



SCHRIFTENREIHE

Institut für Straßenwesen

Technische Universität Braunschweig

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Leutner

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Wolfgang Arand

STRASSENWESEN

Karsten Rubach

**Einfluß der Zusammensetzung von
Asphaltbetonen auf deren Ermü-
dungsbeständigkeit unter Berück-
sichtigung kryogener Zugspan-
nungen**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Behandlung des Problems in der Literatur	4
2.1 Ermüdung	4
2.2 Zeitfestigkeitsermittlung	5
2.3 Bisher gebräuchliche Versuchseinrichtungen zur Ansprache des Ermüdungsverhaltens mittels Wechselbeanspruchungen	10
2.3.1 Rotationssystem	11
2.3.2 Torsionssystem	14
2.3.3 Kragarmsystem	15
2.3.4 Biegebalkensystem	17
2.3.5 Schubsystem	18
2.4 Ermüdungsgesetze	20
3. Bestimmung der Ermüdungsbeständigkeit mittels Schwellversuchen	49
3.1 Versuchsprinzip	49
3.2 Beschreibung der servo-hydraulischen Prüfmaschine	51
4. Untersuchungsmethodik	54
4.1 Zusammensetzung und Eigenschaften der Asphaltbetongemische	54
4.1.1 Auswahl der Baustoffe	54
4.1.2 Eignungsprüfung	55
4.1.3 Variation der Asphaltbetone	58
4.1.4 Herstellung der Asphaltgemische und der Probekörper	59
4.1.4.1 Schlagverdichtete Asphaltplatten für die Ansprache des Verhaltens bei tiefen Temperaturen	60
4.1.4.2 Walzverdichtete Asphaltplatten für die Ansprache des Ermüdungsverhaltens	61

	Seite	
4.2	Versuche zur Ansprache des Verhaltens der Asphaltbetone bei tiefen Temperaturen zur Ermittlung der Prüftemperaturen und der Unterspannungen für die Ermüdungsversuche	62
4.2.1	Einaxiale Zugversuche	63
4.2.2	Abkühlversuche	63
4.3	Festlegung der Prüftemperaturen und der damit korrespondierenden Unterspannungen für die Ermüdungsversuche	68
4.4	Berechnung verkehrslastbedingter Zugspannungen bei den gewählten Prüftemperaturen	71
4.5	Festlegung der Versuchsbedingungen für die Zug-Schwellversuche zur Ansprache des Ermüdungsverhaltens der Asphaltbetone	75
5.	Untersuchungsergebnisse	78
5.1	Ergebnistabellen und graphische Darstellungen der Ergebnisse	78
5.2	Kommentierung der Ergebnisse anhand des Datenmaterials	93
5.3	Approximation der Ergebnisse mit Hilfe der Evolutionsstrategie	97
5.4	Kommentierung der Ergebnisse anhand der mathematischen Auswertung	100
6.	Schlußfolgerungen	130
7.	Zusammenfassung	132
8.	Literatur	137
	Anhang	140

7. Zusammenfassung

Die Dauerhaftigkeit von Asphaltbefestigungen wird bestimmt durch einen ausreichend hohen Verformungswiderstand, eine bis in den Bereich tiefer Temperaturen reichende Reißresistenz und eine gute Ermüdungsbeständigkeit. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Viskosität des Bitumens stehen die Forderungen nach einem ausreichenden Verformungswiderstand und nach Reißresistenz direkt in Konkurrenz zueinander. Ebenso beeinflussen die Volumenverhältnisse - Mineralstoff-, Mörtel-, Bindemittel- und Hohlraumvolumen - der Walzasphalte den Verformungswiderstand und auch die Ermüdungsbeständigkeit teilweise gegenläufig [11].

Eine auf das Ziel Dauerhaftigkeit ausgerichtete Rezeptierung von Walzasphalten muß somit die konkurrierenden Anforderungen an Verformungswiderstand, Reißsicherheit und Ermüdungsbeständigkeit berücksichtigen, was durch gezielte Eingriffe in die Zusammensetzung geschehen kann.

