

Optimierung der Prüfung und Festlegung von Anforderungen

Die dynamische Prüfung von Gussasphalt

Christian Angst, Oberbuchsitzen

Infolge der zunehmenden Verkehrsbeanspruchung werden heute sehr harte Gussasphaltsorten eingebaut, die noch vor wenigen Jahren undenkbar waren. Die Fortschritte in der Polymermodifikation der Bitumen einerseits, sowie neue Verfahren zur Optimierung der Rezepturen andererseits, haben dies ermöglicht. Für die Prüfung derart harter Gussasphalte wurde ein Prüfverfahren „Dynamische Eindringtiefe“ entwickelt und standardisiert [1, 2, 3, 4, 5]. Obwohl das Verfahren in seiner ursprünglichen Version labortechnische Mängel aufwies, erfreute es sich in der Praxis einer zunehmenden Beliebtheit, denn es war die einzige Möglichkeit, harte Gussasphalte zu beurteilen. Die in diesem Beitrag besprochene Version [5] hat diese labortechnischen Mängel korrigiert.

Da sehr viele Erfahrungen mit der „alten“ Prüfmethode (rechteckige Belastungskurve) gemacht wurden, bestand eines der Ziele des Forschungsauftrages [6] darin, den Vergleich mit der neuen Methode (sinusförmige Belastungskurve) noch breiter abzustützen, um die bisherigen Erfahrungen weiterhin nutzen zu können.

Ein weiteres Ziel war es, verfahrenstechnische Fragen abzuklären. So sollte untersucht werden, ob die Höhe der Prüfkörper dem Größtkorn des Gussasphaltes angepasst werden soll; auch sollte eine Aussage über die Anzahl der zu bestimmenden Einzelwerte zur Berechnung des Prüfergebnisses gemacht werden.

Die Auswertung der Erfahrungen aus der Praxis, sowie die Untersuchung einiger Objekte sollte es ermöglichen, einen Erfahrungshintergrund aufzubauen, auf dessen Basis Anforderungswerte formuliert werden können. Die Festlegung der Anforderungen wurde zudem unterstützt, indem der Einfluss der Variation der Zusammensetzung bzw. der Eigenschaft der Baustoffe auf die Prüfergebnisse untersucht wurde.

Offene Fragen zur Versuchsdurchführung

In einer Forschungsarbeit des Instituts für Materialprüfung in Rottweil [3] wurde die Prüfmethode

der dynamischen Eindringtiefe überarbeitet. In dieser Arbeit wurde die neu definierte Prüfmethode auf Gussasphalte angewendet, die in ihrer Zusammensetzung systematisch variiert wurden. Damit konnte die Variationsbreite der Merkmalsgrößen festgestellt werden, die den Verformungswiderstand beschreiben. Die Prüfbedingungen für die dynamische Eindringtiefe wurden für die Prüftemperatur und die Oberlast optimiert. Unseres Erachtens sind dabei einige Fragen offen geblieben, die zu beantworten sind: So wird einerseits die Prüfkörperhöhe in der bisher vorgeschlagenen Prüfanleitung für alle MA-Sorten konstant gehalten. MA-Beläge werden aber in der Praxis in unterschiedlichen Schichtdicken, abhängig vom Größtkorn, eingebaut. Der Einfluss der Prüfkörperhöhe auf die Prüfergebnisse wurde bisher nicht untersucht. Andererseits ist unklar, ob der maßgebende Wert der dynamischen Eindringtiefe aus einem Mittelwert mehrerer Einzelbestimmungen zu berechnen sei, oder ob eine Einzelbestimmung

genügt. Falls mehrere Prüfkörper zu untersuchen sind, muss deren Anzahl festgelegt sein. Diese Frage ist unter Berücksichtigung sowohl wissenschaftlicher als auch ökonomischer Aspekte zu beantworten.

