

VIII/1 Beanspruchung von Straßenkonstruktionen durch moderne Nutzfahrzeuge

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Hothan

Die Ermittlung der Beanspruchung von Straßen durch rollende Lasten setzt voraus, dass die eingetragenen Lasten als Kräfte, Kontaktspannungen, Häufigkeiten des Auftretens wie auch deren Geschwindigkeiten bekannt sind. Dadurch werden in der Befestigung Reaktionen ausgelöst, die sich als Dehnungen, Spannungen und Verformungen äußern. Damit kann aber noch keine Aussage über die Dauerhaftigkeit der Konstruktion gemacht werden. Erst durch den Vergleich mit zulässigen Größen kann eine Bewertung für die zwei wesentlichen Versagensformen Ermüdungsreißen und permanente Verformungen vorgenommen werden. Im Zusammenhang mit der Ermüdung sind die sog. Wöhlerkurven von Bedeutung, für das Verformungsverhalten sind phänomenologische Zusammenhänge vorhanden. Das Ermüdungsreißen findet in der Regel an der Unterseite der gebundenen Schicht (Asphalt oder Beton) statt (**Bild 1**), je nach Beanspruchungssituation kann die Rissbildung auch an der Oberseite beginnen (z. B. bei Randbelastung).

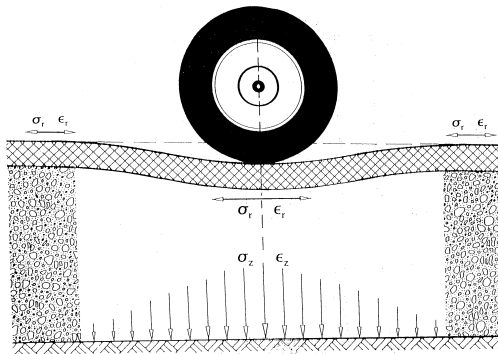


Bild 1: Schematische Darstellung der Reaktionen der Befestigung

Permanente Verformungen resultieren aus Nachverdichtungen von Asphalt- und darunter liegenden Schichten sowie aus Fließbewegungen des Asphaltmaterials. Die dritte Form des Versagens findet im Untergrund statt, wenn sich durch Überlastung aus vertikaler Auflast unmäßige Deformationen einstellen. Diese prägen sich als Teil der permanenten Verformung im Asphalt aus oder bei extremer Deformation auch als Risse.

Versagen durch Rissbildung

Die Beziehung von Befestigungsreaktion zu Lastwechselzahl wird mit der Gleichung 1 beschrieben. In dem Exponenten k_2 steckt die Lastäquivalenz, die bei einem Wert von 4 dem sog. 4. Potenzgesetz entspricht. Zur Verdeutlichung des Zusammenhangs wird auf **Bild 2** verwiesen.

Bedeutend ist hierbei, dass jede Veränderung von ϵ mit der Potenz k_2 bewertet wird. Um das Beispiel der 4. Potenz zu benutzen, bedeutet das, dass die Wirkung einer 10-t-Achse zu der einer mit 1 t mit 10^{k_2} entsprechend 10000 : 1 zu beschreiben ist.

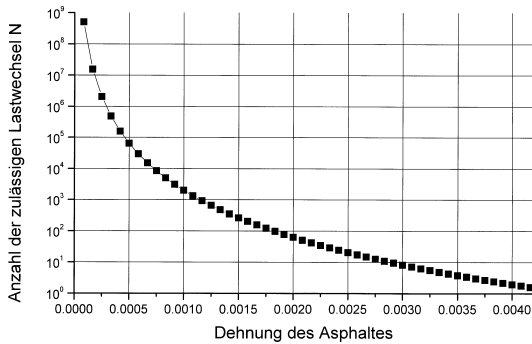


Bild 2: Ermüdungsfunktion Asphalt

$$N = k_1 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^{k_2} \tag{Gl. 1}$$

ε = elastische Dehnung

k_1 = temperatur- und materialabhängige Konstante (= $2 \cdot 10^{-12}$)

k_2 = temperatur- und materialabhängige Konstante (= 4 - 6)

Versagen durch Spurrinnenbildung

Das allseits bekannteste Versagensmerkmal ist die Spurrinnenbildung, die im Gegensatz zur sich zunächst unbemerkt entwickelnden Rissbildung an der Oberfläche der Befestigung stattfindet. Die Entwicklung der Spurrinentiefe mit der Zeit bzw. mit der Anzahl der Lastwechsel ist in etwa mit einer Wurzelfunktion beschreibbar (**Bild 3**).

