

# Einfluss der Modifizierung von Bindemitteln durch Polymere und/oder Naturasphalt auf Standfestigkeit, Kälteverhalten und Verarbeitbarkeit von Gussasphalt

FA 7.185

Forschungsstelle: Technische Universität Braunschweig, Institut für Straßenwesen (Prof. Dr.-Ing. R. Leutner)  
 Bearbeiter: Lobach, T. / Büchler, S. / Hagner, T.  
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn  
 Abschluss: Juli 2002

## 1. Aufgabenstellung

In den Vorschriften und Richtlinien für die Herstellung von Asphalt gibt es zur Zeit als alleiniges genormtes Kriterium zur Bewertung der mechanischen Eigenschaften von Gussasphalt den in DIN 1996 Teil 13 angeführten statischen Stempelindringversuch. Die Ergebnisse einer Schweizer Ringanalyse [5] zeigen jedoch, dass die Qualität von Gussasphalten mit dem genannten Prüfverfahren nur unzureichend beurteilt werden kann. Mit Hilfe von dynamischen Prüfmethode können differenziertere Aussagen über die Standfestigkeit von Gussasphalten getroffen werden. Diese Erkenntnis belegt Schellenberg [6] anhand des Vergleichs von Spurbildungsversuchen, dynamischen und statischen Stempelindringversuchen sowie von der Decken [9] mittels dynamischen Stempelindring-, Druck-Schwell- und Spurbildungsversuchen sowie Triaxialversuchen.

In welchem Ausmaß die Zugabe von Trinidad-Epuré oder der Einsatz von polymermodifiziertem Bitumen die konkurrierenden Asphalteigenschaften Verformungsverhalten und Tieftemperaturverhalten beeinflussen können, wurde bisher nur isoliert behandelt. Umfassende systematische Untersuchungen hinsichtlich Standfestigkeit und Kälteverhalten existieren bislang nicht. Ebenso liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse über die Veränderung der mechanischen Eigenschaften von Gussasphalten nach langen Verweilzeiten vor.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, den Einfluss der Modifizierung von Bindemitteln durch Polymere und/oder Naturasphalt auf die Standfestigkeit, das Kälteverhalten und die Verarbeitbarkeit von Gussasphalt zu untersuchen.

## 2. Untersuchungsmethodik

Als Standardgemisch wurde in diesem Projekt ein standfester Gussasphalt 0/8 mit der Bindemittelkombination 30/45 + TE konzipiert und als Beurteilungskriterium für eine geeignete Zusammensetzung die statische Stempelindringtiefe von 2,0 mm bei  $T = 40\text{ °C}$  nach 30 Minuten Belastungsdauer festgelegt. Bei gleichbleibender Korngrößenverteilung und konstantem Bindemittelgehalt wurde das Bindemittel in den folgenden sechs Stufen variiert:

- 20/30,
- 30/45 + Trinidad-Epuré TE-Z 0/8,
- Caribit 45 (Deutsche Shell GmbH),
- Olexobit 45 (BP Deutschland GmbH),
- Olexobit 45 + Trinidad-Epuré TE-Z 0/8,
- Styrelf 1360 (Elf Bitumen Deutschland GmbH).

Die Dauer des Rührprozesses wurde in drei Stufen – 15, 30 und 180 Minuten – variiert (Untersuchungsblock 1). Nachdem insbe-

sondere bei der 180 Minuten-Variante eine erhebliche Bindemittelverhärtung festgestellt werden konnte, wurde zusätzlich zum vorgesehenen Untersuchungsprogramm ein zweiter Untersuchungsblock mit geänderten Verweilbedingungen – Erhöhung des Füllgrades des Mischkessels und Verringerung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Mischwerkzeuges – bearbeitet. In diesem zweiten Untersuchungsblock wurden die Bindemittelvarianten 30/45 + TE und Caribit 45 verwendet und die Verweilzeiten in drei Stufen – 15, 45 und 90 Minuten variiert (Untersuchungsblock 2).

Die Verarbeitbarkeit des Gussasphaltes sollte bereits während des Rührprozesses beurteilt werden. Nach Voruntersuchungen bzw. Probemischungen mit einem in DIN 1996 Teil 20 beschriebenen Gussasphaltmischer wurde auch nach längerer Mischzeit eine nur unzureichende Durchmischung festgestellt. Zusätzlich war es nicht möglich, an diesem Mischer die Leistungsaufnahme des Mischwerkzeuges zur indirekten Beurteilung der Verarbeitbarkeit zu messen, sodass ein Labormischer vom Typ GZM-30 der Firma Maschinen- und Gerätebau Freundl zur Herstellung der Gussasphalte zur Anwendung kam. In diesen Labormischer wurde ein Messsystem integriert, das mittels Drehmomentmessung des Rührarmes und des drehenden Kessels die direkte abgegebene mechanische Leistung erfassen und an einen angeschlossenen Computer übertragen konnte.