Anworten aus der Forschungsarbeit

Höhe der Prüfkörper

Die Höhe der Prüfkörper beträgt gemäß vorgeschlagener Prüfanleitung [5] 60 mm. Um zu prüfen, ob diese Höhe für alle Gussasphaltsorten adäquat sei, wurden Prüfkörperhöhen in Abhängigkeit des Größtkornes gewählt. Dabei wurde vom Grundsatz ausgegangen, die Schichtdicke eingebauter Gussasphalte solle nicht größer als das Vierfache des Größtkornes betragen. Daraus ergeben sich folgende Höhen der Prüfkörper:

- für einen MA 8: 32 mm,
- für einen MA 11: 45 mm und
- für einen MA 16: 60 mm.

Bezeichnung		MA11 hart	MA11 weich	MA8 normal	MA8 weich
IMP-Nr.		A02-0421	A02-0473	A01-2881	A01-2882
Lösl. Bindemittelgehalt	Masse-%	7,34	7,63	8,05	8,91
Durchgang	Masse-%				
Prüfsieb	0,09 mm	26,4	24,4	30,2	30,7
	2,8 mm	54,8	54,3	65,3	67,3
	5,6 mm	75,9	69,7	91,7	92,9
	11,2 mm	99,8	98,9	-	-
Füllermenge	Masse-%	26,4	24,4	30,2	30,7
Sandmenge	Masse-%	28,4	29,9	35,1	36,6
Spillmenge	Masse-%	45,2	54,7	34,7	32,7
Untersuchung am rückgewonnenen Bindemittel					
Pen bei 25°C	1/10 mm	30	36	39	35
RuK	°C	62,3	58,6	56,3	57,0
Ip		+ 0,3	± 0,0	- 0,3	- 0,4
statische Eindringtiefen					
HRG Würfel	Vol.-%	1,4	1,0	1,4	1,0
stat. Eindringtiefe _{0,5 h}	mm	1,7	3,4	2,5	5,3
stat. ZET _{0,5 - 1,0 h}	mm	0,2	0,5	0,4	1,3
dynamische Eindringtiefe ¹⁾					
Rohdichte _{MPK}	g/cm ³	2,379	2,367	2,355	2,331
HRG _{MPK}	Vol.-%	1,0	1,1	0,9	0,8
dyn. Eindringtiefe _{2.500}	mm	1,90	5,96	4,71	9,62
dyn. ZET _{2.500 - 5.000}	mm	0,79	2,61	2,37	4,67

Tabelle 1: Zusammensetzung und Eigenschaften der untersuchten Gussasphalte MA 8 und MA 11 ⁽¹⁾ einzelne Bestimmung an Pk-1 mit Prüfkörperhöhe von 60 mm)

* Der Beitrag fußt auf einem Vortrag, den der Autor anlässlich des DAV-DAI-Asphaltseminars 2011 in Willingen gehalten hat.

IMP-Nr	MA-Sorte	Bezeichnung	Hohlraumgehalt Vol. %	Prüfkörperhöhe mm	ET _{dyn} mm	ZET _{dyn} mm
A01-2881	MA 8	„normal“	1,01	60,3	4,71	2,37
			1,30	32,1	3,19	1,48
A01-2882	MA 8	„weich“	0,72	60,3	9,62	4,67
			0,55	32,2	6,81	3,11
A02-0473	MA 11	„weich“	1,04	59,5	5,96	2,61
			0,86	45,0	4,23	1,71
A02-0421	MA 11	„hart“	0,98	60,2	1,90	0,79
			1,15	45,1	1,79	0,72

Tabelle 2: Dynamische Eindringtiefe an MA 8 und MA 11 mit unterschiedlichen Prüfkörperhöhen

	MA 8 „normal“	MA 8 „weich“	MA 11 „weich“	MA 11 „hart“
ET _{dyn} (SD= 60 mm) / ET _{dyn} (SD = 4 x Grösstkorn)	1,48	1,41	1,41	1,06
ZET _{dyn} (SD= 60 mm) / ZET _{dyn} (SD = 4 x Grösstkorn)	1,60	1,50	1,53	1,10

Tabelle 3: Verhältnis der Eindringtiefe bei Standard-Höhe zur Eindringtiefe bei unterschiedlicher Höhe der Prüfkörper

Aus diesen Zahlen wird ersichtlich, dass für die Gussasphaltsorte MA 16 keine weiteren Untersuchungen erforderlich sind, da die bisherige Prüfkörperhöhe den eingebauten Schichtdicken in der Praxis entspricht.

