

Das Prüfverfahren für dynamische Stempeleindringtiefe an Gussasphalt, beurteilt gemäß den Technischen Prüfvorschriften für Asphalt und gemäß der Europäischen Norm – Schaffung eines Bewertungshintergrundes

AiF 16.143

Forschungsstelle: Technische Universität Braunschweig,
Institut für Straßenwesen
(Prof. Dr. techn. Dipl.-Ing. M. P. Wistuba)

Bearbeiter: Renken, P./Büchler, S./Wistuba, M. P.

Auftraggeber: Arbeitsgemeinschaft industrieller
Forschungsvereinigungen
"Otto von Guericke" e. V. (AiF), Köln

Abschluss: Oktober 2011

fahren nach DIN EN 12697, Teil 25 A anzuwenden. Dieses Prüfverfahren weicht allerdings in wesentlichen Teilen von dem in der deutschen Prüfnorm TP Asphalt-StB, Teil 25 A1 beschriebenen Prüfverfahren ab (siehe Tabelle 2).

Inzwischen wurden die DIN EN 13108, Teil 20 derart verändert, dass das deutsche Prüfverfahren weiterhin eingesetzt werden darf, allerdings verweist sie weiterhin auf ein nicht normgerecht umgesetztes Regelwerk.

Ziel dieses Forschungsprojekts war es daher, den wissenschaftlichen Nachweis zu erbringen hinsichtlich eines Zusammenhangs zwischen dem deutschen und dem europäischen dynamischen Verfahren zur Prüfung der Verformungsbeständigkeit von Gussasphalten.

Weiterhin sollte die Leistungsfähigkeit dieser Prüfverfahren sowie des statischen Prüfverfahrens gemäß TP Asphalt-StB, Teil 20 (statischer Stempeleindringversuch) mit statistischen Methoden analysiert werden.

Das hier vorgestellte IGF-Vorhaben 16143N der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags vom 1.7.2009 bis 30.6.2011 gefördert und am Institut für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt.

1 Aufgabenstellung

Bei Schwerverkehrsbeanspruchung ist der Einsatz einer besonders verformungsbeständigen Straßenbefestigung erforderlich. Auf Brückentragwerken wird gleichzeitig eine Abdichtungsfunktion gefordert. Häufig werden dazu Gussasphalte eingesetzt, die bei ihrer Rezeptierung vor allem auf Verformungsresistenz optimiert werden. Eine Optimierung der jeweiligen Gussasphalt-Rezeptur erfolgte in Deutschland bislang im Rahmen der Erstprüfung mit dem statischen Eindringversuch gemäß TP Asphalt-StB, Teil 20 [1]. Heute ist bekannt, dass das Prüfverfahren ungeeignet ist, verformungsbeständige Gussasphalte in geeigneter Weise zu differenzieren (siehe z. B. Renken et al., 2003 [2]).

Als Alternative wurde daher der dynamische Stempeleindringversuch gemäß TP Asphalt-StB, Teil 25 A1 entwickelt, welcher ausreichend präzise und geeignet ist, die verformungsbeständigen Gussasphalte zuverlässig zu differenzieren (siehe z. B. Schellenberg und Eulitz, 2000 [3]).

Die Spezifikationsnorm für Asphalt-Mischgut DIN EN 13108, Teil 20 enthält die Forderung, dass der statische Eindringversuch nur für Werte > 2,5 mm Eindringtiefe angewendet werden darf. Bei kleineren Werten, d. h., bei verformungsbeständigen Gussasphalten, ist das europäisch genormte dynamische Prüfver-

2 Untersuchungsmethodik

2.1 Prüfsystematik

Um das Ziel des Forschungsprojekts zu erreichen, wurden Reihenuntersuchungen an 21 Gussasphalt-Varianten mit systematisch variierenden Zusammensetzungen durchgeführt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Prüfplan, unter systematischer Variation der Bindemittel und der Zusammensetzung