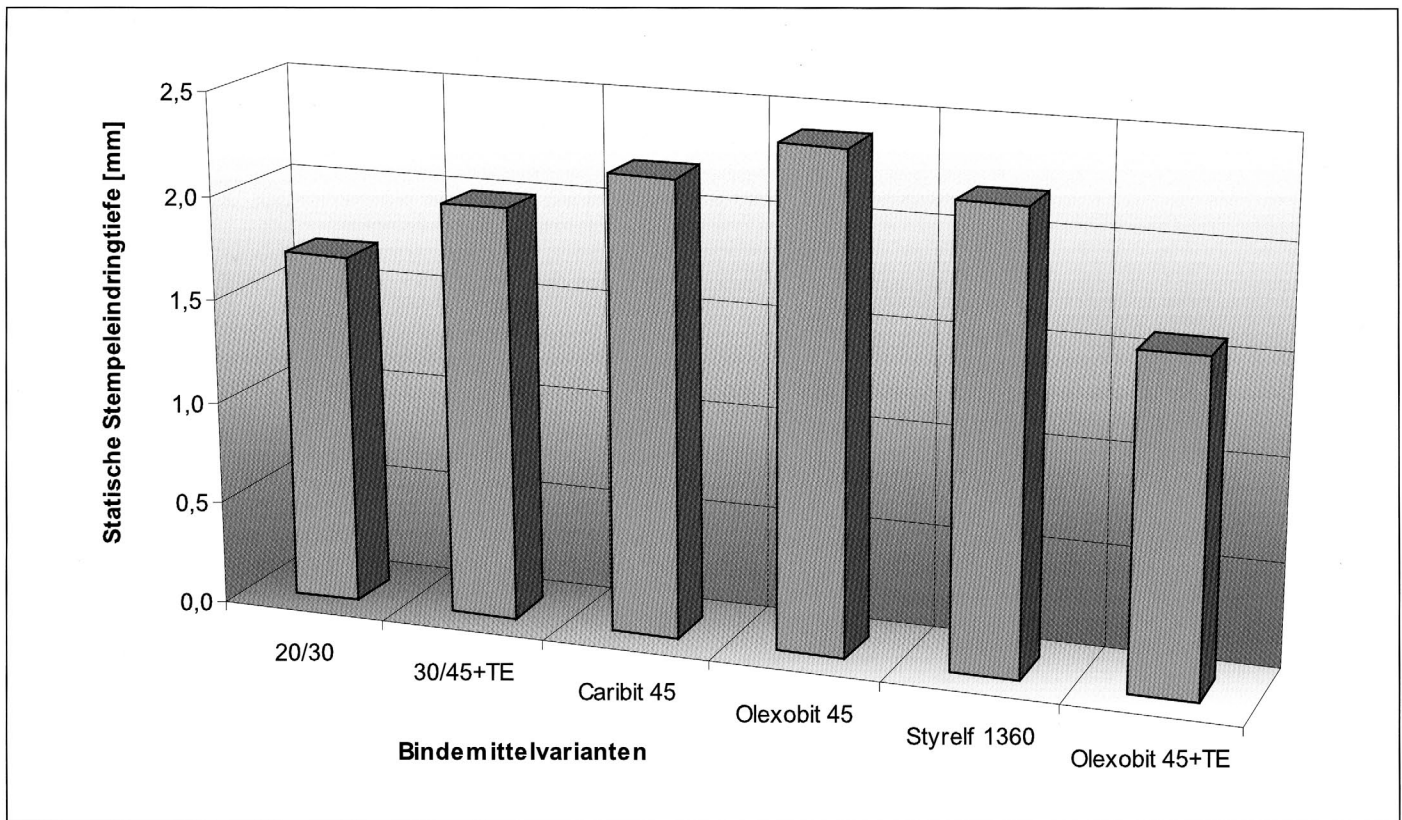
Aus dem hergestellten Gussasphaltmischgut wurden Probewürfel und Probeplatten geformt und eine Mischgutteilprobe zur Bestimmung der Bindemittelleigenschaften entnommen. An dem mittels Heißextraktion gemäß DIN 1996 Teil 6 rückgewonnenen Bindemittel wurden die Kennwerte

- Nadelpenetration bei  $T = 25\text{ °C}$  (DIN 52010),
- Erweichungspunkt Ring und Kugel (DIN 52011),
- Duktilität bei  $T = 25\text{ °C}$  (DIN 52013),
- Kraftduktilität bei  $T = 25\text{ °C}$  und
- Elastische Rückstellung bei  $T = 25\text{ °C}$  (DIN V 52021) bestimmt.

Die Verformungseigenschaften wurden mittels statischem Stempelindringversuch gemäß DIN 1996 Teil 13 bestimmt. Zusätzlich zu den in der Norm festgelegten Prüftemperaturen von  $T = 40\text{ °C}$  wurden die Gussasphaltvarianten bei den Temperaturen  $T = 50\text{ °C}$  und  $T = 60\text{ °C}$  geprüft. Als dynamischer Versuch zur Ansprache der Verformungseigenschaften wurde der Spurbildungsversuch in Anlehnung an die Technische Prüfvorschrift für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB Teil: Spurbildungsversuch; Bestimmung der Spurrinntiefe im Wasserbad) durchgeführt. In Abweichung der Prüfvorschrift kam das Gummirad zur Anwendung. Zusätzlich zu der in der Technischen Prüfvorschrift festgelegten Prüftemperatur von  $T = 50\text{ °C}$  wurde der Spurbildungsversuch bei einer Temperatur von  $T = 40\text{ °C}$ , bei den stark verhärteten Varianten nach 180 Minuten Mischzeit bei  $T = 60\text{ °C}$ , durchgeführt.

Zur Prognostizierung des Kälteverhaltens wurden sowohl Abkühlversuche als auch einaxiale Zugversuche durchgeführt. Als Ergebnis liefern die Abkühlversuche den Verlauf der thermisch induzierten (kryogenen) Zugspannungen  $\sigma_z(T)$  im Asphalt und die Bruchtemperaturen  $T_{br}$ , bei der das Versagen des auf konstanter Länge gehaltenen Probekörpers eintritt. Der Verlauf der kryogenen Zugspannungen wurde durch ein Polynom dritten Grades approximiert.

Die einaxialen Zugversuche liefern den Wert der Zugfestigkeit  $\beta_{z2}(T)$  bei den verwendeten Prüftemperaturen von  $T = +20\text{ °C}$ ,  $+5\text{ °C}$ ,  $-10\text{ °C}$  und  $-25\text{ °C}$ . Der Verlauf der Zugfestigkeiten über der Temperatur wurde mit Hilfe kubischer Splines approximiert.



1: Statische Stempelpenetrationstiefe der Gussasphalte 0/8 mit unterschiedlichen Bindemitteln (Eignungsprüfung) nach 30 Minuten Belastung

Tabelle zu Bild 1:

Variante	20/30	30/45+TE	Caribit 45	Olexobit 45	Styrelf 1360	Olexobit 45+TE	
30 min	1,7	2,0	2,2	2,4	2,2	1,6	mm
60 min	1,9	2,2	2,6	2,7	2,6	1,8	mm
30-60 min	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,2	mm

Die Differenz zwischen kryogener Zugspannung und Zugfestigkeit stellt die temperaturabhängige Zugfestigkeitsreserve dar, die zur Aufnahme von zusätzlichen Zugspannungen im Asphalt zur Verfügung steht.