Zur Herstellung der Prüfkörper wurden Gießformen mit unterschiedlichen Höhen derart hergestellt, dass die Prüfkörperhöhe nach dem Schleifen den angestrebten Wert erreicht. Für den MA 8 wurden Formen mit 40 mm, für den MA 11 mit 50 mm Höhe erstellt. Es wurden je

zwei Gussasphalte MA 8 und MA 11 mit unterschiedlicher Eindringtiefe geprüft. Die Zusammensetzung und Eigenschaft der beiden Gussasphalte sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

An den Gussasphalten wurde die dynamische Eindringtiefe gemäß [5] bestimmt, wobei je zwei Prüfkörper untersucht wurden; die Ergebnisse sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Die Hohlraumgehalte dienen als Hinweis, ob die Herstellung der Prüfkörper für die unterschiedlichen Schichtdicken zu einer ähnlichen

Lagerung des Mischgutes geführt hat. Aus den Ergebnissen lassen sich keine Unterschiede erkennen, es darf davon ausgegangen werden, dass keine Probleme bei der Herstellung der Prüfkörper aufgetreten sind.

Es kann allgemein festgestellt werden, dass die Eindringtiefen bei den Prüfkörpern mit der Standardhöhe von 60 mm größer sind. In der Tabelle 3 wurden die gemessenen dynamischen Eindringtiefen bei der Standard-Prüfkörperhöhe in Relation zur dynamischen Eindringtiefe bei der variablen Prüfkörperhöhe gesetzt. Beim harten Gussasphalt mit einer dynamischen Eindringtiefe von 1,9 mm sind die Unterschiede bei ET_{dyn} und ZET_{dyn} sehr klein, bei den übrigen Gussasphalten betragen sie etwa 40 bis 50 %. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse wurde entschieden, mit der Standardprüfkörperhöhe von 60 mm weiterzufahren, denn:

- Praxisgerechte Schichtdicken (analog Einbau) führen zu kleineren Eindringtiefen und somit zu einer weniger differenzierten Aussage bei der Beurteilung der Gussasphalte.
- Beide Höhen der Prüfkörper führen zur gleichen Rangfolge der untersuchten Gussasphalte in Bezug auf deren Verformungswiderstand.
- Die Erfahrungen mit der Prüfung bei einer Höhe von 60 mm haben gezeigt, dass an der Unterseite der Prüfkörper bei Eindringtiefen > 5 mm Gefügestörungen zu sehen sind. Je dünner der Prüfkörper, desto eher dürften derartige Gefügestörungen auftreten. Da bei der Eindringtiefe das Verformungsverhalten unter möglichst vergleichbaren Bedingungen angesprochen werden soll, sind Störungen des Gefüges unerwünscht, da sie auf Überbeanspruchungen hinweisen. Zudem ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse in Frage gestellt, wenn teilweise Gefügestörungen auftreten und teilweise nicht.

Bei der Frage, wie viele Einzelmessungen notwendig sind, geht es darum, die minimale Anzahl an Einzelmessungen festzustellen, die erforderlich ist, um den maßgebenden Wert zu bestimmen. Als maßgebender Wert wird derjenige Wert verstanden, der als Ergebnis der Prüfung gilt.

