die jeweilige Tonnageklasse der einzelnen Fahrzeugkonzepte ließ Rückschlüsse auf die verwendeten Fahrwerkkomponenten zu, deren technische Spezifikationen dann per Rücksprache mit den Fahrzeug-

herstellern in Erfahrung gebracht werden konnten. Es konnte gezeigt werden, dass die Sattelzugkonfiguration mit zwei Achsen an der Zugmaschine und drei Achsen am Sattelanhänger derzeit den größten Anteil an den Transportleistungen absolvieren (ca. 60 %), gefolgt vom Gliederzug mit dreiachsigem Motorwagen und zweiachsigem Anhänger (knapp 20 %). Diese beiden Konfigurationen wurden mit Mehrkörper-simulationsmodellen nachgebildet, welche wiederum soweit mit Fahrversuchsdaten auf Plausibilität überprüft wurden. Dabei wurden die technischen Merkmale eng an die von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) verwendeten Fahrzeuge gehalten, sodass eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Die jeweiligen Radlasten wurden ebenfalls an diese Fahrzeugkonfigurationen angepasst.

Als im Zusammenhang mit der Straßenbelastung stehende, zukünftig zu erwartende Fahrwerkkomponenten sind zum einen die Einzelradaufhängung an den Vorderachsen der Motorwagen und zum anderen elektronische Dämpferregulierungen zu sehen. Ebenso ist eine Einzelradaufhängung für Anhänger denkbar. Die Effekte der ohnehin weitergehenden Bemühung um Leichtbau werden durch eine höhere Zuladung größtenteils wieder kompensiert. Die Summenlast der Fahrbahn kann weiterhin durch unterschiedliche Spurweiten der Achsen verringert werden. Simuliert wurde ein Sattelzug mit Einzelradaufhängung an der Vorderachse und den Trailerachsen.

Die Analyse der zur Verfügung gestellten gemessenen Straßenprofildaten zeigte, dass eine alleinige Bewertung über Welligkeit und allgemeine Unebenheit nicht ausreichend ist, da die jeweiligen Bewertungsabschnitte Anteile sehr guter als auch schlechter Fahrbahnprofile enthielten. Aus diesem Grund wurden die Straßenprofile in Anlehnung an die Bewertungsgrenzen der Straßenzustandsbeobachtung künstlich generiert und mithilfe des Bewertungsansatzes des Instituts für Straßenwesen, RWTH Aachen überprüft. Entstanden sind 5 verschiedene Güten der Längsebenheit (sehr gut bis sehr schlecht), von denen die drei mittleren für die Simulationen herangezogen wurden.

In den Simulationen wurde die ca. 1,6 km lange nutzbare Strecke geradeaus befahren, was je nach Geschwindigkeit etwa 70-90 Sekunden Simulationsdauer entspricht. Variiert wurden der Beladungszustand, die Straßenanregung und die Fahrgeschwindigkeit. Durch die systematische Permutation der Parameter wurden für jede Fahrzeugkonfiguration 36 unterschiedliche Varianten berechnet, um damit ein breites Spektrum der derzeitigen Situation abzudecken.

Ebenso wurden die beiden vielversprechendsten Varianten der Voruntersuchung, Einzelradaufhängung und geänderte Achsabstände modelliert und simuliert. Positive Effekte konnten mit der Einzelradaufhängung gezeigt werden. Da jedoch durch das fehlende Achsrohr die Wanksteifigkeit deutlich abnimmt, ist als Abhilfe eine Kombination mit verstellbaren Dämpfern denkbar. Diese können durch Schalten einer steifen Druckstufe bei Kurvenfahrt die entstehenden Fliehkräfte abstützen.

Als Ergebnis sind aus den Simulationen Verteilungskurven der einzelnen Radlasten der jeweiligen Fahrzeugkonfiguration hervorgegangen, die nach dem Verweildauerprinzip ermittelt und auf die Gesamtstrecke der Simulation normiert wurden. Aus einer Perzentilberechnung lässt sich ablesen, bei welcher Radlast die 95%-Grenze der Lastanteile einer Fahrbahnspur erreicht wird. Diese Daten sollen Straßenbauern als Anhaltspunkt für die, unter den genannten Randbedingungen zu erwartende, vertikale Straßenbelastung dienen.

## 4 Folgerungen für die Praxis

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Straßenunebenheit den größten Einfluss auf die dynamischen Radlasten und damit den Lasteintrag in den Straßenoberbau haben. Eine vorgeschädigte Fahrbahn wird daher durch den Verkehr starken Folgebelastungen ausgesetzt. Hat eine Fahrbahnoberfläche eine erhöhte Unebenheit, so werden dadurch lokal erhöhte dynamische Radlastspitzen erzeugt, die einen zunehmend voranschreitenden Schädigungsprozess in Gang setzen.

Der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit und des Beladungszustands auf die dynamischen Radlasten ist im Vergleich eher gering. Allerdings trägt ein höheres Fahrzeuggewicht zu deutlich höheren statischen Radlasten und somit zu einer verstärkten Straßenbelastung bei.

Durch den Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Konfigurationen konnten die Aussagen der Voruntersuchung prinzipiell bestätigt werden. So führt eine Einzelradaufhängung zu einer deutlich geringeren Standardabweichung (also geringeren dynamischen Radlastschwankungen) und somit zu längeren Verweilanteilen an der Gesamtstrecke im Bereich der statischen Radlast. Ein solches Achskonzept am Auflieger ist im Hinblick auf die Straßenschonung somit als positiv anzusehen, die Höhe der jeweiligen Verbesserungen hängt vom verwendeten Achskonzept ab, bei dem neben der vertikal-dynamischen auch querdynamische Auslegungskriterien beachtet werden müssen (schaltbarer Stabilisator).

Eine Simulation von Schwingungsdämpfern mit Wank- und Hubentkopplung konnte nicht durchgeführt werden, obwohl sich hierbei auch positive Effekte erwarten lassen.