Variante	Gussasphaltsorte	Bindemittel	Bindemittel-Hersteller	Zusammensetzung	Füllerart
1	MA 11 S	25/55-55 A	A	1	Kalkstein
2		25/55-55 A NV	B	1	Kalkstein
3		25/55-55 A NV	C	1	Kalkstein
4		25/55-55 A NV	D	1	Kalkstein
5		10/40-65 A NV	E	1	Kalkstein
6		30/45+TE	F	1	Kalkstein
7		30/45+TE NV	F	1	Kalkstein
8		30/45 NV	G	1	Kalkstein
9		20/30 NV	H	1	Kalkstein
10		20/30 NV	H	2	Kalkstein
11		20/30 NV	H	1	Basalt
12		20/30 NV	H	2	Basalt
13	MA 8 S	25/55-55 A NV	B	3	Kalkstein
14		25/55-55 A NV	C	3	Kalkstein
15		25/55-55 A NV	D	3	Kalkstein
16		10/40-65 A NV	E	3	Kalkstein
17		30/45+TE NV	F	3	Kalkstein
18		20/30 NV	H	3	Kalkstein
19		20/30 NV	H	4	Kalkstein
20		20/30 NV	H	3	Basalt
21		20/30 NV	H	4	Basalt

NV = viskositätsverändernde Zusätze (NiedrigViskos)

Tabelle 2: Prüfbedingungen der eingesetzten Verfahren zur Prüfung der Verformungsbeständigkeit von Gussasphalt

Merkmal	Prüfnorm		
	TP Asphalt-StB, Teil 20	TP Asphalt-StB, Teil 25 A1	DIN EN 12697, Teil 25 A
Belastungsart	statische Last	dynamisch, Haversine-Impuls	dynamisch, Rechteck-Impuls
Probekörperdimension	70 x 70 x 70 mm ³	∅ 150 mm, Höhe 60 mm	∅ 150 mm, Höhe 60 mm
Stempeldurchmesser/-fläche	∅ 12,6 mm = 500 mm ²	∅ 56,4 mm = 2 500 mm ²	∅ 96,0 mm = 7 238,2 mm ²
Vorlast	0,05 MPa für 10 min	0,08 MPa für 1,5 s	0,01 MPa für 10 min
Ober-/Unterspannung	1,05 MPa/-	0,35/0,08 MPa	0,1/0,01 MPa
Belastungszeiten	30 bzw. 60 min	0,2 s/1,5 s Lastpause	1,0 s/1,0 s Lastpause
Prüftemperatur	40 °C	50 °C	40 °C
Prüfergebnis	Eindringtiefe nach 30 min [mm] und Zunahme der Eindringtiefe von 30 auf 60 min [mm]	Eindringtiefe nach 2 500 Lastimpulsen [mm]	Verformung nach 3 600 Lastimpulsen [%], optional Kriechrate [%/n]

Die Variation in der Zusammensetzung beruht im Wesentlichen auf einer Verringerung des Fülleranteils zu Lasten des Splittanteils.

Zum Einsatz kamen überwiegend gebrauchsfertige Bitumen mit viskositätsverändernden Zusätzen, wie sie nach dem Stand der Technik für die Herstellung handelsüblicher Gussasphalte eingesetzt werden.

Der Mischprozess sowie die Simulation der Verweildauer im Rührwerkskocher erfolgten einheitlich bei 230 °C, wobei eine geringe und damit praxisnahe Beanspruchung angestrebt wurde.

Am frischen und an dem nach dem Mischprozess zurückgewonnenen Bitumen wurden folgende Kenndaten bestimmt:

- Erweichungspunkt Ring und Kugel (DIN EN 1427),
- Nadelpenetration (DIN EN 1426),
- Elastische Rückstellung (DIN EN 13398),
- Kraftduktilität (DIN EN 13589 und DIN EN 13703, bei T = 25 °C),
- Bending Beam Rheometer (BBR) (DIN EN 14771, bei T = -16 °C und T = -10 °C),
- Dynamic Shear Rheometer (DSR) (DIN EN 14770; Temperatursweeps von 30 °C bis 150 °C und Frequenzsweeps von 0,1 Hz bis 10 Hz).

Die Ergebnisse der konventionellen und der rheologischen Bitumenprüfungen zeigten, dass als Folge des Mischprozesses eine thermische Beanspruchung stattgefunden hatte und die zurückgewonnenen Bindemittel verhärtet waren.

Die Gussasphalt-Probekörper wurden im Labor geprüft durch:

- den statischen Eindringversuch (TP Asphalt-StB, Teil 20),
- den dynamischen Stempel Eindringversuch (TP Asphalt-StB, Teil 25 A1) und
- den Eindringversuch mit rechteckiger Impulsbelastung (DIN EN 12697-25 A)

jeweils mit mindestens einer Dreifachbestimmung der Einzelwerte. Zusätzlich wurde jeweils bei den Temperaturen 40 °C und 50 °C geprüft, um gegebenenfalls eine bessere Spreizung der Ergebnisse zu erzielen.