Um die Prüfung, die in Bezug auf Prüfkörperherstellung und Versuchsdurchführung recht aufwändig und zeitraubend ist, für die Praxis

IMP-Nr.	MA-Sorte	Bezeichnung	PK-Nr.	ET _{dyn} mm	ZET _{dyn} mm
A01-2881	MA 8	„normal“	1	4,14	2,17
			2	5,14	2,53
			3	4,10	1,78
			4	3,48	1,38
			5	2,82	1,38
A01-2882	MA 8	„weich“	1	7,16	3,20
			2	8,04	3,63
			3	9,07	4,23
			4	8,81	4,09
			5	8,52	4,19
A02-0421	MA 11	„hart“	1	1,44	0,78
			2	1,90	0,79
			3	1,66	0,68
			4	1,40	0,53
			5	1,49	0,58
A02-0473	MA 11	„weich“	1	4,68	2,21
			2	5,23	2,45
			3	3,73	1,63
			4	3,92	1,81
			5	4,05	1,84
A02-0422	MA 16	„hart“	1	1,09	0,34
			2	1,14	0,39
			3	0,72	0,46
			4	1,31	0,46
			5	1,33	0,46

Tabelle 5: Ergebnisse der Reihenuntersuchung (Bestimmung von 5 Einzelwerten) an 5 verschiedenen Gussasphalt-Sorten

Ardotin optimiert Asphalte: Guss, Splimax, Asphaltbeton
Durch Zugaben von 6 – 7 Masse% erhöht sich der EP auf > 80°, die Kältestandfestigkeit auf > -25° ohne Probleme beim Verarbeiten und Verdichten, reduziert die Spurbildung um etwa 30 %.

Ardotin: ein natürlicher Bestandteil der Erdkruste **schadet weder Boden, Luft noch Wasser.**

Schieferwerk Bacharach
Grube Rhein · 55422 Bacharach
Tel.: 06743 / 10 55 · Fax: 2776
E-Mail: info@schiefermehl.de

IMP-Nr. MA-Sorte/Bezeichnung	maßgebender Wert			
	aus EW	aus 2 EW	aus 3 EW	aus 4 EW
A01-2881 MA 8 „normal“	4,14	4,78	4,55	4,28
	5,41	4,12	4,34	4,12
	4,10	3,81	4,12	3,95
	3,48	3,48	4,33	
	2,82	4,76	4,11	
		4,45	3,47	
		4,12		
		3,79		
		3,46		
		3,15		
Mittelwert	3,99	3,99	4,15	4,12
Standardabweichung	0,96	0,55	0,37	0,17
Varianzkoeffizient	0,24	0,14	0,09	0,04
A01-2882 MA 8 „weich“	7,16	7,60	80,9	8,27
	8,04	8,12	8,00	8,20
	9,07	7,99	7,91	8,61
	8,51	7,84	8,64	
	8,52	8,56	8,54	
		8,43	8,80	
		8,28		
		8,94		
		8,80		
		8,67		
Mittelwert	8,32	8,32	8,33	8,36
Standardabweichung	0,75	0,43	0,38	0,22
Varianzkoeffizient	0,09	0,05	0,05	0,03
A02-0421 MA 11 „hart“	1,44	1,67	1,67	1,60
	1,90	1,55	1,58	1,62
	1,66	1,42	1,61	1,61
	1,40	1,47	1,65	
	1,49	1,78	1,68	
		1,65	1,52	
		1,70		
		1,53		
		1,58		
		1,45		
Mittelwert	1,58	1,58	1,62	1,61
Standardabweichung	0,21	0,12	0,06	0,01
Varianzkoeffizient	0,13	0,08	0,04	0,01
A02-0473 MA 11 „weich“	4,68	4,96	4,55	4,39
	5,23	4,21	4,61	4,42
	3,73	4,30	4,65	4,23
	3,92	4,37	4,29	
	4,05	4,48	4,34	
		4,64	3,90	
		3,83		
		3,89		
		3,99		
Mittelwert	4,23	4,32	4,39	4,35
Standardabweichung	0,62	0,36	0,28	0,10
Varianzkoeffizient	0,14	0,08	0,06	0,02
A02-0422 MA 16 „hart“	1,09	1,12	0,98	1,07
	1,14	0,91	1,18	1,07
	0,72	1,20	1,19	1,13
	1,31	1,21	1,06	
	1,33	0,93	1,06	
		1,23	1,12	
		1,24		
		1,02		
		1,03		
		1,32		
Mittelwert	1,12	1,12	1,10	1,09
Standardabweichung	0,25	0,14	0,08	0,03
Varianzkoeffizient	0,22	0,13	0,07	0,03

*Tabelle 5:
Darstellung
aller rechnerisch möglichen „maßgebenden Werte“, die sich aus den gemessenen Einzelwerten (EW) direkt, oder aus der Kombination von 2, 3 oder 4 Einzelwerte berechnen lassen.*

bezahlbar und damit anwendbar zu machen, sollte bei der Festlegung der erforderlichen Anzahl Prüfungen neben den rein wissenschaftlichen Aspekten auch die Anforderungen der Baupraxis berücksichtigt werden.

