



# SCHRIFTENREIHE

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

# STRASSENWESEN

**Ulf Zander**

**Einfluß von Luftdruck-  
schwankungen in Asphaltblasen  
auf den Verformungswiderstand  
frisch verlegter Asphaltbeton-  
deckschichten**

Heft 20  
Braunschweig, 2004

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	3
Tabellenverzeichnis .....	5
1 Einführung und Problemstellung .....	8
2 Behandlung des Themas in der Literatur .....	11
2.1 Strukturbildungsprozesse im Bitumen	11
2.2 Änderungen des Hohlraumvolumens infolge Temperaturänderungen	17
3 Untersuchungsmethodik .....	21
3.1 Versuchsvorbereitungen	23
3.1.1 Zusammensetzung und Eigenschaften des Asphaltgemischs	23
3.1.2. Probekörperherstellung und Probenvorbehandlung	25
3.2 Modalitäten der Temperierung	27
3.2.1 Grundlagen nach Bossemeyer	28
3.2.2 Vorgaben für die Temperierung im Wärme-Kälte-Schrank	33
3.3 Der dynamische Stempelindringversuch	42
3.3.1 Erfassung der Prüfergebnisse	45
4 Untersuchungsergebnisse .....	48
4.1 Relative Stempelindringtiefen in Abhängigkeit von der Abkühlgeschwindigkeit	48
4.2 Relative Stempelindringtiefen in Abhängigkeit von den Expositionsbedingungen	54
5 Auswertung der Versuchsergebnisse .....	65
5.1 Grundlagen der Druckberechnungen	68
5.2 Änderung des Blasenvolumens infolge thermischer Volumenänderung von Mineralstoffen und Bitumen	70
5.3 Luftdruckschwankungen infolge von Veränderungen des Blasenvolumens im Asphalt	73

5.4	Ergebnisse der Berechnungen von Luftdruckschwankungen infolge von Veränderungen des Blasenvolumens im Asphalt	76
5.5	Auswertung der Ergebnisse zu den Luftdruckschwankungen infolge von Veränderungen des Blasenvolumens im Asphalt	81
5.5.1	Bestimmung der zusätzlichen Tragfähigkeitskomponente von Asphalt aufgrund des Luftdrucks innerhalb abgeschlossener Blasen	82
5.5.2	Bestimmung der zusätzlichen Asphaltsteifigkeit aufgrund des Luftdrucks innerhalb abgeschlossener Blasen	91
5.6	Wertung der Auswirkungen von Luftdruckschwankungen infolge von Veränderungen des Blasenvolumens im Asphalt	97
6	Zusammenfassung .....	103
7	Literatur .....	107

## 6 Zusammenfassung

Ausgangspunkt der in dieser Arbeit angegangenen Untersuchungen war die Beobachtung, daß eine vorzeitige Freigabe frisch verlegter und noch in der Abkühlphase befindlicher Asphaltdeckschichten für den Verkehr zur Entstehung bleibender Verformungen in Form von Spurrinnen bereits nach kurzer Nutzungsdauer führen kann. An Asphaltdeckschichten, die über einen längeren Zeitraum – beispielsweise über Nacht – auskühlen konnten, war dieses Phänomen in aller Regel nicht beobachtet worden.

Um nachzuweisen, daß dieser aus der Praxis bekannte Erfahrungshintergrund physikalisch oder chemisch begründbar ist, wurde der Verformungswiderstand einer Asphaltdeckschichtvariante aus einem Asphaltbeton 0/11 L in Abhängigkeit von unterschiedlichen Temperierungen mittels dynamischer Stempeleindringversuche prüftechnisch angesprochen. Dabei wurde zum einen untersucht, wie sich die Abkühlgeschwindigkeit des Asphalts direkt nach dessen Einbau und Verdichtung bis zu drei Prüftemperaturen auf seinen Verformungswiderstand auswirkt, zum anderen wurde der Einfluß einer der Abkühlung auf eine niedrige Temperatur nachgeschalteten unterschiedlich langen Ruhephase mit anschließender Wiedererwärmung auf die selben Prüftemperaturen auf die im dynamischen Stempeleindringversuch ermittelten Ergebnisse erfaßt. Im einzelnen wurden