2.2 Prüfverfahren

Wesentliche Unterschiede der drei eingesetzten Prüfverfahren sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Bilder 1 bis 3 verdeutlichen die Abweichungen in den Abmessungen von Probekörper und Laststempel sowie in den Belastungsarten.

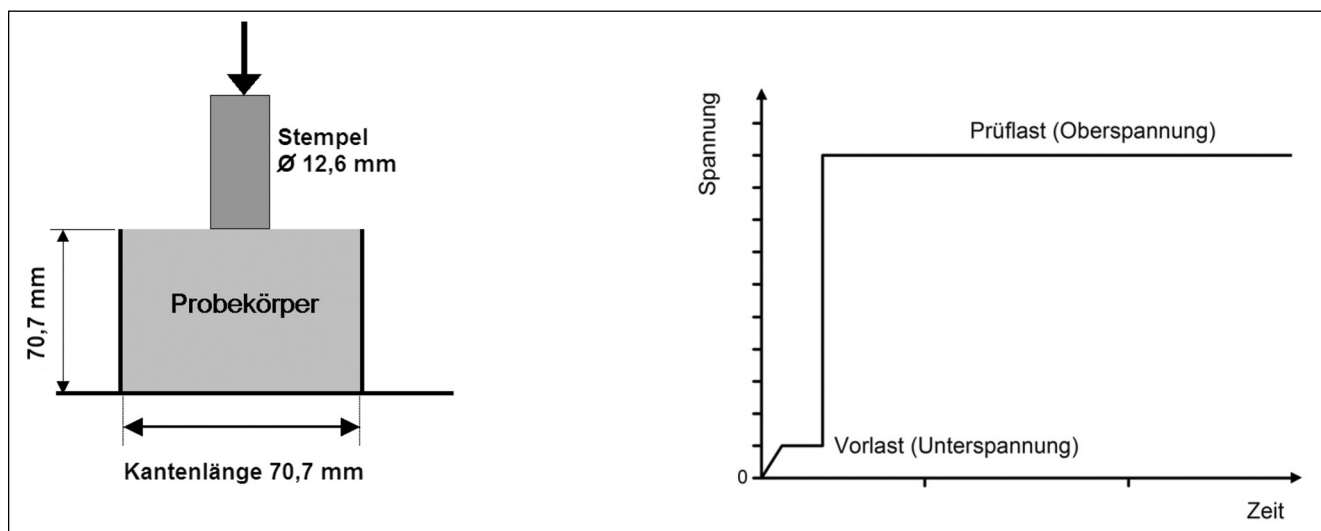


Bild 1: Prinzipskizze (links) und Belastungsvorgang (rechts) beim statischen Eindringversuch gemäß TP Asphalt-StB, Teil 20