Die dynamische Eindringtiefe wurde an fünf Prüfkörper bestimmt. Es wurden fünf verschiedene Gussasphaltsorten untersucht. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 4 aufgeführt. Zur Berechnung des maßgebenden Wertes wurden mehrere Berechnungsarten angewendet:

- Aus allen möglichen Kombinationen eines Wertepaares lassen sich aus fünf Einzelwerten zehn verschiedene Mittelwerte (= maßgebender Wert) aus zwei Einzelwerte berechnen.
- Wird der Mittelwert (= maßgebender Wert) aus drei Einzelwerte bestimmt, ergeben sich sechs Möglichkeiten.
- Wird der Mittelwert (= maßgebender Wert) aus vier Einzelwerte bestimmt, ergeben sich drei Möglichkeiten.
- Wird der Mittelwert (= maßgebender Wert) aus fünf Einzelwerte bestimmt, ergibt sich natürlich nur eine Möglichkeit.

In der Tabelle 5 werden alle rechnerisch möglichen „maßgebenden Werte“ aus den entsprechenden Zahlenkombinationen dargestellt. Zudem wurde der Mittelwert aus den einzelnen maßgebenden Werten berechnet. Die Streuung der maßgebenden Werte wird durch die Standardabweichung und den Varianzkoeffizienten charakterisiert. Interessant ist die Feststellung, dass die Mittelwerte der „maßgebenden Werte“ kaum variieren; so betragen sie beim MA 16 hart 1,12/ 1,12/ 1,10 und 1,09 mm.

In Tabelle 6 wurden die Varianzkoeffizienten, die in der Tabelle 5 berechnet wurden, aufgeführt. Aus diesen Varianzkoeffizienten wurde der Mittelwert über alle Mischgutsorten separat für die verschiedenen Verfahren zur Bestimmung des „maßgebenden Wertes“ berechnet. Bei der Bestimmung des „maßgebenden Wertes“ aus zwei Einzelwerten reduziert sich der Varianzkoeffizient aller untersuchten Proben im Vergleich zur Einzelwert-Bestimmung im Mittel um 42 % (von 100 auf 58 %), bei der Bestimmung aus drei Einzelwerten reduziert sich der Variationskoeffizient um weitere 20 % (von 58 auf 38 %) . Die Varianzkoeffizienten nehmen – wie zu erwarten war – mit zunehmender Anzahl Einzelwerte, die zur Bestimmung der „maßgebenden Werte“ verwendet wurden, ab. So beträgt der mittlere Varianzkoeffizient der „maßgebenden Werte“ aus einem Einzelwert 0,16, derjenige der „maßgebenden Werte“ aus vier Einzelwerten 0,03. Obwohl ein möglichst tiefer Varianzkoeffizient anzustreben ist, sind auch wirtschaftliche Gesichtspunkte zu betrachten. Im Vergleich mit anderen Prüfungen bitumenhaltiger Baustoffe zeigt sich, dass ein Varianzkoeffizient von ca. 15 % durchaus zu vertreten ist. Daraus lässt sich ableiten, dass die Bestimmung des maßgebenden Wertes durch die Bildung des Mittelwertes zweier Einzelwerte sehr zu empfehlen ist.