### 3. Untersuchungsergebnisse

Die Erhöhung der Prüftemperatur der statischen Stempelpenetrationstiefen im Untersuchungsblock 1 hatte erwartungsgemäß eine höhere statische Stempelpenetrationstiefe zur Folge. Ebenfalls ist durch die höhere Temperatur eine erhöhte Streuung der Ergebnisse festzustellen. Bei den tieferen Prüftemperaturen erreichen einige Varianten annähernd gleiche statische Stempelpenetrationstiefen, während bei höheren Prüftemperaturen deutliche Unterschiede zu erkennen sind. Die untersuchten PmB-Varianten zeigen höhere statische Stempelpenetrationstiefen, als die mit Straßenbaubindemitteln hergestellten Varianten. Als Beispiel sind in Bild 2 die Werte der statischen Stempelpenetrationstiefen der Mischzeitvariante 30 Minuten dargestellt.

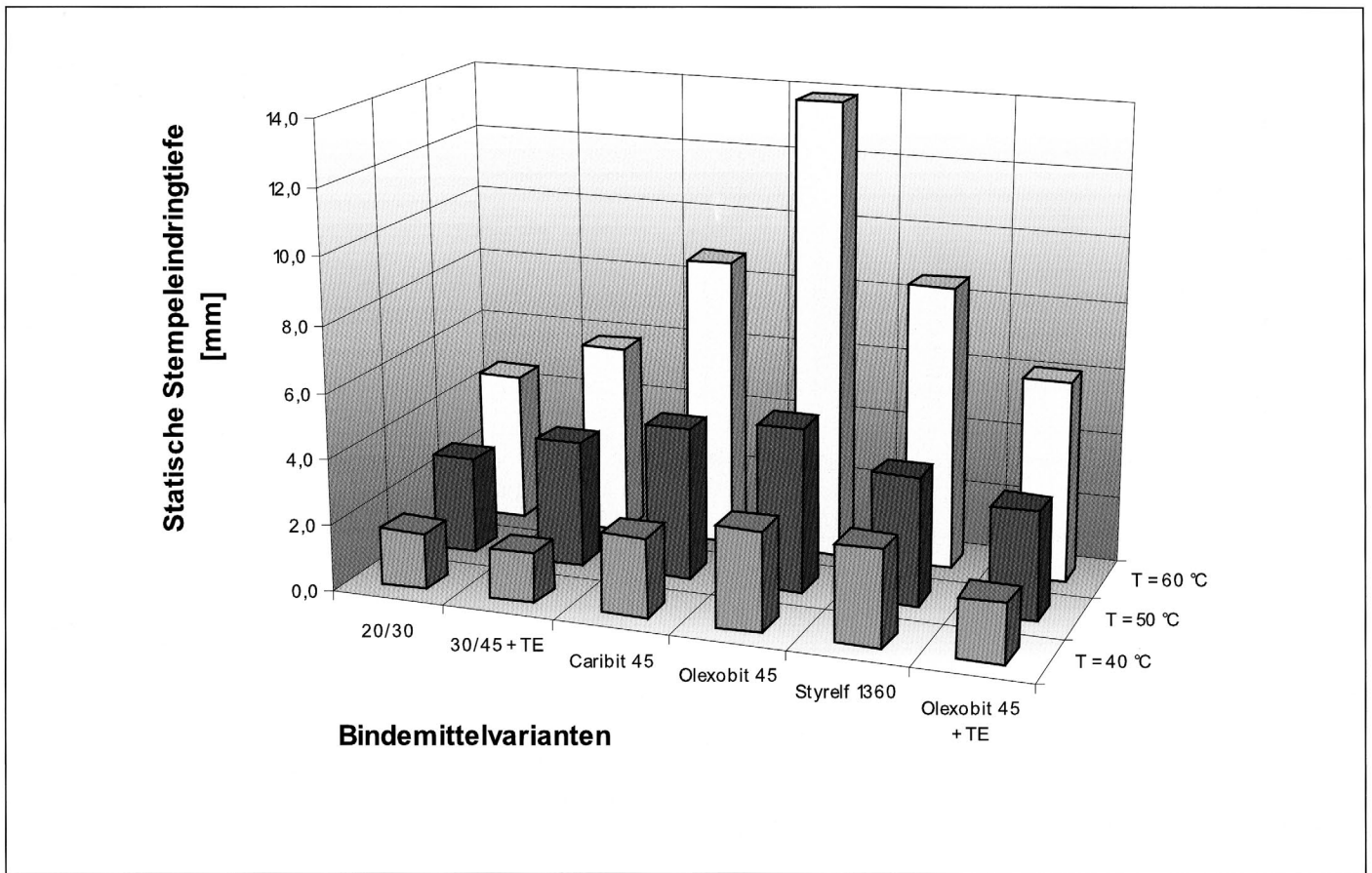
Die Ergebnisse der Spurbildungsversuche im 1. Untersuchungsblock zeigen ebenfalls eine deutliche Abhängigkeit von der Prüftemperatur. Die Mischgutvarianten mit polymermodifiziertem Bindemittel erreichen bei der Prüftemperatur  $T = 40\text{ °C}$  vergleichbare Spurtiefen, während bei  $T = 50\text{ °C}$  eine deutliche Differenzierung festzustellen ist. Dieses Verhalten wurde bei allen untersuchten Mischzeiten festgestellt. In Bild 3 sind beispielhaft die Ergebnisse der Spurbildungsversuche bei unterschiedlichen Prüftemperaturen nach 30 Minuten Mischzeit dargestellt.

Im Untersuchungsblock 2 zeigen die Ergebnisse der statischen Stempelpenetrationstiefe keine deutliche Abhängigkeit von der Verweilzeit. In Abweichung hierzu zeigen die Ergebnisse der Spurbildungsversuche aber eine deutliche Abhängigkeit. Bei längerer Verweilzeit verringern sich die Spurtiefen bei beiden Bindemittelvarianten (vgl. Bild 4 und 5).