$$N = \left(\frac{w_{pl}}{w_{el} \cdot v} \right)^\alpha \tag{Gl. 2}$$

α = 0,3 - 0,6

v = materialabhängige Konstante

w_{pl} = plastische Verformung [mm]

w_{el} = elastische Verformung [mm]

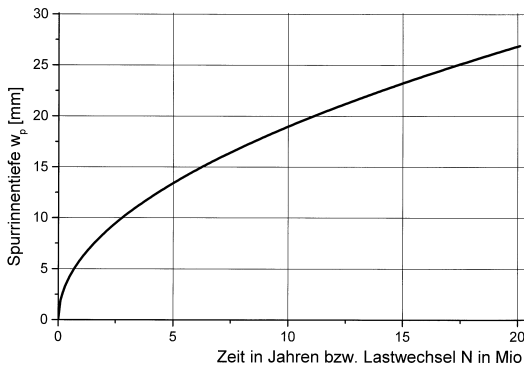


Bild 3: Spurrinnenbildungsfunktion

Versagen des Untergrundes

Durch die gebundenen Schichten werden die in den Untergrund eingetragenen Kräfte vermindert und sollen die hier wirkenden Kräfte auf ein für hohe Lastwiederholungszahlen ausgelegtes Niveau begrenzen. Ein formelmäßiger Zusammenhang ist in Gl. 3 angegeben. Zur Anschauung des Zusammenhangs möge **Bild 4** dienen, das die Ergebnisse für zwei unterschiedlich steife ungebundene Schichten darstellt. Das hier beschriebene Versagenskriterium äußert sich in verstärkter Spurrinnenbildung bzw. in Unebenheiten in Längsrichtung.

$$N = 10^{1,4286 \cdot (c \cdot E_{UG} / \text{vorh } \sigma_{z,UG} - 1)} \quad \text{Gl. 3}$$

- c = materialabhängige Konstante (0,006 - 0,008)
 E_{UG} = E-Modul des Untergrundes [N/mm²]
 $\sigma_{z,UG}$ = vertikale Spannung auf dem Untergrund [N/mm²]

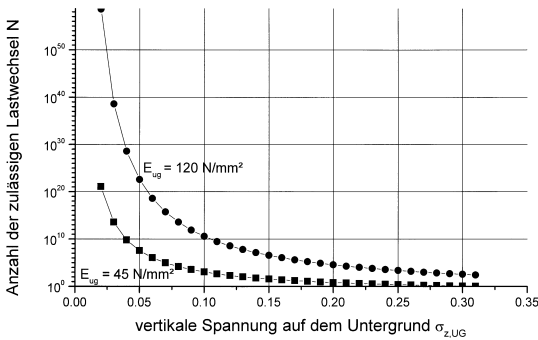


Bild 4: Versagensfunktion des Untergrundes

Aktuelle Straßenbelastungen

In den letzten Jahren haben sich im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge erhebliche Veränderungen ergeben. Das derzeitige Standardfahrzeug ist der Sattelzug (**Bild 5**), der auf den drei Achsen des Trailers mit Supersinglereifen ausgerüstet ist.

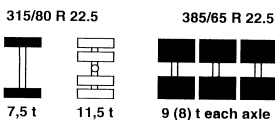
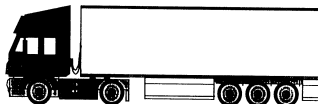


Bild 5: Standardfahrzeug des Schwerverkehrs

Das Zugfahrzeug wird derzeit noch mit Zwillingsreifen auf der Antriebsachse ausgestattet. Es ist nur eine Frage der Zeit, bis auch hier Supersinglereifen mit einer Reifenbreite von 495 mm eingesetzt werden. Fahrzeuge mit Zwillingsreifen sind in der Minderheit. Eine Vielzahl von Gründen haben zu den Supersinglereifen geführt:

Gründe für Zwillingsbereifung

- weniger straßenschädigend
- Krafteinleitung über vier Flächen
- kleinerer Kontaktdruck
- beim Anhänger niedrigere Ladehöhe

Gründe für Einzelbereifung

- kleinere Gesamtmasse, höhere Nutzlast
- größere Federspur, daher besseres Wankverhalten
- kleinerer Wartungsaufwand
- kein Einklemmen von Fremdkörpern
- kleinere dynamische Zusatzlasten
- homogenere Latschflächenpressung
- besserer Rundlauf
- weniger Geräusche
- weniger Rollwiderstand

Ökonomische Vorteile auf der Seite des Transportgewerbes haben die Einführung des Supersingles beschleunigt, wobei zum Zeitpunkt des Ersteinsatzes das Ausmaß der straßenschädigenden Wirkung nicht hinreichend bekannt war. Forschungen im europäischen Raum zeigen noch widersprüchliche Ergebnisse. Bis heute ist eine eindeutige Stellungnahme zu der möglichen Schädigung durch den Supersingle gegenüber den „alten“ Zwillingsreifen nicht greifbar. Als Anhalt möge **Bild 6** dienen, in dem die Beanspruchung einer Asphalt-schicht variiert Dicken durch beide Radtypen dargestellt ist.