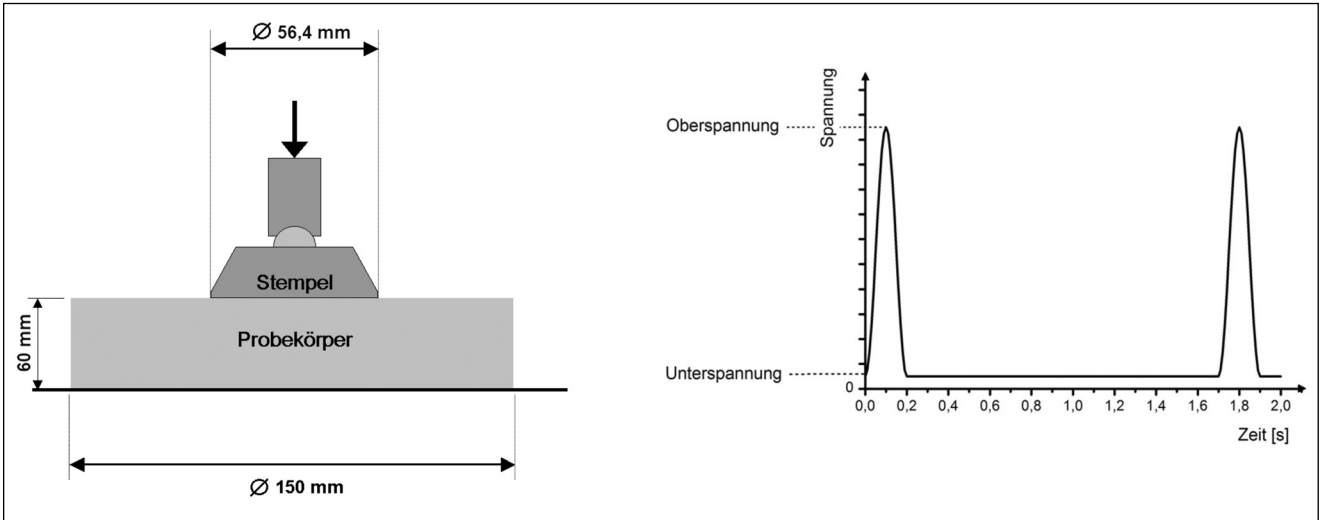


Bild 2: Prinzipskizze (links) und Belastungsvorgang (rechts) beim dynamischen Stempelversuch gemäß TP Asphalt-StB, Teil 25 A1

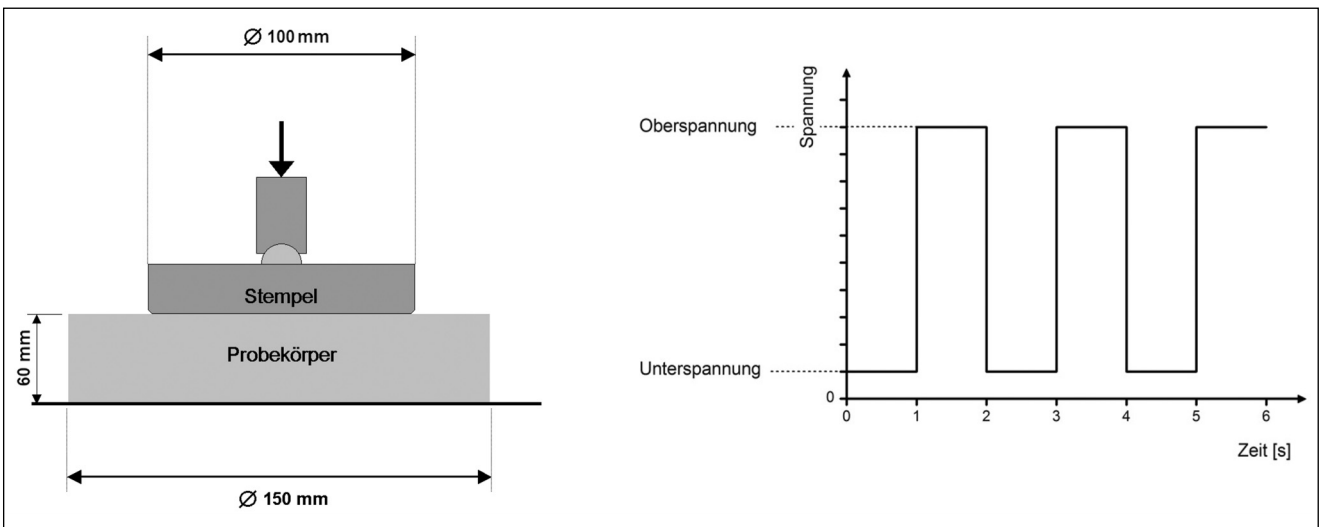


Bild 3: Prinzipskizze (links) und Belastungsvorgang (rechts) beim Eindringversuch mit rechteckiger Impulsbelastung gemäß DIN EN 12697, Teil 25 A

3 Untersuchungsergebnisse

Ausgewählte Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt und erläutert.

3.1 Kenndaten der zurückgewonnenen Bindemittel

Die Ergebnisse des Erweichungspunkts Ring und Kugel, der Nadelpenetration und der elastischen Rückstellung zeigen, dass durch den Mischprozess eine thermische Beanspruchung stattfindet und daher die zurückgewonnenen Bindemittel verhärtet sind.

Für die nach dem Mischprozess zurückgewonnenen Bitumen sind in Bild 4 die Ergebnisse der Nadelpenetration den Werten für das jeweilige frische Bindemittel im Ausgangszustand gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der rheologischen Prüfverfahren KD, BBR und DSR weisen auf eine vergleichsweise geringe Beanspruchung der zurückgewonnenen Bindemittel hin.