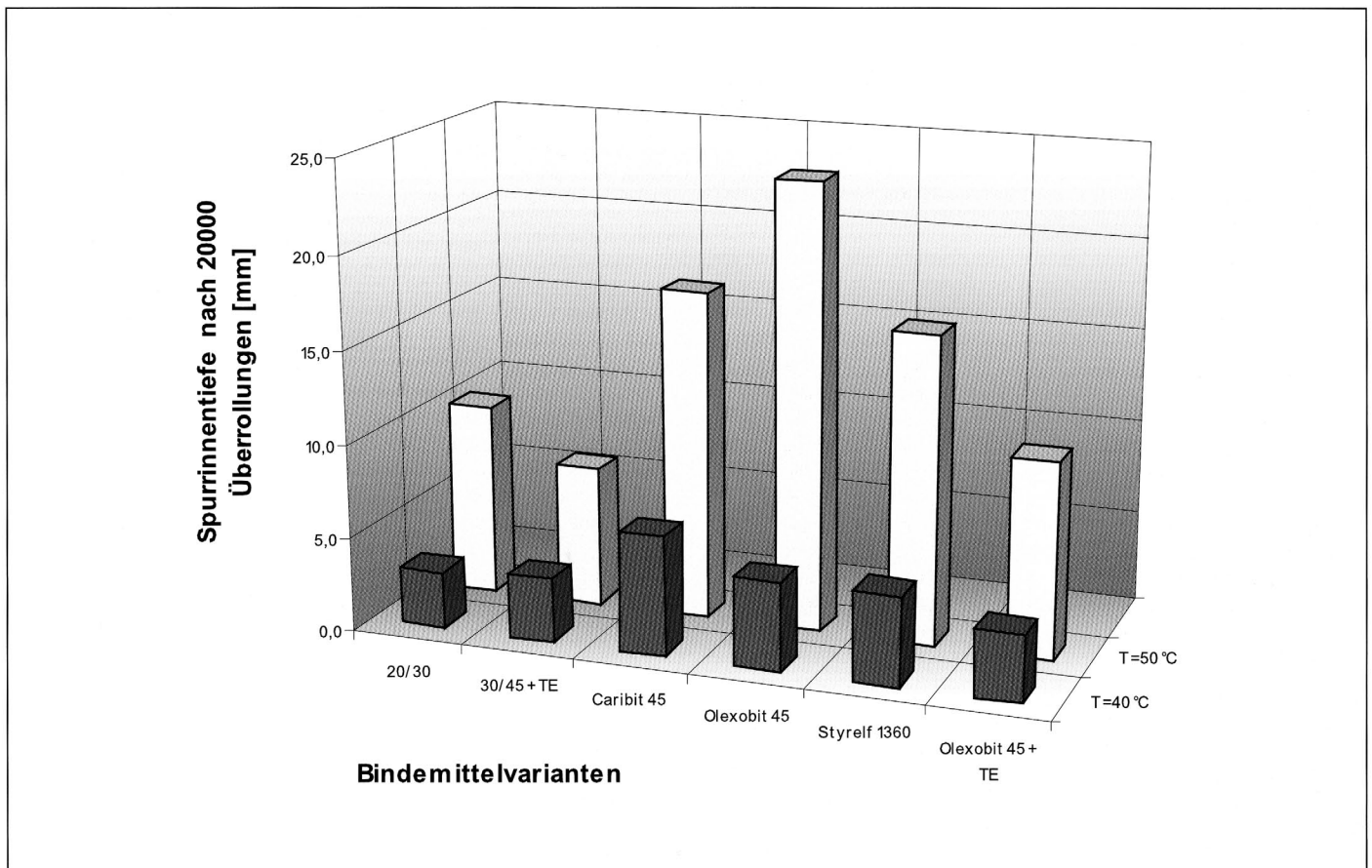
Im Bereich des Tieftemperaturverhaltens bauen die Mischgutvarianten mit polymermodifiziertem Bindemittel geringere kryogene Zugspannungen bei gleicher Temperatur auf, als die Varianten mit Straßenbaubindemittel bzw. mit TE modifiziertem Bindemittel. Alle Varianten mit polymermodifiziertem Bindemittel, einschließlich der Variante Olexobit 45 + TE, erreichen bei tieferen Temperaturen höhere Zugfestigkeiten. Tendenziell ist bei den Varianten mit polymermodifizierten Bindemitteln bei tiefen Temperaturen eine höhere Dehnung zu erkennen. Bei Betrachtung der Zugfestigkeitsreserve lässt sich feststellen, dass die Varianten mit den polymermodifizierten Bindemitteln einschließlich der Variante Olexobit 45 + TE ihr Maximum bei tieferen Temperaturen erreichen. Dieses Verhalten lässt sich nach allen untersuchten Mischzeiten feststellen. In Bild 6 sind die Verläufe der Zugfestigkeit, der kryogenen Zugspannungen sowie der Zugfestigkeitsreserven nach 30 Minuten Mischzeit dargestellt.

Im zweiten Untersuchungsblock lässt sich hinsichtlich des Kälteverhaltens feststellen, dass bei langen Verweilzeiten sowohl ein Abfallen der Zugfestigkeiten im tiefen Temperaturbereich, als auch der Aufbau höherer kryogener Zugspannungen bei gleicher Temperatur eintritt. Das Maximum der Zugfestigkeitsreserve verschiebt sich bei Zunahme der Verweilzeit von 45 auf 90 Minuten in Richtung höherer Temperatur. Auffällig ist, dass zwischen 15 und 45 Minuten Verweilzeit zunächst lediglich ein Anstieg des Maximums aber keine deutliche Verschiebung festzustellen ist.

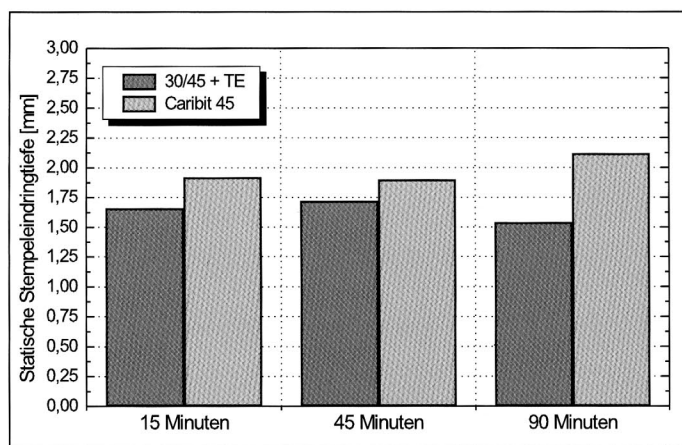
Die Verarbeitbarkeit des Gussasphaltes soll anhand der Leistungsaufnahme des Mixers indirekt bestimmt werden. Die Auswertung der Leistungsverläufe bei der 180 Minuten Mischung sind in Bild 7 dargestellt. Es ist hierbei eine deutliche Verringerung der Leistungsaufnahme zu Beginn der Mischzeit zu