	Varianzkoeffizient der maßgebenden Werte aus			
	dem Einzelwert	2 Einzelwerten	3 Einzelwerten	4 Einzelwerten
A01-2881 MA 8 „normal“	0,24	0,14	0,09	0,04
A01-2882 MA 8 „weich“	0,09	0,05	0,05	0,03
A02-0421 MA 11 „hart“	0,13	0,08	0,04	0,01
A02-0473 MA 11 „weich“	0,14	0,08	0,06	0,02
A02-0422 MA 16 „hart“	0,22	0,13	0,07	0,03
Mittelwerte	0,16	0,10	0,06	0,03
	100 %	58 %	38 %	16 %

Tabelle 6: Varianzkoeffizienten der maßgebenden Werte, berechnet aus verschiedenen Anzahlen Einzelwerte

Alter der Prüfkörper

Aus konkretem Anlass wurde der Einfluss des Alters der Prüfkörper auf die dynamische Eindringtiefe untersucht. Es handelte sich dabei um einen Gussasphalt, der mit einem wachsmodifizierten Bindemittel hergestellt wurde. Es bestand der Verdacht, dass bei diesen Bindemitteln der zeitliche Ablauf der Prüfung eine gewisse Rolle spielen könnte. In der Untersuchung wurden sämtliche Prüfkörper am selben Tag aus einer einzigen Probe hergestellt, geschliffen und anschließend bei Raumtemperatur auf einer ebenen Unterlage bis zur Prüfung gelagert. Die Lagerungsdauer dauerte bis zu 30 Tagen. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 1 dargestellt.

Auch nach einer sehr langen Lagerungsdauer von 30 Tagen konnte ein Wert bestimmt werden (1,11 mm), der recht nahe am Wert ohne Lagerung (1,16 mm) lag. Man kann davon ausgehen, dass die Dauer der Lagerung fertig hergestellter Prüfkörper keinen Einfluss auf das Ergebnis der dynamischen Eindringtiefe hat.

Vergleichsuntersuchungen

Bei der „alten Prüfmethode“ erfolgte die Prüfung bei lediglich 35 °C. Um die plastischen Eigenschaften des Gussasphaltes, die sehr temperaturabhängig sind, deutlich hervorzuheben ist es zweckmäßig, die Versuchstemperatur von 35 auf 50 °C zu erhöhen. Gleichzeitig sind rechteckige Belastungszyklen – wie dies bei der alten Prüfmethode der Fall war – weder praxisgerecht noch versuchstechnisch eindeutig darzustellen, da ein rechteckiger Druckstoß nicht spontan auf Null reduziert werden kann. Zudem sollte aus versuchsökonomischen Gründen das Prüfergebn möglichst früh, also nicht erst nach 10.000 (6.000) Lastwechsel (LW) wie bei der alten Prüfmethode, sondern schon nach 5.000 (2.500 LW) wie bei der neuen Methode vorliegen.

Kurzbeschreibung der beiden Prüfmethoden

In der Tabelle 7 werden die „alte“ und „neue“ Prüfmethoden gegenübergestellt. Die Modifikationen der Prüfmethoden sind grundlegend, betreffen sie doch sowohl die Art der Belastung (sinus statt rechteckig), als auch die Spannungswerte, die Anzahl Zyklen und die Prüftemperatur. Auch der Belastungsstempel wurde vergrößert. Gleich geblieben sind die Belastungsdauer

und die Abmessungen der Prüfkörper. Die Belastungsdauer von 0,2 Sekunden wurde gemäß [5] bewusst gewählt, da sie einer Belastung des Belages bei einer niedrigen Fahrgeschwindigkeit (etwa 37 km/h) entspricht. Erfahrungsgemäß treten Spurrinnen vor allem auf Abschnitten auf, bei denen die Fahrzeuge eine niedrige Geschwindigkeit aufweisen, verzögern, beschleunigen oder sogar stehen.