Die mit dem DSR gewonnenen Ergebnisse zeigen im Vergleich der Varianten mit und ohne viskositätsverändernden Zusätze (25/55-55 A), dass eine Aktivierung der Zusätze sowohl am frischen als auch am zurückgewonnenen Bitumen zu beobachten ist.

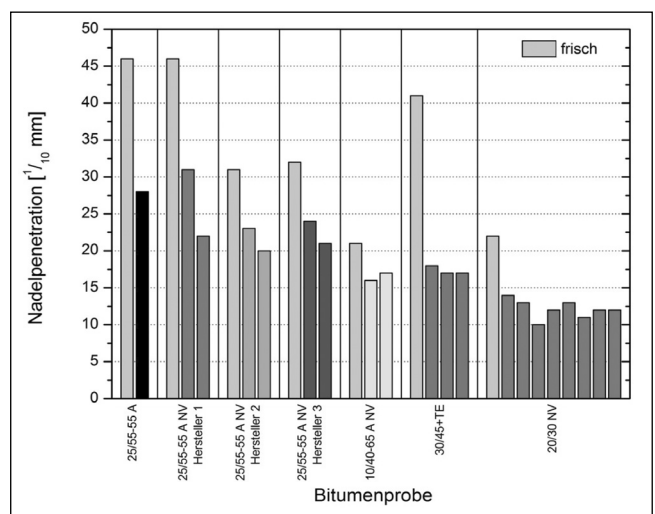


Bild 4: Ergebnisse der Nadelpenetration am frischen und zurückgewonnenen Bindemittel

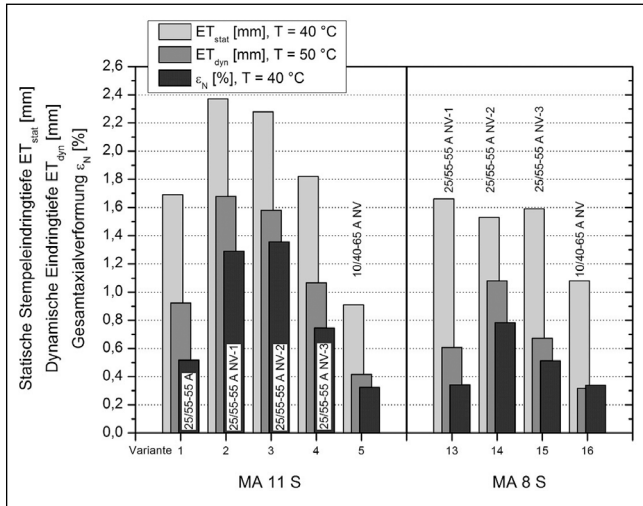


Bild 5: Eindringtiefen aus dem statischen Eindringversuch, dem dynamischen Stempeleindringversuch und dem Eindringversuch mit rechteckiger Impulsbelastung, Varianten mit polymermodifizierten Bitumen

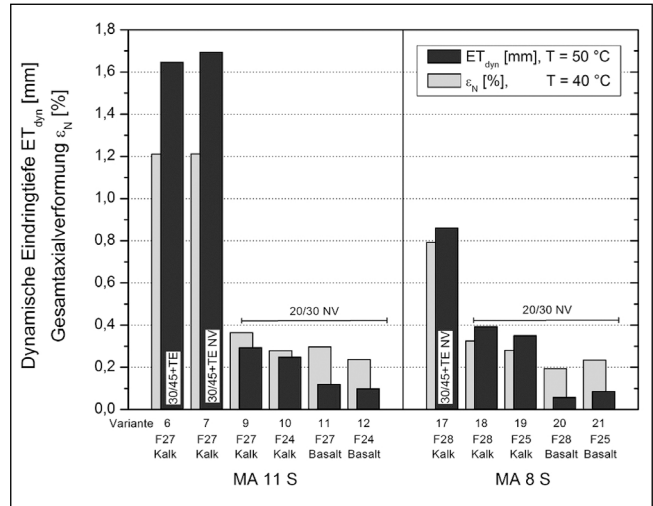


Bild 6: Eindringtiefen aus dem statischen Eindringversuch, dem dynamischen Stempeleindringversuch und dem Eindringversuch mit rechteckiger Impulsbelastung, Varianten mit Straßenbaubitumen

3.2 Ergebnisse der eingesetzten Verfahren zur Prüfung der Verformungsbeständigkeit von Gussasphalt

Die Bilder 5 und 6 zeigen die Ergebnisse der drei Prüfverfahren bei den jeweils genormten Prüftemperaturen. Bild 5 stellt die Eindringtiefen bzw. Verformungen der Varianten mit den polymermodifizierten Bitumen dar, Bild 6 jene der Varianten mit Straßenbaubitumen.