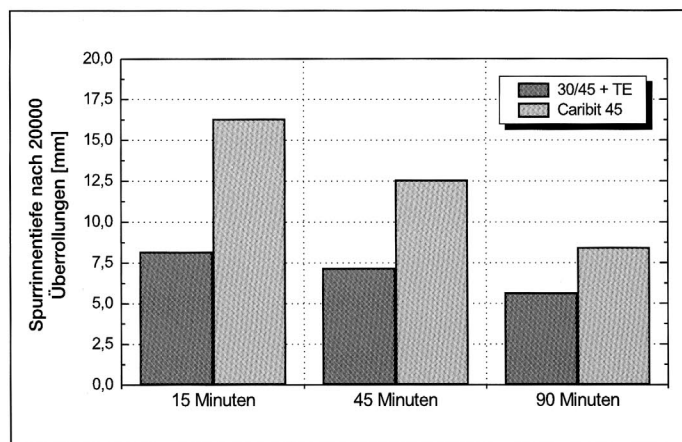
2: Mittelwerte der statischen Stempelindringversuche bei unterschiedlichen Prüftemperaturen; Mischzeitvariante 30 Minuten; Untersuchungsblock 1



3: Mittelwerte der Spurrinentiefe bei unterschiedlichen Prüftemperaturen; Mischzeitvariante 30 Minuten; Untersuchungsblock 1



4: Mittelwerte statischer Stempel Eindringversuche; Prüftemperatur 40 °C, Untersuchungsblock 2



5: Mittelwerte der Spurrinnentiefe, Prüftemperatur 50 °C; Untersuchungsblock 2

erkennen, die nach Durchlauf eines Minimums kontinuierlich bis zum Ende des Mischvorganges ansteigt. Die Unterschiede der einzelnen Bindemittelvarianten sind auf Grund unterschiedlichen Leistungsniveaus und der verschobenen Minima deutlich zu erkennen.

Bild 8 zeigt den Verlauf der Leistungsaufnahme der Varianten mit einer Mischzeit von 15 Minuten. Bei diesen Varianten wurde im Vergleich zu den Varianten mit 180 Minuten Mischzeit ein Füller mit besseren versteifenden Eigenschaften verwendet. Hier ist auffällig, dass die Leistungsaufnahme der Mischgutvarianten mit PmB von einem höheren Niveau ausgehend kontinuierlich bis zur Mischzeit von 15 Minuten fallen, während die Variante mit 30/45 + TE bei etwa 10 Minuten bereits ein Minimum durchläuft und wieder ansteigt.

## 4. Schlussfolgerungen

Anhand der Ergebnisse der Prüfungen zur Ansprache der Verformungseigenschaften zeigt sich, dass das Mischgut mit dem Bindemittel 20/30 und den mit Trinidad-Epuré Z0/8 modifizierten Bindemitteln 30/45 + TE und Olexobit 45 + TE eine geringere Verformungsanfälligkeit aufweisen. Statistisch lassen sich die Mischgutvarianten mit den polymermodifizierten Bindemitteln und mit den Straßenbau- bzw. TE modifizierten Bindemitteln in 2 Gruppen unterteilen, wobei in Abhängigkeit der Mischzeit und der Prüftemperatur statistisch signifikante Unterschiede innerhalb dieser Gruppen festzustellen sind. Die Variante Olexobit 45 + TE zeigt im Bereich des Verformungsverhaltens einen günstigeren Effekt gegenüber der Variante mit Olexobit 45.

Dieses Verformungsverhalten wurde bereits bei den Ergebnissen der Eignungsprüfungen festgestellt, auch hier wurden höhere statische Stempel Eindringtiefen für die polymermodifizierten Bindemittel ermittelt. Dieses in der Eignungsprüfung festgestellte Verhalten setzte sich im Laufe des Untersuchungsprogramms fort. Mit der Betrachtung der Ergebnisse der Bindemitteluntersuchungen kann dieses Verformungsverhalten erklärt werden.

Die Werte der Nadelpenetration zeigen nach den Mischzeiten 15 und 30 Minuten, dass die Bindemittel in zwei Viskositätsklassen einzuteilen sind. Das Straßenbaubitumen 20/30 und das TE modifizierte 30/45 erreichen erheblich geringere Penetrationswerte, als die polymermodifizierten Bitumen. Lediglich das TE modifizierte PmB kann in Abhängigkeit der Mischzeit in die Gruppe der polymermodifizierten Bitumen bzw. zwischen beide Gruppen eingeordnet werden. Die Ergebnisse der Erweichungspunkte Ring und Kugel zeigen diesen deutlichen Unterschied nicht, so dass es fraglich erscheint, ob der Erweichungspunkt Ring und Kugel die Eigenschaften von polymermodifizierten Bitumen im Vergleich zum Straßenbaubitumen hinreichend beschreibt.

