



# SCHRIFTENREIHE

Institut für Straßenwesen  
Technische Universität Braunschweig  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Leutner  
Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Wolfgang Arand

# STRASSENWESEN

**Holger Lorenzl**

**Modell zur Ermittlung der Nutzungsdauer von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt in Abhängigkeit von der Bindemittelviskosität**

Heft 13  
Braunschweig, 1996

## Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1.	Einleitung und Problemstellung	1
2.	Untersuchungsmethodik	4
2.1	Aufbauvarianten - Bauweise, Bauklasse	4
2.1.1	Geometrie	4
2.1.2	Tragfähigkeit der Unterlage	5
2.2	Temperaturverteilungen - räumlich, zeitlich	12
2.2.1	Asphaltoberflächentemperaturen	12
2.2.2	Asphaltkörpertemperaturen	19
2.3	Verkehrsverteilungen - räumlich, zeitlich	25
2.3.1	Verkehrsstärke	25
2.3.2	Verkehrsganglinien	27
2.4	Spannungsverteilungen - räumlich, zeitlich	36
2.4.1	Festigkeitshypothese	37
2.4.2	Kryogene Zugspannungen	43
2.4.3	Verkehrslastbedingte Zugspannungen	47
2.4.4	Superposition	57
2.5	Ermüdung unter Last und Zwang	60
2.5.1	Wahl eines Ermüdungsgesetzes	60
2.5.2	Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte des Ermüdungsgesetzes	62
2.5.3	Schadensakkumulation nach Miner	65
2.5.4	Validierung des Ermüdungsgesetzes	66
2.5.5	Anwendung des Ermüdungsgesetzes	76
2.5.6	Folgerungen	79
2.6	Modularer Aufbau des Rechenprogramms	80
3.	Untersuchungsergebnisse	82
4.	Schlußfolgerungen	93
5.	Zusammenfassung	103
6.	Literaturverzeichnis	107

## 5. Zusammenfassung

Das Verhalten von Asphalten mit Hilfe mathematisch-mechanischer Bemessungsmodelle nachzubilden, setzt genaue Kenntnisse über das Tragverhalten der Unterlage, die räumliche und zeitliche Temperaturverteilung im gesamten Fahrbahnaufbau sowie die Beanspruchung der Fahrbahnen durch Verkehrslasten voraus. Diese Modelle schätzen die theoretische Nutzungsdauer von Straßenbefestigungen unter Berücksichtigung kompositioneller und technologischer Merkmale der Asphalte ab.

Mit Hilfe von Ermüdungsrechnungen kann gezeigt werden, daß der Nutzungszeitraum von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt durch die Wahl einer optimalen Bindemittelviskosität beeinflusst werden kann. Durch den Einsatz von härteren Bindemitteln bei höheren Temperaturen und durch den Einsatz von weicheren Bindemitteln bei tieferen Temperaturen kann die schadensfreie Nutzungsdauer verlängert werden.

Das Ermüdungsverhalten dicker Asphaltbefestigungen bei gleichmäßiger Tragfähigkeit der Unterlage ist bereits untersucht worden. Deutlich wurde, daß die Berücksichtigung abkühlungsbedingter Zugspannungen neben den verkehrslastbedingten Zugspannungen bei Ermüdungsbetrachtungen unverzichtbar ist.

Die für dicke Asphaltbefestigungen auf gleichmäßig tragfähiger Unterlage gewonnenen Erkenntnisse können aber nicht ohne weiteres auf dünnere Asphaltbefestigungen mit einer Unterlage wechselnder Tragfähigkeit übertragen werden.

Hierauf aufbauend war für Asphaltbefestigungen unterschiedlicher Dicke in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit der Unterlage sowie der aus Temperaturverteilungen und Verkehrslastverteilungen resultierenden Zugspannungsverteilungen bei Wahl eines geeigneten Ermüdungsgesetzes die optimale Bitumenviskosität - gekennzeichnet durch den Erweichungspunkt Ring und Kugel - zu ermitteln, die unter strukturellen Gesichtspunkten eine möglichst lange schadensfreie Nutzungsdauer erwarten läßt.

Gegenstand der Betrachtung waren Asphaltstraßen mit Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht, mit Asphalttragschicht und Schottertragschicht auf Frostschuttschicht sowie mit Asphalttragschicht und hydraulisch gebundener Tragschicht auf Frostschuttschicht in den Bauklassen I, III und V.

Zur Charakterisierung der Tragfähigkeit wurden die dynamischen Moduln für den Zeitraum von der 14. bis zur 52. Woche (Lastfall Sommer und Herbst) für die Frostschutzschicht zu  $E_d = 1.000 \text{ N/mm}^2$  und für die Schottertragschicht zu  $E_d = 2.800 \text{ N/mm}^2$  gewählt. Für den Zeitraum von der 1. bis zur 9. Woche des Jahres (Lastfall Winter) wurde davon ausgegangen, daß das in den ungebundenen Schichten vorhandene Wasser gefroren ist, wodurch der dynamische Modul schätzungsweise um 25 % (relativ) vergrößert wird. In der Tauperiode von der 10. bis zur 13. Woche (Lastfall Frühjahr) wurde mit um 25 % (relativ) reduzierten dynamischen Moduln gerechnet, da flüssiges Wasser über einer gefrorenen Schicht geeignet ist, die Tragfähigkeit ungebundener Schichten herabzusetzen. In Anlehnung an die Literatur wurde die Tragfähigkeit der hydraulisch gebundenen Schicht jahreszeitunabhängig durch einen dynamischen Modul  $E_d = 5.000 \text{ N/mm}^2$  repräsentiert.

