



# ISBS

Institut für Straßenwesen

Stephan Büchler

---

## **Rheologisches Modell zur Beschreibung des Kälteverhaltens von Asphalten**

2010



Heft 24  
Braunschweig 2010  
ISBN 3-932164-12-1

## Kurzfassung

Eine der wesentlichen Baustoffeigenschaften, welche das Gebrauchsverhalten und die Nutzungsdauer von Asphaltstraßen beeinflusst, ist das Kälteverhalten. Die Ansprache des Kälteverhaltens von Asphalt erfolgt zurzeit gemäß Europäischer Normen anhand der statischen Prüfverfahren Abkühlversuch, Zugversuch (auch zyklisch-dynamisch möglich), Relaxationsversuch und Retardationsversuch. Eine rheologische Auswertung erfolgt meist nur für den Retardationsversuch unter Heranziehung des Burgers-Modells.

Für die vorliegende Arbeit wurden an einem Asphaltbeton AC 11 statische Prüfungen an allen genannten Prüfverfahren unter Variation der Prüfbedingungen, u. A. Prüftemperatur und Zugspannung, durchgeführt. Basierend auf den Retardationsversuchen dieses Datenkollektivs wurden für jeden Versuch die Parameter des Burgers-Modells ermittelt und funktionale Zusammenhänge erstellt (Basis-Modell). An charakteristischen Beispielen wurde gezeigt, dass eine Anwendung des Basis-Modells auf die anderen Prüfverfahren keine zufriedenstellenden Anpassungen ergeben. Daher wurde das Basis-Modell modifiziert, und die Veränderung der einzelnen Burgers-Parameter als Folge der Material-Schädigung interpretiert.

Für die Retardationsversuche wurde festgestellt, dass die Viskosität des singulären Dämpfers des Burgers-Modells exponentiell verringert werden muss, um einen exponentiellen Dehnungszuwachs zu beschreiben. Die Reduzierung der Viskosität wird als Schädigung interpretiert.

Beim Relaxationsversuch wird eine Schädigung des singulären Dämpfers sowie – mit sinkender Prüftemperatur – eine Schädigung der singulären Feder beim Versuchsstart festgestellt.

Während des Zugversuchs erzeugt die singuläre Feder die Spannungszunahme, bis gegen Versuchsende der singuläre Dämpfer, aufgrund einer Schädigung, einen Spannungsabfall (Dehnungszunahme) bis zum Bruch des Probekörpers bewirkt.

Im Abkühlversuch erzeugt im Wesentlichen die singuläre Feder die Spannungszunahme, bis sie gegen Ende des Versuchs so stark geschädigt wird, dass sie zum Versagen des Probekörpers führt. Der singuläre Dämpfer kann vollständig entfallen.

Zusammenfassend konnten die wesentlichen rheologischen Mechanismen, welche während der statischen Prüfverfahren auf die Asphalt-Probekörper einwirken, erkannt und mathematisch beschrieben werden.

## Abstract

The service life of an asphalt pavement is essentially influenced by its low temperature behavior. Four test methods are described in the European standard EN 12697-46 for assessing the low temperature behavior:

- Thermal Stress Restrained Specimen Test (TSRST),
- Uniaxial Tension Stress Test (UTST),
- Tensile Creep Test (TCT) and
- Relaxation Test (RT).

In this study, static low temperature tests are performed on asphalt concrete AC 11, under variation of the test conditions such as test temperature, stress, temperature decrease and strain velocity. The essential rheological mechanisms are presented relating to low temperature behavior of asphalt mixtures in static low temperature tests.

Based on the results of the TCT, the parameters of the Burgers model are calculated and mathematically described in function of temperature and stress by the basic model. The basic model is then used to describe the behavior assessed by the test methods TSRST, UTST and RT. In order to get the optimum fit, the parameters of the basic model (= burgers model) are modified. The modification of the parameters is interpreted by material damage.

For the TCT the viscosity of the singular damper of the burgers model is decreased in order to explain exponential increase in strain, which is not described by the basic model.

By means of RT-analysis , it is found, that the singular damper and – increasing with decreasing test temperatures – the singular spring show a damage effect at the moment of the beginning of the test.

In UTST the singular spring generates an increase in stress. Before the specimen fails, the strain increases and the singular damper is damaged exponentially.