Generell ergibt sich für die drei Prüfverfahren mit steigender Prüftemperatur (40 °C auf 50 °C) eine Zunahme der Eindringtiefe. Eine zunehmende Viskosität des Bindemittels (25/55-55 A im Vergleich zu 10/40-65 A und 30/45+TE im Vergleich zu 20/30) führt zu einer Verringerung der Eindringtiefe. Weiterhin zeigt sich bei Variation der Füllerart (Kalkstein im Vergleich zu Basalt) tendenziell eine versteifende Wirkung, d. h., eine geringere Eindringtiefe.

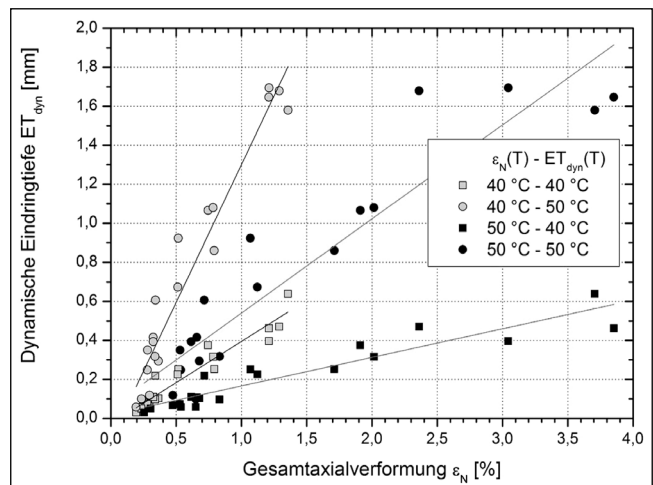


Bild 7: Lineare Regressionen für die Ergebnisse des dynamischen Stempeleindringversuchs ET_{dyn} und des Eindringversuchs mit rechteckiger Impulsbelastung ϵ_N bei unterschiedlichen Temperaturen

Tabelle 3: Bestimmtheitsmaße für die in Bild 7 angegebenen linearen Regressionen

Prüfverfahren	Statische Eindringtiefe $T = 40\text{ °C}$	Statische Eindringtiefe $T = 50\text{ °C}$	Dynamische Stempeleindringtiefe $T = 40\text{ °C}$	Dynamische Stempeleindringtiefe $T = 50\text{ °C}$
Dynamische Stempeleindringtiefe $T = 40\text{ °C}$	88,1 %	74,1 %		
Dynamische Stempeleindringtiefe $T = 50\text{ °C}$	91,0 %	78,3 %		
Eindringversuch mit rechteckigem Impuls $T = 40\text{ °C}$	79,6 %	64,8 %	90,9 %	93,9 %
Eindringversuch mit rechteckigem Impuls $T = 50\text{ °C}$	73,4 %	66,0 %	87,7 %	87,4 %

4 Ergebnisinterpretation

4.1 Korrelation zwischen dem Eindringversuch mit rechteckiger Belastung und dem dynamischen Stempeleindringversuch

Der Nachweis der Korrelation zwischen den Ergebnissen des Eindringversuchs mit rechteckiger Impulsbelastung und jenen des dynamischen Stempeleindringversuchs erfolgt mittels linearer Regression. Bild 7 stellt für unterschiedliche Prüfbedingungen die Regressionen grafisch dar. In Tabelle 3 sind die jeweiligen Bestimmtheitsmaße für die Korrelationen zusammenfassend angegeben.

Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass die lineare Regression für den Eindringversuch mit rechteckiger Impulsbelastung bei vorgegebener Prüftemperatur von 40 °C und für den dynamischen Stempeleindringversuch bei vorgegebener Prüftemperatur von 50 °C mit einem Wert von $r^2 = 94 \%$ das höchste Bestimmtheitsmaß erreicht. Die Kriechraten (bzw. Steigungen) weisen einen korrelativen Zusammenhang von $r^2 = 82 \%$ auf. Dies bestätigt frühere Ergebnisse von Angst und Schellenberg (2008) [4]. Damit ist eine mathematisch abgesicherte Korrelation zwischen den beiden dynamischen Prüfverfahren nachgewiesen.

