



# SCHRIFTENREIHE

Institut für Straßenwesen

Technische Universität Braunschweig

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

# STRASSENWESEN

**Manfred Hase**

**Zur Zugviskosität  
von Asphalten bei hohen  
und tiefen Temperaturen**

Heft 11

Braunschweig, 1991

# Zur Zugviskosität von Asphalten bei hohen und tiefen Temperaturen

	Seite	
1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2	Behandlung des Problems in der Literatur	4
2.1	Viskosität	4
2.1.1	Meßmethoden zur Bestimmung der Viskosität	11
2.1.1.1	Kapillarviskosimeter	14
2.1.1.2	Rotationsviskosimeter	17
2.1.1.3	Falkkörperviskosimeter	20
2.1.1.4	Dynamische Viskosimeter	20
2.1.1.5	Zur Bestimmung der Viskosität bituminöser Bindemittel eingesetzte Viskosimeter	21
2.2	Rheologie	28
2.2.1	Rheologische Modelle	28
2.2.1.1	Rheologische Modelle für Asphalte	37
3	Bestimmung der Zugviskosität von Asphalten	43
3.1	Retardationsversuch	43
3.1.1	Lösungsansätze zur Bestimmung der Zugviskosität von Asphalten aus einer Zeit-Verformungs-Kurve	43
3.1.1.1	Linearer Ansatz	45
3.1.1.2	Das Burgers-Modell	46
3.1.2	Beschreibung der Prüfeinrichtung	47
3.1.3	Programm zum Retardationsversuch	48
3.2	Relaxationsversuch	51
4	Experimentelle Bestimmung der Zugviskosität von Gußasphalten mit Hilfe des Retardationsversuchs	52
4.1	Untersuchungsmethodik	53
4.1.1	Zusammensetzung und Eigenschaften der Gußasphaltgemische	54
4.1.1.1	Bindemittel	54
4.1.1.2	Mineralstoffe	54
4.1.2	Herstellung der Gußasphaltprobekörper	56
4.1.3	Statistische Auswerteverfahren	57
4.1.3.1	Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation	57
4.1.3.2	Regressionsanalysen	59
4.2	Versuchsdurchführung und Ergebnisse	59

	Seite	
4.3	Auswertung und Interpretation der Retardationsversuche	61
4.3.1	Auswertung der Ergebnisse mit Hilfe des linearen Ansatzes	62
4.3.1.1	Einfluß kompositioneller Merkmale	62
4.3.1.2	Einfluß der Temperatur	83
4.3.1.3	Einfluß der Spannung	89
4.3.1.4	Empirischer Lösungsansatz zur Berücksichtigung der Temperatur- und Spannungsabhängigkeit der Zugviskosität	95
4.3.2	Auswertung der Ergebnisse mit Hilfe des Ansatzes nach Burgers	101
4.3.2.1	Einfluß kompositioneller Merkmale	101
4.3.2.2	Einfluß der Temperatur	125
4.3.2.3	Einfluß der Spannung	134
4.3.2.4	Empirischer Lösungsansatz zur Berücksichtigung der Temperatur- und Spannungsabhängigkeit der Zugviskosität	143
4.4	Vergleich der Lösungen	152
5	Ergebnisse von Relaxationsversuchen	160
5.1	Zusammenhang zwischen den Ergebnissen von Retardations- und Relaxationsversuchen	161
5.1.1	Theoretische Zusammenhänge	161
5.1.2	Experimentelle Zusammenhänge	163
6	Folgerungen	172
7	Zusammenfassung	175
8	Literatur	178
Anhang 1	Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation	
Anhang 2	Regressionsanalysen	
Anhang 2.1	Einfache lineare Regressionsanalyse	
Anhang 2.2	Multiple lineare Regressionsanalyse	
Anhang 3	Abbildungen	
Anhang 4	Tabellen	

## 7 Zusammenfassung

Das mechanische Verhalten von Asphalten wird in erster Linie durch das temperaturabhängige Fließverhalten des eingesetzten Bindemittels bestimmt. Asphalte reagieren daher unter einer Zugbeanspruchung im höheren bis mittleren Temperaturbereich elasto-viskos bis visko-elastisch, bei sehr tiefen Temperaturen rein-elastisch.

Zur Beurteilung und Bewertung des mechanischen Verhaltens von Asphalten bei hohen und tiefen Temperaturen ist als eine wichtige physikalische Kenngröße deren Zugviskosität von großem Interesse. Sie bestimmt unter anderem das Relaxationsvermögen und damit die Entstehung kryogener Zugspannungen in Asphalten bei deren Abkühlung. Ihre Kenntnis ist eine unverzichtbare Voraussetzung für die quantitative Abschätzung der Zwängungsspannungen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher ein Prüfverfahren entwickelt, mit dem die Zugviskosität von Asphalten sowohl bei hohen als auch bei tiefen Temperaturen unter Anwendung zweier verschiedener Auswerteverfahren - linearer Ansatz und Ansatz nach Burgers - bestimmt werden kann. Die experimentelle Bestimmung der Zugviskosität mit Hilfe des Retardationsversuches wurde an verschiedenen im Laboratorium hergestellten Gußasphalten für Brücken vorgenommen. Ziel war es, den Einfluß kompositioneller Maßnahmen wie Bindemittelsorte, Bindemittelgehalt und Füllergehalt auf die Zugviskosität von Gußasphalten für Brücken systematisch zu untersuchen. Hierzu wurden Retardationsversuche bei vier verschiedenen Temperaturen -  $T = + 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T = + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T = - 10 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $T = - 25 \text{ }^\circ\text{C}$  - durchgeführt.