Die zeitlichen Temperaturverteilungen an der Oberfläche und im Inneren der Asphaltbefestigung wurden auf der Grundlage stündlicher Angaben zu den meteorologischen Standardmeßgrößen - Globalstrahlung, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit - des Deutschen Wetterdienstes für einen Zeitraum bis zu zwanzig Jahren simuliert.

Die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Gesamtverkehrs wurde für Straßen der Bauklasse I zu 20.000 Fz/24 h, der Bauklasse III zu 6.000 Fz/24 h und der Bauklasse V zu 500 Fz/24 h angenommen. Von diesen Verkehrsstärken entfallen in der Bauklasse I 12,5 %, in der Bauklasse III 10,0 % und in der Bauklasse V 7,0 % auf Fahrzeugarten des Schwerverkehrs. Zur Ermittlung des durchschnittlichen stündlichen Gesamtverkehrs und Schwerverkehrs wurden Jahrganglinientypen, Wochenganglinientypen und Tagesganglinientypen des Verkehrs herangezogen.

Aus den Temperaturganglinien an der Oberfläche und im Inneren der Fahrbahnbefestigung wurden mit Hilfe einer auf der Anwendung des Maxwell-Modells beruhenden Exponentialfunktion Ganglinien der kryogenen Zugspannungen in Abhängigkeit von der Temperatur berechnet. Gleichzeitig wurden die Temperaturverteilungen herangezogen, um die temperaturabhängige Steifigkeit der Asphaltsschichten zu berechnen. Bei Kenntnis der temperaturabhängigen Steifigkeit der Asphalte konnten unter Anwendung des BISAR-Programms verkehrslastbedingte Zugspannungen ermittelt werden, welche den kryogenen Zugspannungen überlagert wurden.

Die durch Superposition der abkühlungsbedingten und der verkehrslastbedingten Zugspannungen gewonnenen Gesamtspannungen wurden in das Ermüdungsgesetz

von Kenis eingeführt. Das angewandte Ermüdungsgesetz bedurfte dazu noch einer Validierung, die an elf Untersuchungsstrecken im Bundesland Hessen mit guten Ergebnissen durchgeführt wurde.

Unter Anwendung der Minerschen Hypothese konnte die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Eintreten des Versagens berechnet werden. Diese hängt bei gegebenem Aufbau der Asphaltbefestigung von den während der Nutzungsdauer auftretenden Temperaturen und der im gleichen Zeitraum zu registrierenden Verkehrsbelastung sowie - nicht zuletzt auch - von der Bitumenhärte ab.

Als Ergebnis der Untersuchungen wurde die theoretische Nutzungsdauer unterschiedlicher Fahrbahnbefestigungen für Straßen unterschiedlicher Bauklassen in den Frosteinwirkungszonen I und III in Abhängigkeit vom Erweichungspunkt Ring und Kugel des Bindemittels tabellarisch und graphisch dargestellt.

Für jede Bauweise, jede Bauklasse und jede Frosteinwirkungszone gibt es unter rein strukturellen Gesichtspunkten eine Bindemittelviskosität, beschrieben über den Erweichungspunkt Ring und Kugel, die ein Maximum an theoretischer Nutzungsdauer - das ist der Kehrwert der durchschnittlichen jährlichen Schadensanteile - erwarten läßt. Abweichungen von der optimalen Bindemittelviskosität sind mit mehr oder weniger deutlichen Reduzierungen der zu erwartenden theoretischen Nutzungsdauer verbunden.

Zum Erreichen der durchschnittlichen Nutzungsdauer von 12,5 Jahren nach Schluß einer ausreichend dick bemessenen Fahrbahnbefestigung sollte angestrebt werden, daß der Erweichungspunkt Ring und Kugel des im Asphalt vorhandenen Bitumens um nicht mehr als  $\pm 4$  K vom optimalen Erweichungspunkt Ring und Kugel abweicht.

Bei Straßen der Bauklasse V scheint bei den Bauweisen gemäß Zeile 1 beziehungsweise Zeile 3.1 nach RStO 86/89 die Verwendung eines etwas härteren Bitumens für die theoretische Nutzungsdauer vorteilhafter zu sein, bei Straßen mit hydraulisch gebundener Tragschicht dagegen die eines geringfügig weicheren.

In der Frosteinwirkungszone III sollte - verglichen mit Straßen in der Frosteinwirkungszone I - stets ein um eine Sorte weicherer Bitumen eingesetzt werden.

Bei Straßen mit Asphalttragschicht auf ungebundener Tragschicht - Frostschuttschicht oder Schottertragschicht - kann an eine geringfügig schwächere Dimensio-

nierung der Fahrbahnbefestigungen für Straßen der Bauklasse I gedacht werden. Angesichts der Tatsache, daß die Ermüdung etwa mit der 5. Potenz der Beanspruchung steigt, sind dem aber vergleichsweise enge Grenzen gesetzt.

Auch bei Straßen mit Asphalttragschicht auf hydraulisch gebundener Tragschicht und Frostschutzschicht kann in der Frosteinwirkungszone I eine mehr oder weniger starke Verringerung der Dicke der Asphalttragschicht in Erwägung gezogen werden. Dabei ist allerdings darauf zu achten, daß Reflexionsrißbildung zuverlässig vermieden wird.