Im Weiteren wurde mittels dem statistischen LSD-Test und mittels Mittelwertvergleichen (s. Sachs und Hedderich, 2006 [5]) die signifikanten Differenzierungen für beide Prüfverfahren untersucht. Der LSD-Test wurde an Gruppen folgender Varianten (vgl. Tabelle 1) vorgenommen:

- 1 bis 5 (MA 11 S, polymermodifizierte Bindemittel, gleiche Zusammensetzung),
- 13 bis 16 (MA 8 S, polymermodifizierte Bindemittel, gleiche Zusammensetzung),
- 6 bis 12 (MA 11 S, Straßenbaubitumen, Variationen in der Zusammensetzung) und
- 17 bis 21 (MA 8 S, Straßenbaubitumen, Variationen in der Zusammensetzung).

Die Ergebnisse der statistischen Analyse werden der Größe nach sortiert und in statistisch signifikant unterschiedliche Varianten getrennt. In Tabelle 4 wird dies jeweils durch einen Trennstrich zwischen zwei Varianten gekennzeichnet.

Tabelle 4: LSD-Test für die Varianten 1 bis 5 und 13 bis 16 zur Findung statistisch signifikanter Unterschiede

Ergebnis	Prüftemperatur	Varianten 1 bis 5					Varianten 13 bis 16				
		3	2	4	1	5	14	15	13	16	
ET _{dyn}	40 °C	3	2	4	1	5	14	15	13	16	
	50 °C	2	3	4	1	5	14	15	13	16	
ε _N	40 °C	3	2	4	1	5	14	15	13	16	
	50 °C	3	2	4	1	5	14	15	16	13	

Tabelle 5: LSD-Test für die Varianten 6 bis 12 und 17 bis 21 zur Findung statistisch signifikanter Unterschiede

Ergebnis	Prüftemperatur	Varianten 6 bis 12					Varianten 17 bis 21					
		6	7	9	11	12	10	17	18	19	21	20
ET _{dyn}	40 °C	6	7	9	11	12	10	17	18	19	21	20
	50 °C	7	6	9	10	11	12	17	18	19	21	20
ε _N	40 °C	7	6	9	11	10	12	17	18	19	21	20
	50 °C	6	7	9	12	10	11	17	18	19	21	20

Für die relevanten Prüftemperaturen (grau hinterlegt) können die Reihenfolgen beider Varianten als gleich angesehen werden. Die Varianten 2 und 3 sowie 10 und 11 unterscheiden sich zwar je nach Prüfverfahren, werden aber innerhalb der Prüfverfahren jeweils als statistisch gleich angesehen.

Bei der statistisch signifikanten Differenzierung weisen beide Prüfverfahren im Wesentlichen die gleichen Unterschiede auf. Mit dem dynamischen Stempeleindringversuch können zusätzlich zwei relevante Varianten signifikant getrennt werden (Varianten 16 und 21).

4.2 Korrelationen zum statischen Prüfverfahren

Tabelle 3 zeigt, dass der statische Eindringversuch bei T = 40 °C mit dem dynamischen Stempeleindringversuch bei T = 50 °C eine Korrelation von $r^2 = 91,0 \%$ aufweist (und damit die bestehenden Prüfbedingungen als sinnvoll bestätigt).

Die Korrelationen des Eindringversuchs mit rechteckiger Impulsbelastung weisen generell kleinere Bestimmtheitsmaße und damit einen qualitativ minderen Zusammenhang auf, als die Korrelationen mit dem dynamischen Stempeleindringversuch.

4.3 Nachweis der Differenzierung aller drei untersuchten Prüfverfahren

Für die nachfolgend aufgelisteten Merkmale wurden zur Prüfung der statistischen Differenzierbarkeit der LSD-Test und der einfache Mittelwertvergleich eingesetzt:

- Bitumensorte: 25/55-55 A im Vergleich zu 10/40-65 A NV,
- Bitumensorte: 30/45+TE im Vergleich zu 20/30 NV,
- Füllerart: Kalksteinfüller im Vergleich zu Basaltfüller,
- Zusammensetzung: 1 im Vergleich zu 2 und 3 im Vergleich zu 4 (siehe Tabelle 1),
- Bitumenhersteller: 25/55-55 A NV, Hersteller B im Vergleich zu C und D und
- viskositätsverändernde Zusätze: Einsatz von Trinidad-Epuré mit und ohne Zusätzen.