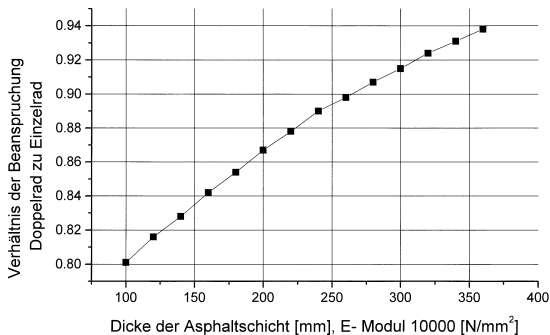


Bild 6: Vergleich der Schädigungen Doppelrad/Supersingle

Bei dünnen Asphalt-schichten ergibt sich eine deutlich erhöhte Schädigungswirkung durch den Supersingle, die mit steigender Dicke nachläßt. Die schweren Nutzfahrzeuge wirken mit ihren hohen Lasten tief in die Befestigung hinein. Beispielhaft werden hier die Wirkungen auf die Ermüdungsbeanspruchung von einer sehr dünnen (100 mm, **Bild 7**) Asphalt-schicht und einer sehr dicken (300 mm, **Bild 8**) vorgestellt.

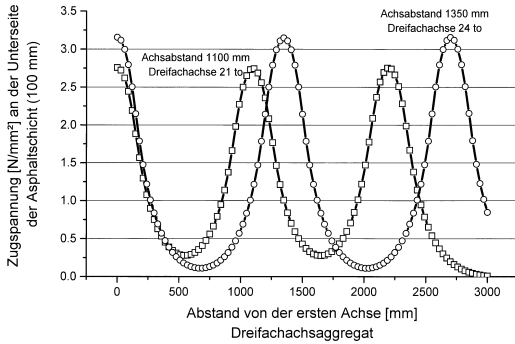


Bild 7: Zugspannung an der Unterseite Asphalt (dünne Schicht)

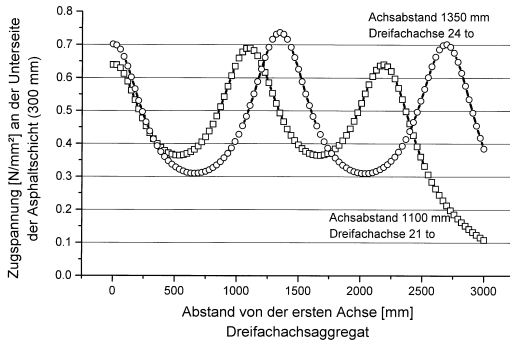


Bild 8: Zugspannung an der Unterseite Asphalt (dicke Schicht)

Bei dünnen Befestigungen überlagern sich die Wirkungen der drei Achsen praktisch nicht, erzeugen aber sehr hohe Zugspannungen an der Unterseite des Asphaltes. Dicke Befestigungen fördern die Überlagerung. Die in **Bild 8** vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass die leichten, aber dicht beieinander stehenden Achsen wegen der Überlagerung fast das Spannungsniveau

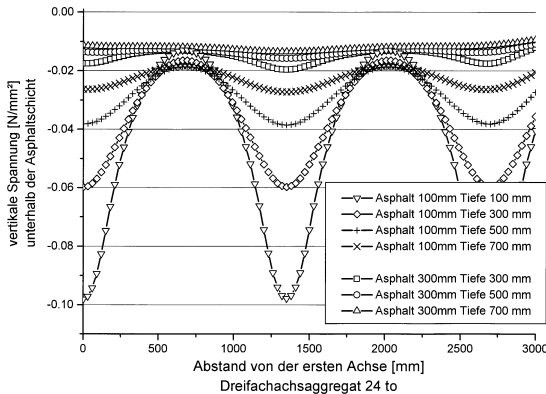
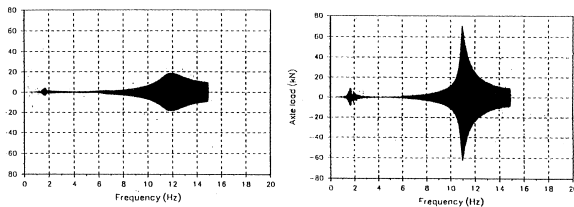