Die aus Retardationsversuchen ermittelten Zeit-Dehnungs-Kurven wurden mit zwei Verfahren zur Bestimmung der Zugviskosität von Asphalten getrennt ausgewertet und interpretiert. Durch einen Vergleich der Lösungen wurden zwar kleinere Unterschiede in der Größe der gemessenen Zugviskositäten  $\lambda$  und  $\lambda_1$  aufgedeckt, doch konnten durch die statistische Auswertung der Versuchsergebnisse keine prinzipiellen Unterschiede festgestellt werden.

Die unter Anwendung rheologischer Modelle und multivariater Verfahren der mathematischen Statistik ausgewerteten Versuchsergebnisse können somit wie folgt zusammengefaßt werden:

- Die Zugviskositäten sind in hohem Maße temperaturabhängig. Bei einer Absenkung der Prüftemperatur um jeweils 15 °C steigen die Zugviskositäten durchschnittlich um den Faktor 10 oder mehr an.
- Für die Temperaturstufen von  $T = + 20$ ,  $+ 5$  und  $- 10$  °C kann ein dominanter Einfluß der Bindemittelsorte auf die festgestellten Zugviskositäten konstatiert werden. Dieser Einfluß ist durch hohe Varianzanteile gekennzeichnet. Auffällig sind neben den geringen Varianzanteilen für die Reststreuungen auch die geringen Varianzanteile für die Wechselwirkungen. Bei sehr tiefen Temperaturen ( $T = - 25$  °C) nimmt der Einfluß kompositioneller Merkmale auf die Zugviskositäten merklich ab.
- Während bei höheren Temperaturen die Zugviskositäten wegen der größer werdenden Mörtelviskosität mit zunehmendem Füllergehalt ansteigen, nimmt der Einfluß des Füllergehaltes auf die Zugviskositäten mit tiefer werdenden Temperaturen langsam ab, um bei einer Versuchstemperatur von  $T = - 25$  °C schon in das Gegenteil umzuschlagen. Hier ist also der Einfluß des Füllervolumens gegenüber dem Einfluß seiner versteifenden Wirkung dominant.
- Unabhängig von der Versuchstemperatur bewirkt ein größerer Bindemittelgehalt die Entstehung geringerer Zugviskositäten und begünstigt damit das Relaxationsverhalten des Gußasphaltes.
- Bei einer Bewertung des Einflusses der Viskosität des Bindemittels und seiner Temperaturempfindlichkeit zeigt sich, daß durch den Einsatz härterer Bindemittel sowohl bei hohen als auch bei tiefen Temperaturen die Werte der Zugviskositäten erheblich größer werden, das heißt, daß damit das Relaxationsvermögen des Gußasphaltes ungünstig beeinflusst wird. Die Relaxationsfähigkeit kann aber bei tiefen Temperaturen durch den Einsatz weniger temperaturempfindlicher Bitumen verbessert werden.

Bei der Durchführung der Retardationsversuche konnte beobachtet werden, daß die Zugviskosität nicht nur von der Temperatur  $T$ , sondern auch von der im Versuch aufgebrachten einaxialen Zugspannung  $\sigma$  abhängig ist. Durch Vorgabe unterschiedlicher, stufenweise konstanter einaxialer Zugspannungen  $\sigma$  wurde festgestellt, daß mit kleiner werdender Zugspannung  $\sigma$  die Werte der Zugviskositäten überproportional anstiegen. Es konnte eine Exponentialfunktion gefunden werden, mit der sich der mathematische Zusammenhang zwischen der gemessenen Zugviskosität und der gewählten einaxialen Zugspannung  $\sigma$  sehr gut beschreiben läßt.

Aufgrund des gefundenen mathematischen Zusammenhangs zwischen den Zugviskositäten einerseits und der im Retardationsversuch aufgebrachten einaxialen Zugspannung  $\sigma$  andererseits konnte ein empirischer Lösungsansatz zur Berücksichtigung der Temperatur- und Spannungsabhängigkeit der Zugviskosität durch Kombination einer Exponential- und einer Hyperbelfunktion erarbeitet werden. Mit Hilfe dieses empirischen Lösungsansatzes kann die Zugviskosität als echte Stoffkenngröße für Asphalte angegeben werden, die letztlich nur von der Temperatur  $T$  und der Spannung  $\sigma$  abhängig ist.

Für Untersuchungen von Zusammenhängen zwischen den Ergebnissen von Retardations- und Relaxationsversuchen wurde auch für den Lastfall Relaxation eine mathematische Gleichung auf der Grundlage des Burgers-Modells angegeben, mit der sich die Spannungsabnahme in Abhängigkeit von der Zeit (Spannungsrelaxation) näherungsweise beschreiben läßt.

Beim Vergleich theoretisch errechneter und experimentell ermittelter Relaxationszeiten  $t_R$  wurde festgestellt, daß auch die Relaxationszeiten  $t_R$  nicht nur von der Temperatur  $T$ , sondern auch von der im Relaxationsversuch aufgebrachten Anfangsspannung  $\sigma_0$  abhängen.

Da es sich beim Retardationsversuch um einen relativ einfachen Versuchstyp handelt, wurde vorgeschlagen, Retardationsversuche künftig routinemäßig in Laboratorien durchzuführen, um anhand der Zugviskosität von Asphalten bei hohen und tiefen Temperaturen das mechanische Verhalten von Asphalten objektiv beschreiben und beurteilen zu können.