- die dynamischen Stempeleindringtiefen bei den drei Prüftemperaturen  $T_{Pr} = + 55 \text{ °C}$ ,  $T_{Pr} = + 40 \text{ °C}$  und  $T_{Pr} = + 25 \text{ °C}$  angesprochen,
- die Abkühlgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der in situ vorherrschenden Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit in langsam und schnell differenziert,
- die Expositionstemperatur mit  $T_{Ex} = + 25 \text{ °C}$  und  $T_{Ex} = + 10 \text{ °C}$  zweifach variiert
- sowie die Expositionsdauer in drei Größenordnungen – nämlich  $t_{Ex} = 2 \text{ h}$ ,  $t_{Ex} = 16 \text{ h}$  und  $t_{Ex} = 40 \text{ h}$  – gewählt.

Anhand dieser Untersuchungen, die eine sehr sorgfältige Überwachung der Temperierungen erforderten, konnte nachgewiesen werden, daß

- der in den dynamischen Stempfeindringtiefen ausgewiesene Verformungswiderstand des untersuchten Asphaltbetons 0/11 L erwartungsgemäß mit fallenden Temperaturen zunimmt,
- eine langsamere Abkühlung sich im Vergleich mit der schnelleren Abkühlung vorteilhaft auf die relativen Stempfeindringtiefen – also auf den Verformungswiderstand – auswirkt. Bei langsamer Abkühlung wurden bei dem Asphaltbeton 0/11 L durchschnittlich um rund 20 % (relativ) geringere relative Stempfeindringtiefen beobachtet (siehe Tabelle 4.1),
- entgegen der Erwartung die Expositionstemperatur so gut wie keinen Einfluß auf den Verformungswiderstand des untersuchten Asphaltbetons 0/11 L ausübt und
- eine Erhöhung der Expositionsdauer von  $t_{Ex} = 2$  h auf  $t_{Ex} = 16$  h zu einer Verringerung der relativen Stempfeindringtiefen um rund 27,5 % (relativ; siehe Tabelle 4.4) führt.

Hinsichtlich der anfänglich aufgeworfenen Fragestellung kann zusammenfassend aus den Untersuchungsergebnissen der dynamischen Stempfeindringversuche geschlossen werden, daß durch eine – in der Praxis leider nicht beeinflussbare – langsame Abkühlung und besonders eine Ruhepause von mindestens sechzehn Stunden nach Einbau und Verdichtung dem Auftreten vorzeitiger Verformungen in 4,5 cm dicken Asphaltdeckschichten AB 0/11L wirkungsvoll begegnet werden kann.

Bei den in [21] durchgeführten Viskositätsmessungen an unterschiedlichen Bitumen in Abhängigkeit von der Ansteuerrichtung der Prüftemperatur ist festgestellt worden, daß sich die Viskosität des Bitumens bei einer Differenz zwischen der Expositionstemperatur und der Prüftemperatur von 40 K um etwa 11 bis 12 % (relativ) ändert. Dabei werden niedrigere Viskositäten gemessen, wenn die Prüftemperatur von einer höheren Expositionstemperatur aus angesteuert wird, und umgekehrt.

Die Ergebnisse der dynamischen Stempfeindringversuche am Asphaltbeton 0/11 L wurden nach einer schnellen Abkühlung von  $T_0 = +105$  °C auf  $T_{Pr} = +55$  °C über eine Temperaturdifferenz von  $\Delta T = 50$  K (siehe Tabelle 5.1, Spalte  $t_{Ex} = 0$  h), die nach einer schnellen Wiedererwärmung von  $T_{Ex} = +10$  °C auf  $T_{Pr} = +55$  °C über eine Tem-