Die Reißsicherheit kann aufgrund der Ergebnisse zweier Forschungsarbeiten über das Verhalten von Walzasphalten bei tiefen Temperaturen bereits zuverlässig in Abhängigkeit von der Zusammensetzung quantitativ abgeschätzt werden [3 und 4].

In jüngster Zeit wurde eine Forschungsarbeit über den Einfluß der Zusammensetzung auf das Verformungsverhalten eines Asphaltbetons durchgeführt und abgeschlossen [12]. Der Verformungswiderstand eines Asphaltbetons 0/11 läßt sich ebenfalls bei Kenntnis der kompositionellen Einflußgrößen prognostizieren.

Bei den hier durchgeführten Untersuchungen über den Einfluß der Zusammensetzung auf die Ermüdungsbeständigkeit eines Asphaltbetons wurde im speziellen der Tatsache Rechnung getragen, daß Asphalte in Fahrbahnbefestigungen bei tiefen Temperaturen wegen des behinderten beziehungsweise in Fahrbahnmitte vollständig verhinderten thermischen Schrumpfes auch Zwängungsspannungen (kryogenen Zugspannungen) ausgesetzt sind.

Mit Hilfe von Zug-Schwellversuchen wurden an Asphaltprobekörpern mit systematisch variiertes Zusammensetzung die gleichzeitige Einwirkung von thermisch indu-

zierten Zugspannungen und verkehrslastbedingten Zugspannungen simuliert und die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Bruch zu ermittelt.

Die für die Untersuchungen herangezogenen Asphaltbetone 0/11 besaßen Füllergehalte von 7,0; 9,4 und 12,6 M-T; dabei wurden Bindemittelgehalte von 5,1; 5,7 und 6,3 M-% gewählt und Straßenbaubitumen der Sorten B 25, B 65 und B 200 eingesetzt.

Alle prismatischen Probekörper für die Untersuchungen mit Abmessungen von $40 \cdot 40 \cdot 160 \text{ mm}^3$ wurden am Institut für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig aus Asphaltplatten herausgesägt, wobei die für die Tieftemperaturversuche benötigten Asphaltplatten am Institut für Straßenwesen, die für die Ermüdungsversuche benötigten Asphaltplatten bei der ESSO AG in Hamburg hergestellt worden sind.

Für die Festlegung der Prüftemperaturen waren zunächst Abkühl- und Zugversuche durchzuführen, wobei die Abkühlversuche bei Doppelbelegung mit der Abkühlrate $\dot{T} = -5 \text{ K/h}$, die Zugversuche bei Temperaturen von $T = +20; +5; -10$ und -25 °C durchgeführt worden sind.

Aufgrund der Ergebnisse der Abkühl- und Zugversuche wurden die Temperaturen der Maxima der Zugfestigkeitsreserven $T(\Delta\beta_{zmax})$ ermittelt. Ausgehend von dieser Temperatur als einer der Prüftemperaturen wurden drei zusätzliche Temperaturen nach dem Schema $[T(\Delta\beta_{zmax}) - 2 \cdot 7] \text{ °C}$, $[T(\Delta\beta_{zmax}) - 7] \text{ °C}$ und $[T(\Delta\beta_{zmax}) + 2 \cdot 7] \text{ °C}$ als Prüftemperaturen gewählt.

Die verkehrslastbedingten Zugspannungen wurden für jede Variante und für die vier Prüftemperaturen unter Verwendung des BISAR-Programms unter Annahme einer Radlast von 5,75 t - entsprechend $\alpha = 100 \%$ - berechnet und zur Bestimmung der Oberspannungen den bei den Prüftemperaturen auftretenden kryogenen Zugspannungen (Unterspannungen) mit den Quantilenwerten $\alpha = 25; 50; 75$ und 100% überlagert.

Die Ergebnisse der Untersuchungen - die in jedem Versuch gemessene Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Eintreten eines Bruchs - wurden tabellarisch sowie graphisch dargestellt.