Über alle Untersuchungs-Merkmale weist der dynamische Stempeleindringversuch die beste signifikante Differenzierbarkeit sowie die höchste Spreizung in den Ergebnissen auf, gefolgt vom statischen Eindringversuch.

Der statische Eindringversuch weist in der statistischen Auswertung tendenziell Vorteile auf bezüglich der Differenzierung von Füllerart und Variation in der Zusammensetzung. Der dynamische Stempeleindringversuch weist bei diesen Merkmalen sehr geringe Eindringtiefen auf, sodass die Streumaße einen dominanten Einfluss ausüben.

Der Einfluss von viskositätsverändernden Zusätzen auf die Differenzierung der Prüfergebnisse ist nicht eindeutig signifikant. Die Ergebnisse liegen bei allen drei Prüfverfahren in derselben Größenordnung. Tendenzuell ist eine versteifende Wirkung der viskositätsverändernden Zusätze zu beobachten.

Die Erhöhung der Prüftemperatur von 40 °C auf 50 °C bewirkt zwar bei allen Prüfverfahren eine Zunahme der jeweiligen Eindringtiefe, jedoch wird keine Verbesserung bezüglich der statistisch signifikanten Differenzierbarkeit erzielt. Dies bedeutet, dass sowohl bei 40 °C als auch bei 50 °C die gleichen Unterschiede in der Zusammensetzung erkannt werden und die Wahl zwischen diesen beiden Prüftemperaturen annähernd keinen Einfluss auf die Differenzierung der Ergebnisse hat.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für die Praxis

Anhand von 21 im Labor hergestellten Gussasphaltvarianten wurden die drei Prüfverfahren

- statischer Eindringversuch (gem. TP Asphalt-StB, Teil 20),
- dynamischer Stempelerindringversuch (gem. TP Asphalt-StB, Teil 25 A1) und
- Eindringversuch mit rechteckiger Impulsbelastung (gem. DIN EN 12697, Teil 25 A)

bewertet und die Korrelation zwischen den jeweils resultierenden Ergebnissen untersucht.

Die mathematisch-statistische Auswertung der erhaltenen Prüfergebnisse ergibt:

- Die Ergebnisse des Eindringversuchs mit rechteckiger Impulsbelastung korrelieren mit den Ergebnissen des dynamischen Stempelerindringversuchs. Der dynamische Stempelerindringversuch ist sowohl bei der Anzahl der statistisch signifikanten Differenzierungen, als auch bei der Spreizung der Ergebnisse vorteilhaft im Vergleich zum Eindringversuch mit rechteckiger Impulsbelastung und ist daher zu bevorzugen.
- Der dynamische Stempelerindringversuch bildet bezüglich der Aussagekraft vor allem in Kombination mit dem statischen Eindringversuch eine ausreichend gute Grundlage zur zuverlässigen Beurteilung des Verformungsverhaltens von Gussasphalten.

- Anhand der Ergebnisse ist nachgewiesen, dass zum bestehenden europäischen Verfahren mit dem dynamischen Stempelerindringversuch ein Ersatzverfahren besteht, für das in Deutschland ein Erfahrungshintergrund vorliegt. Vor allem für kleine und mittelständische Unternehmen ergibt sich daraus der Vorteil, dass keine zusätzlichen Investitionen in neue Prüfgeräte gemäß Europäischer Norm nötig sind, und dass der neuerliche Aufbau eines Erfahrungshintergrunds zum Nachweis der Verformungsbeständigkeit für die bislang eingesetzten Gussasphalte entfallen kann.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2010): Technische Prüfvorschriften für Asphalt (TP Asphalt-StB), Stand Dezember 2010. Loseblattsammlung
- [2] Renken, P.; Lobach, T. u. a. (2003): Einfluss der Modifizierung von Bindemitteln durch Polymere und/oder Naturasphalt auf Standfestigkeit, Kälteverhalten und Verarbeitung von Gussasphalt. – Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 862, Bonn
- [3] Schellenberg, K.; Eulitz, H. (2000): Ansprache des Verformungswiderstandes von Gußasphalt mit dem dynamischen Eindringversuch mit ebenem Stempel – Weiterentwicklung und Bewertungshintergrund. – Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 798, Bonn
- [4] Angst, C.; Schellenberg, K. (2008): Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt. Forschungsprojekt. Oberbuchsitzen, Schweiz
- [5] Sachs, L.; Hedderich, J. (2006): Angewandte Statistik. Berlin