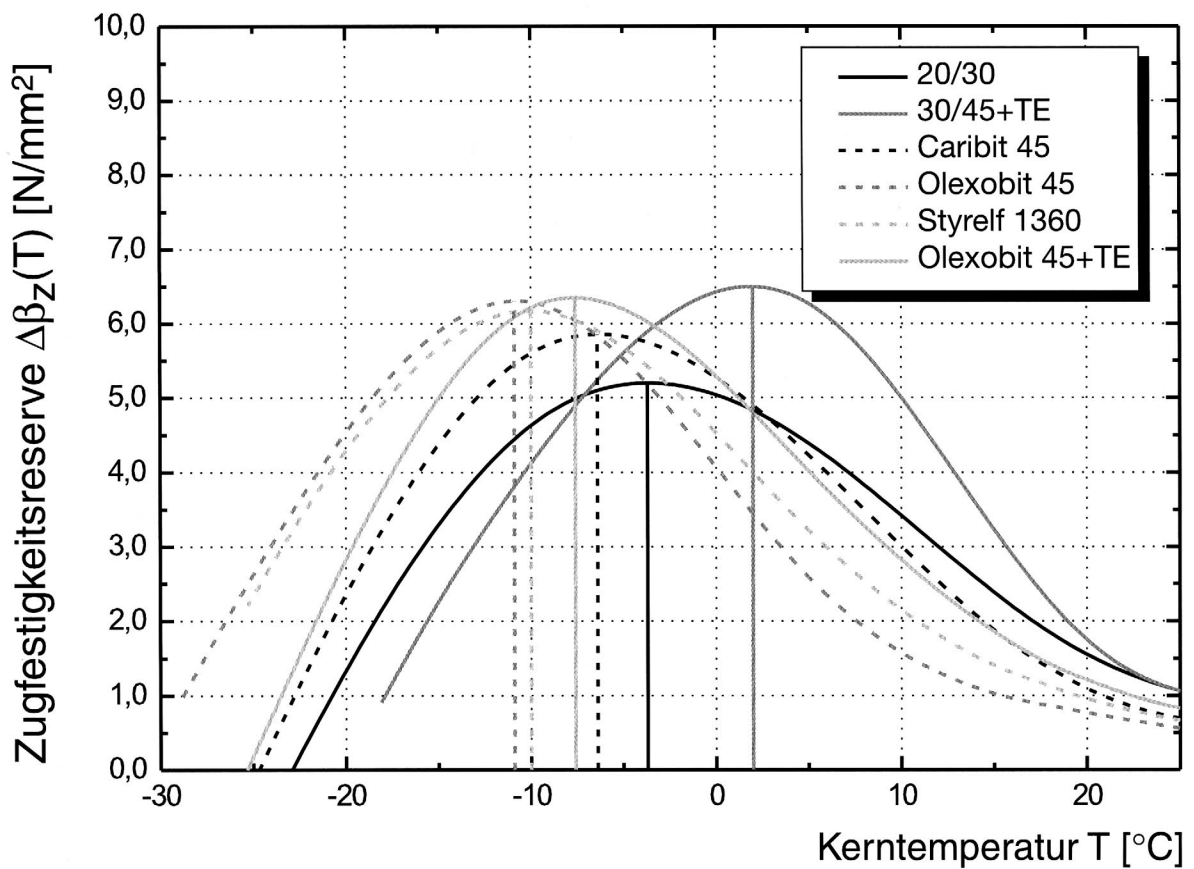
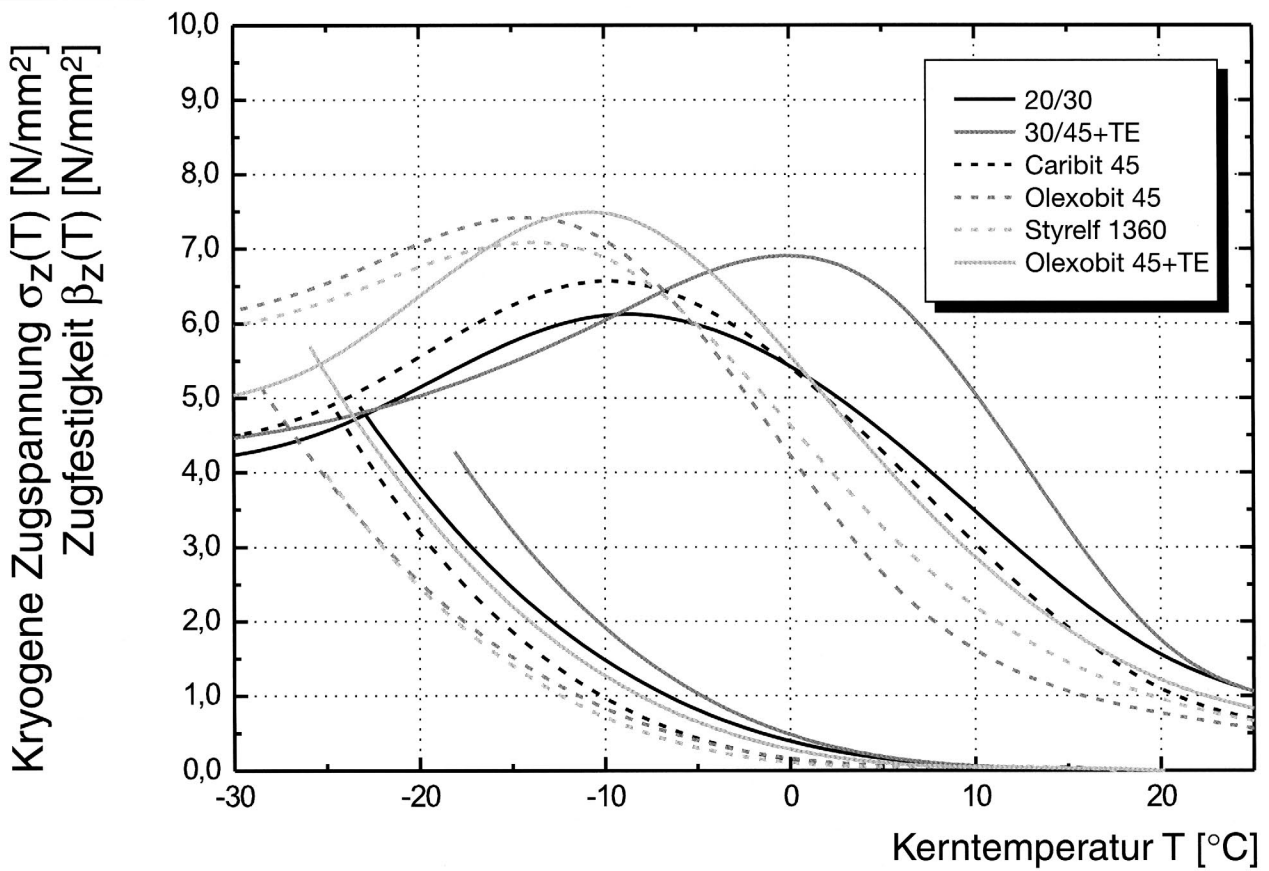
Im Bereich des zweiten Untersuchungsblockes lässt sich eine Diskrepanz der Ergebnisse beider verwendeter Prüfungen zur Ansprache des Verformungsverhaltens feststellen. Die Zunahme der statischen Stempel Eindringtiefe steigt bei einer Verlängerung der Verweilzeit an, während der Wert der statischen Stempel Eindringtiefe keine deutliche Abhängigkeit von der Verweilzeit zeigt. Die Spurbildungsversuche zeigen demgegenüber eine zunehmende Verhärtung des Mischgutes bei Zunahme der Verweilzeit durch eine Verringerung der Spurrinnentiefe. Diese Verhärtung lässt sich durch die Kennwerte der rückgewonnenen Bindemittel bei Zunahme der Verweilzeit verifizieren.