Im Zuge der mathematischen Auswertung wurde die folgende Formel entwickelt und angesichts des bekannt hohen Variationskoeffizienten für Ermüdungsversuche - in der amerikanischen Literatur wird er mit 50 % angegeben - sehr gut an das gemessene Datenmaterial angepaßt.

$$N = (a_0 + a_1 \cdot F + a_2 \cdot B) \cdot \sigma_0^{(a_3 \cdot e^{(a_4 \cdot T)})} \cdot a_5 \cdot (a_6 + T + a_7 \cdot EP)^{a_8} \cdot e^{(a_9 \cdot (a_6 + T + a_7 \cdot EP))} \quad (22)$$

- mit N = Anzahl der ertragbaren Lastwechsel
a_i = Koeffizienten beziehungsweise Exponenten
F = Füllergehalt [M-T]
B = Bindemittelgehalt [M-%]
σ₀ = Oberspannung [N/mm²]
T = Prüftemperatur [°C]
EP = Erweichungspunkt Ring und Kugel [°C]

Um die teilweise durch Wechselwirkungen zwischen mehreren Einflußgrößen gekennzeichneten Zusammenhänge zwischen der berechneten Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Bruch und dem Bindemittelgehalt sowie dem Füllergehalt besser veranschaulichen zu können, wurden für gemittelte Temperaturen innerhalb der von der eingesetzten Bindemittelsorte abhängigen Temperaturklassen unter Rückgriff auf die Ergebnisse der Abkühlversuche repräsentative korrespondierende Oberspannungen für den Quantilenwert α = 75 % ermittelt, die ihrerseits unter Anwendung der Gleichung (22) zur Grundlage der Neuberechnung der Anzahl N der ertragbaren Lastwechsel in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt und vom Füllergehalt gemacht wurden.

Anhand der Ergebnisse der Ermüdungsversuche können für die gemessenen und auch für die berechneten Bruchlastwechselzahlen folgende Aussagen getroffen werden:

Die Anzahl N der ertragbaren Lastwechsel bis zum Bruch nimmt - von Ausnahmen abgesehen - mit steigendem Bindemittelgehalt zu.

Dieses wird durch die positiven Koeffizienten a_2 des Bindemittelgehaltes bei den Approximationen mittels Gleichung (22) bestätigt.

Unter Zugrundelegung der berechneten Anzahl der ertragbaren Lastwechsel wurde sodann für jede Temperaturstufe (rein formal) über den Differentialquotienten dN/dB als Steigungsmaß der Einfluß des Bindemittelgehaltes auf die Bruchlastwechselzahl abgeschätzt. Es stellte sich heraus, daß die Steigungsmaße dN/dB bei den Asphaltbetonvarianten mit dem harten und dem mittelharten Bitumen in hohem Maße von der Temperatur und in weniger starkem Maße auch vom Füllergehalt abhängen. Bei den Asphaltbetonen 0/11 mit dem weichen Bitumen B 200 als Bindemittel kehrt sich bei tieferen Temperaturen und mittleren beziehungsweise geringen Füllergehalten der Trend teilweise sogar um, was bedeutet, daß die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel mit zunehmendem Bindemittelgehalt auch geringer werden kann. Es ist also bedauerlicherweise nicht möglich, den Einfluß des Bindemittelgehaltes auf die berechnete Anzahl der ertragbaren Lastwechsel durch eine einzige Maßzahl zu beschreiben, da zu starke Wechselwirkungen zur Temperatur, zur Härte des Bitumens und zum Füllergehalt bestehen.

Die Anzahl N der ertragbaren Lastwechsel bis zum Bruch nimmt - von Ausnahmen abgesehen - mit steigendem Füllergehalt zu.

Dieses wird durch die positiven Koeffizienten a_1 des Füllergehaltes bei den Approximationen mittels Gleichung (22) bestätigt.

Um für Asphaltbetone 0/11 mit gleichen Gehalten an gleich hartem Bitumen angeben zu können, wie sich die berechnete Anzahl N der ertragbaren Lastwechsel mit dem Füllergehalt ändert, wurden wiederum (rein formal) die Differentialquotienten dN/dF als Steigungsmaße berechnet. Auch hier zeigt sich, daß der Einfluß des Füllergehaltes auf die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel sowohl von der Temperatur als auch von der Bindemittelsorte sowie dem Bindemittelgehalt bestimmt wird. Der besagte Einfluß läßt sich also leider ebenfalls nicht über eine einzige Maßzahl beschreiben.