Bild 9: Vertikale Spannungen unterhalb des Asphaltes

veau der einzelnen schweren Achse erreichen. Normalerweise sind unsere Fernverkehrsstraßen mit größerer Asphaltstärke ausgestattet; deshalb werden Achsen mit größerem Abstand voneinander höhere Achslasten zugestanden. Die Wirkungen der Achslasten beschränken sich aber nicht auf die Asphaltdecke, sondern entfalten auch in tieferen Schichten schädliche Wirkungen. Als Überblick dient **Bild 9**; hier sind die vertikalen Spannungen in verschiedenen Tiefenhorizonten aufgezeigt.

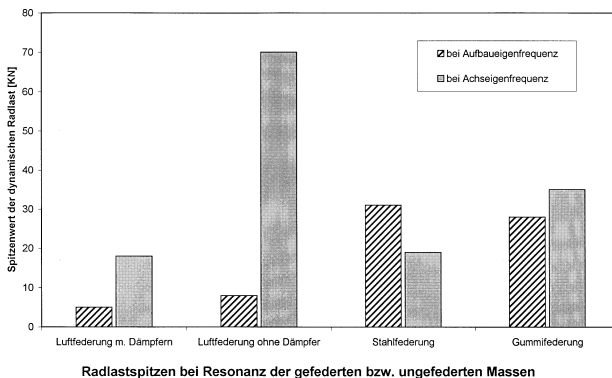
Mit steigender Tiefe unter der Oberfläche sinken erwartungsgemäß die Wirkungen aus Verkehrslast, bei dünnen Asphaltüberdeckungen erreichen sie aber noch beachtliche Werte und tragen z. B. zur Beanspruchung von erdverlegten Rohren bei. Im Zusammenhang mit den heutigen Standardfahrzeugen ist das Problem der sog. straßenschonenden Achsbauweise zu sehen. Die früher übliche Blattfederung ist abgesehen von Baustellenfahrzeugen fast völlig von der Luftfederung verdrängt worden, weil diesen Federungen das Prädikat der Straßenschonung zugeordnet wird und damit gegenüber Standardblattfedern eine höhere zugelassene Achslast genutzt werden kann. Für neue Fahrzeuge mag das gelten, aber mit dem Gebrauch lässt die Qualität der Dämpfer nach und im Extremfall der Nullfunktion ist mit einer erheblich vergrößerten schädigenden Wirkung durch dynamische Zusatzlasten zu rechnen. Das Beispiel in **Bild 10** demonstriert diesen Zusammenhang; hier vergrößern sich die dynamischen Zusatzlasten fast um den Faktor vier.



Anregung mit 1-mm-Sinus, 0-20 Hz, Luftfeder m./o. Dämpfer (l/r)

Bild 10: Dynamische Zusatzlasten

Bei Einbindung in die oben genannten Schädigungsansätze sind beachtliche Gebrauchsdauerverkürzungen zu erwarten. Zusammenfassend zeigt **Bild 11** eine Gegenüberstellung von verschiedenen Feder/Dämpfersystemen.



Radlastspitzen bei Resonanz der gefederten bzw. ungefederten Massen

Bild 11: Vergleich verschiedener Feder-Dämpfersysteme

Zusammenfassung:

Zur Begrenzung von Schäden und somit zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt ist ein abgestimmtes Zusammenwirken von der Fahrzeug- wie auch von der Straßenseite unumgänglich.

Fahrzeugseitige Einflüsse:

- Reifen: gleichmäßige Spannungsverteilung über möglichst große Kontaktfläche
- Achsaufhängung: Luftfeder mit funktionierender Dämpfung
- Achslast: unzulässige Überschreitungen ausschließen

Straßenseitige Einflüsse:

- Weiterentwicklung der Standfestigkeit gegen Verformung und Ermüdung
- Erhaltung einer Mindestebenheit im Bereich der Eigenfrequenzen zur Vermeidung von Fahrzeuganregungen

Verfasser: apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Hothan
Fachgebiet Konstruktiver Straßenbau
Universität Hannover
Appelstraße 9 a
30167 Hannover
Telefon: (05 11) 7 62 - 38 09
Telefax: (05 11) 7 62 - 38 62
e-mail : hothan@ivh.uni-hannover.de