Anhand der Kälteuntersuchungen lässt sich feststellen, dass die polymermodifizierten Bindemittel das Kälteverhalten des untersuchten Gussasphaltes günstig beeinflussen. Die TE modifizierte Variante Olexobit 45 + TE zeigt im Vergleich zur Variante mit Olexobit 45 einen nachteiligen Effekt bezüglich des Kälteverhaltens.

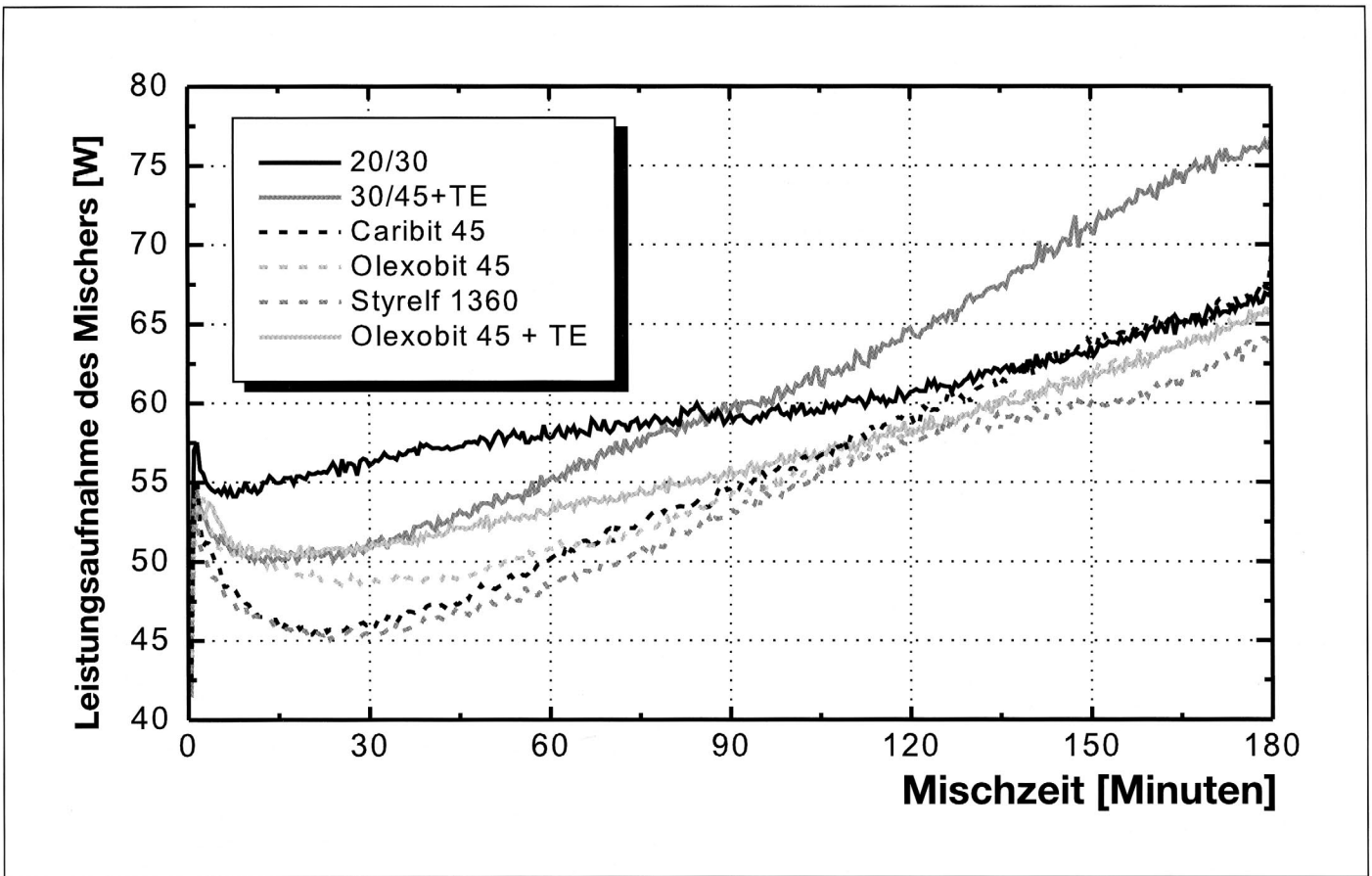
Bei Zunahme der Verweilzeit kann im zweiten Untersuchungsblock festgestellt werden, dass sich das Maximum der Zugfestigkeitsreserve in einen höheren Temperaturbereich verschiebt. Längere Verweilzeiten haben demnach einen nachteiligen Einfluss auf das Kälteverhalten.

Die Verarbeitbarkeit des Gussasphaltmischgutes wurde zeitgleich zur Herstellung der Probekörper durch die Fließfähigkeit subjektiv beurteilt. Es stellte sich heraus, dass alle Varianten mit den Mischzeiten von 15 und 30 Minuten als verarbeitbar zu bezeichnen sind. Die Mischgutvarianten nach einer Mischzeit von 180 Minuten können als schwer bis nicht verarbeitbar bezeichnet werden. Insbesondere sind die beiden TE modifizierten Varianten als besonders zäh zu bezeichnen. Im Laufe der Mischzeit und insbesondere bei langen Mischzeiten konnten destillative Effekte an der unbeheizten Mischtrommelabdeckung festgestellt werden, die vermutlich ursächlich für eine unerwartet hohe Bindemittelverhärtung sind.