In TSRST the singular spring generates an increase in stress, until it is damaged and the specimen fails. The singular damper can be neglected for stress calculation.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>6</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Einleitung und Problemstellung .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Untersuchungsmethodik und Datenbasis.....</b>	<b>12</b>
2.1 Zusammensetzung des Asphaltes und Herstellung der Probekörper .....	12
2.2 Prüfeinrichtungen, Prüfverfahren und Datenbasis .....	13
2.2.1 Prüfeinrichtung.....	14
2.2.2 Retardationsversuche (Zugkriechversuch).....	15
2.2.3 Relaxationsversuche.....	20
2.2.4 Zugversuche .....	26
2.2.5 Abkühlversuche.....	36
<b>3 Rheologische Modelle.....</b>	<b>38</b>
3.1 Einfache Elemente der Rheologie .....	38
3.2 Allgemeine Modelle der Rheologie .....	39
3.2.1 Maxwell-Modell.....	40
3.2.2 Voigt-Kelvin-Modell.....	41
3.2.3 Burgers-Modell .....	42
3.3 Spezielle rheologische Modelle .....	44
3.3.1 Retardationsversuche .....	44
3.3.2 Relaxationsversuche.....	49
3.3.3 Zugversuche .....	50
3.3.4 Abkühlversuche.....	50
3.3.5 Modelle für Druck-Kriechversuche .....	55
<b>4 Anwendung des Burgers-Modells auf die Prüfverfahren und Modifikation.....</b>	<b>56</b>
4.1 Diskrete Berechnungsmethodik .....	57
4.2 Einfluss des Kraftaufnehmers .....	59
4.3 Programm zur Berechnung der Modifikationen.....	61
4.4 Anwendung des Burgers-Modells mit konstanten Parametern .....	64
4.4.1 Anwendung des Burgers-Modells auf den Retardationsversuch .....	64
4.4.2 Anwendung des Burgers-Modells auf den Relaxationsversuch.....	66
4.4.3 Anwendung des Burgers-Modells auf den Zugversuch.....	68
4.4.4 Anwendung des Burgers-Modells auf den Abkühlversuch.....	70
4.5 Erstellen und Anwendung des Basis-Modells.....	72

4.5.1 Einfluss von Temperatur und Spannung auf die Burgers-Parameter.....	72
4.5.2 Anwendung des Basis-Modells auf den Retardationsversuch .....	78
4.5.3 Anwendung des Basis-Modells auf den Relaxationsversuch.....	79
4.5.4 Anwendung des Basis-Modells auf den Zugversuch .....	80
4.5.5 Anwendung des Basis-Modells auf den Abkühlversuch.....	80
<b>4.6 Modifikation des Basis-Modells und dessen Anwendung .....</b>	<b>81</b>
4.6.1 Modifikation der Burgers-Parameter beim Retardationsversuch.....	84
4.6.2 Modifikation der Burgers-Parameter beim Relaxationsversuch .....	86
4.6.3 Modifikation der Burgers-Parameter beim Zugversuch.....	87
4.6.4 Modifikation der Burgers-Parameter beim Abkühlversuch.....	89
4.6.5 Zusammenfassung: Modifikation der Parameter des Basis-Modells .....	91
<b>5 Anwendung des modifizierten Basis-Modells auf die Prüfverfahren.....</b>	<b>93</b>
5.1 Retardationsversuche .....	93
5.1.1 Modifikation des Burgers-Parameter $\lambda_1$ .....	93
5.1.2 Modifikation aller Burgers-Parameter .....	95
5.1.3 Reduzierung der Koeffizienten .....	98
5.1.4 Interpretation der Koeffizienten .....	103
5.2 Relaxationsversuche.....	111
5.2.1 Modifikation der Burgers-Parameter: Startspannung .....	112
5.2.2 Modifikation der Spannung in Abhängigkeit von der Startspannung.....	116
5.2.3 Modifikation der Burgers-Parameter: Spannung, linear .....	116
5.2.4 Modifikation der Burgers-Parameter: Spannung, exponentiell.....	118
5.2.5 Reduzierung der Koeffizienten .....	121
5.2.6 Interpretation der Koeffizienten .....	124
5.3 Zugversuche .....	134
5.3.1 Modifikation aller Burgers-Parameter .....	134
5.3.2 Reduzierung der Koeffizienten .....	135
5.3.3 Interpretation der Koeffizienten .....	140
5.4 Abkühlversuche.....	152
5.4.1 Modifikation aller Burgers-Parameter .....	152
5.4.2 Reduzierung der Koeffizienten .....	152
5.4.3 Interpretation der Koeffizienten .....	155
<b>6 Zusammenfassung.....</b>	<b>161</b>
<b>7 Literatur.....</b>	<b>169</b>
<b>8 Verwendete Formelzeichen .....</b>	<b>172</b>