peraturdifferenz von  $\Delta T = 45 \text{ K}$  (Tabelle 5.1, sieh Spalte  $t_{\text{Ex}} = 40 \text{ h}$ ) ermittelt und weisen bei einer Expositionsdauer von  $t_{\text{Ex}} = 40 \text{ h}$  eine Differenz der relativen dynamischen Stempel Eindringtiefen von rund 30 % (relativ) auf. Stellt man die unterschiedlichen Temperaturdifferenzen in Rechnung, so ist abzuschätzen, daß der Einfluß der Temperierrichtung auf die Größe der dynamischen Stempel Eindringtiefen rund 24% (relativ) beträgt. Allerdings ist in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt, daß die Ausgangstemperatur  $T_0$  nur über eine kurze Zeit, die Expositionstemperatur  $T_{\text{Ex}}$  jedoch über 40 Stunden beibehalten wurde und daß die Abkühlung ( $\Delta T = 50 \text{ K}$  in 20 Minuten;  $\dot{T} = 2,5 \text{ K/min}$ ) aufgrund technischer Grenzen des Wärmeschranks erheblich schneller als die Wiedererwärmung ( $\Delta T = 45 \text{ K}$  in 24 Minuten;  $\dot{T} = 1,875 \text{ K/min}$ ) erfolgte. Ein Vergleich mit den Werten der langsamen Abkühlung um  $\Delta T = 50 \text{ K}$  bei  $\dot{T} = 1,43 \text{ K/min}$  reduziert den Einfluß auf rund 16,7 %.

Der Verformungswiderstand des Asphaltbetons 0/11 L ändert sich also in Abhängigkeit vom Temperaturregime in etwa derselben oder etwas höheren Größenordnung wie die Viskosität der Bitumen. Die von Fachleuten diskutierte Hypothese, die Druckverhältnisse in äußerlich abgeschlossenen Hohlräumen trügen in nennenswertem Umfang zur Entstehung bleibender Verformungen in der Abkühlphase von Asphalten bei, konnte deshalb nicht ungeprüft aufrecht erhalten werden.

Der These wurde anhand von Berechnungen auf der Grundlage thermodynamischer Gleichungen nachgegangen, wobei Luftdruckänderungen infolge Temperaturänderungen die Volumenänderungen des Gesteins und des Bindemittels getrennt betrachtet und deren Auswirkungen auf den in den abgeschlossenen Hohlräumen im Asphalt herrschenden Luftdruck berechnet wurden. Die ermittelten Blasendrucke in der Abkühl- und Wiedererwärmungsphase wurden bei verschiedenen Lagerungsarten der in Kugelform angenommenen Hohlräume als zusätzliche beziehungsweise in Abzug zu bringende Belastungsgröße auf den unter dem Belastungsstempel der Versuchsanlage befindlichen Asphaltkegelstumpf in Ansatz gebracht. Der Einfluß dieser Lastkomponente auf die Versuchsergebnisse wurde über das Verhältnis dieser Größe zum Belastungswert im dynamischen Stempel Eindringversuch abgeschätzt.

Auf einem zweiten Weg wurden die unterschiedlichen Druckverhältnisse in der Abkühl- und Wiedererwärmungsphase auf die Steifigkeit des Asphaltmaterials bei den drei Prüftemperaturen bezogen. Als Maß der Steifigkeit diente dabei der nach Francken und Verstraeten berechnete absolute Elastizitätsmodul. Die sich daraus ergebenden Dehnungen wurden mit denen verglichen, die im dynamischen Stempelpoleindringversuch prüftechnisch ermittelt wurden.

Die Ergebnisse dieser Abschätzungen zeigen, daß der Einfluß der Luftdruckschwankungen in den abgeschlossenen Hohlräumen des Asphalts in einer Größenordnung von maximal rund 0,82 % angenommen werden kann und damit nur sehr gering ist. Es kann somit davon ausgegangen werden, daß der Verformungswiderstand der Asphaltdeckschicht 0/11 L allein auf die Erhöhung der Viskosität des thixotropen Bitumens infolge Strukturbildung und nur zu einem als unbedeutend gering zu bezeichnenden Anteil auf Druckänderungen in äußerlich unzugänglichen Hohlräumen zurückzuführen ist.