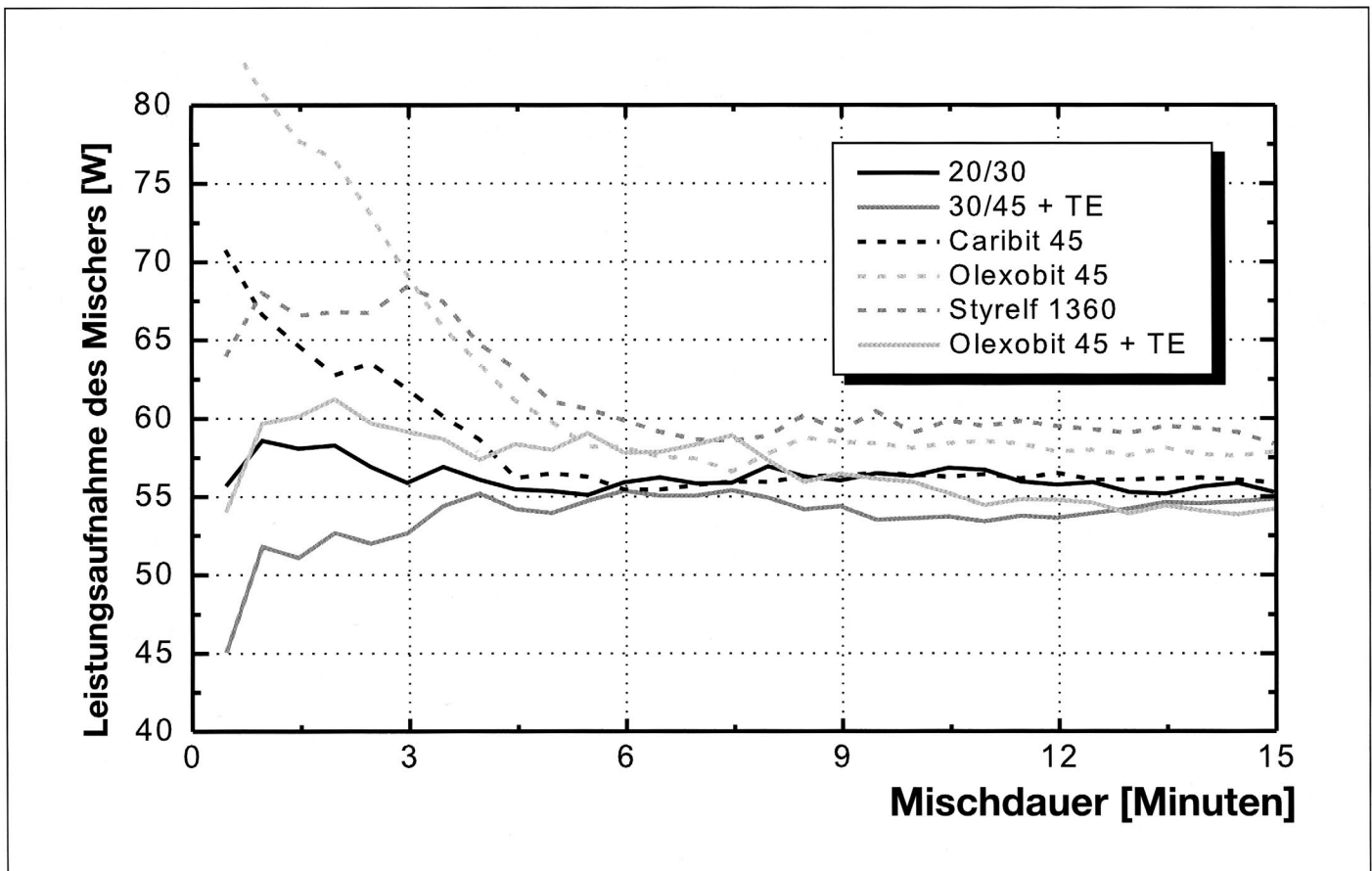
Die Höhe der Leistungsaufnahme des Mixers ist deutlich von der Art der Bindemittelvariante abhängig. Im Laufe der Mischzeit ist ein Einfluss der thermischen Beanspruchung der Bindemittel ebenfalls deutlich zu erkennen. Im Anfangsbereich der Mischzeit zeigt die Leistungsaufnahme einen fallenden Trend, der durch eine zunehmend verbesserte Durchmischung erklärt werden kann. Die Leistungsaufnahme durchläuft anschließend ein Minimum. Dieses Minimum entsteht vermutlich durch die Überlagerung von verbesserter Durchmischung in Kombination mit der versteifenden Wirkung der thermischen Beanspruchung der Bindemittel. Der nachfolgende Anstieg der Leistungsaufnahme ist durch die fortlaufende Verhärtung der Bindemittel zu begründen. Zur tendenziellen indirekten Beurteilung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalten kann die Leistungsaufnahme des Mixers somit herangezogen werden.



6: Zugfestigkeiten und kryogene Zugspannungen sowie errechnete Zugfestigkeitsreserven nach 30 Minuten Mischzeit



7: Mittelwerte der Leistungsaufnahme des Mixers, Mischzeitvariante 180 Minuten



8: Mittelwerte der Leistungsaufnahme des Mixers, Mischzeitvariante 15 Minuten

## Schrifttum

- [1] Springer, E.; Thiemann, F. & Zutz, R.: Messung der Verarbeitbarkeit von Gußasphalt; Bitumen 3/95, S. 114 ff
- [2] Norme française NFT 66-033: Französische Norm NFT 66-033; Prüfung von Gußasphalten; Bestimmung des Verarbeitungsfaktors nach Bernard Brunel, November 1991
- [3] Beecken, G.: Temperaturverringerng bei Herstellung, Transport und Einbau von Gußasphalt; Beitrag zur Tagung der Europäischen Gußasphaltvereinigung 1997 in Dresden.
- [4] Kloß, H.D. & Hartung H.A.: Laborhandbuch für Trinidad Naturasphalt; Trinidad Lake Asphalt Handelsgesellschaft Wilh. Asche Co.; Bremen 1990
- [5] Aeschlimann, H.: Untersuchung von Gussasphaltbelägen, Ringanalyse; Straße und Verkehr Nr. 12, S.755 ff, Dezember 1992
- [6] Schellenberg, K.: Gussasphalt auf Parkdecks und anderen Verkehrsflächen; die Asphaltstrasse 1/91, S. 23 ff
- [7] Damm, K.-W.: Erfahrungen in Hamburg mit der Verwendung polymermodifizierter Bindemittel für Gussasphaltbrückenbeläge; Bitumen 1/90, S. 2-9
- [8] Springer, E. et.al.: Messung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt; Bitumen 3/95, S. 114 ff
- [9] van der Decken, S.: Triaxialversuch mit schwellendem Axial- und Radialdruck zur Untersuchung des Verformungswiderstandes von Asphalten, Heft 15 der Schriftenreihe des Instituts für Straßenwesen der TU Braunschweig □