DESTINATION ISTANBUL
EURASPHALT & EUROBITUME 5th E&E CONGRESS - 2012

5th EURASPHALT & EUROBITUME CONGRESS

13-15 June 2012 - Istanbul, TURKEY

Asphalt, the sustainable road to success

An excellent platform to learn about key industry issues such as:

- adapting to climate change
- durability & performance
- resource use and recycling
- responsible sourcing and green procurement

Register online and take advantage of the early bird registration fee until 31st March 2012

'Registration is now open'



www.eecongress2012.org

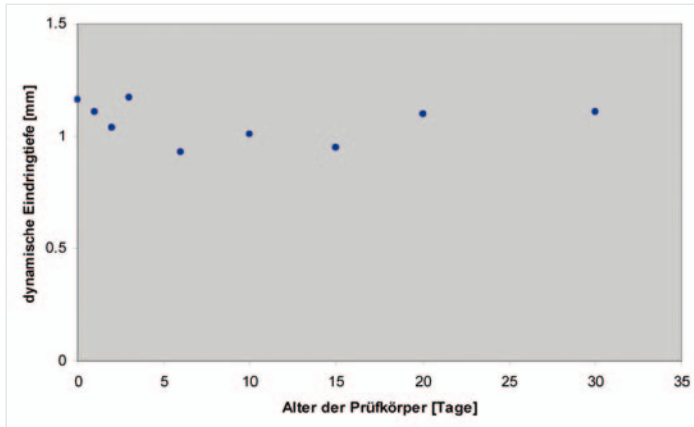


Abb. 1: Einfluss der Lagerungsdauer fertig hergestellter Prüfkörper aus Gussasphalt mit wachsmodifiziertem PmB auf die dynamische Eindringtiefe

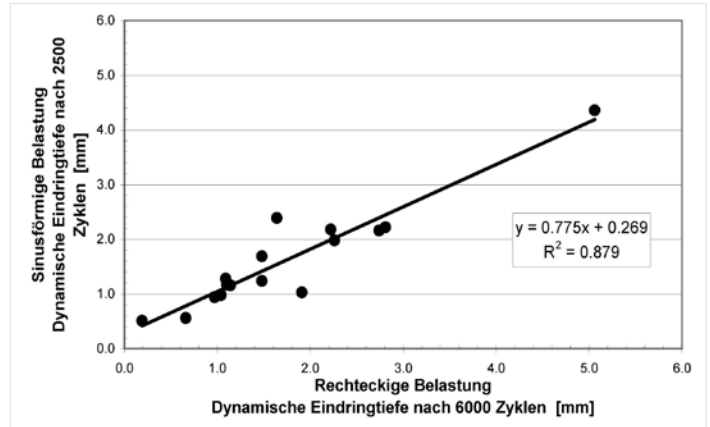


Abbildung 2: Vergleich der Bestimmung der dynamischen Eindringtiefe beider Prüfverfahren

Vergleich der Ergebnisse mit rechteckiger und sinusförmiger Belastung

Bei 16 verschiedenen MA-Proben wurde die dynamische Eindringtiefe mit beiden Prüfmethoden bestimmt. In der Abbildung 2 ist die Gegenüberstellung der Eindringtiefe der „alten“ Methode (6.000 Belastungszyklen) denjenigen der „neuen“ Methode (2.500 Belastungszyklen) dargestellt. Das neue Verfahren liefert generell etwas tiefere Werte. Der Korrelationskoeffizient der 16 Wertepaare ist mit $R^2 = 0,88$ recht befriedigend, obwohl das in [3] publizierte Niveau von 0,99 nicht erreicht wurde.

Diese guten Korrelationskoeffizienten erlauben es, die Untersuchungsergebnisse zu vergleichen. Daraus den Schluss zu ziehen, der Wechsel zur neuen Methode sei überflüssig, ist allerdings nicht korrekt: Bedingt durch den verkehrssimulierenden Spannungsaufbau (haversine) ist mit dem neuen Verfahren eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erwarten, weil unkontrollierte Spannungsspitzen vermieden werden. Darüber hinaus liegt das Ergebnis in der Hälfte der Zeit vor.

Vergleich mit statischer Eindringtiefe

Aus den laufenden Qualitätskontrollen mehrerer Baustellen wurden die Ergebnisse der statischen Eindringtiefe gemäß [7] mit denen der dynamischen Eindringtiefe nach [12] verglichen. Zusätzlich wurden ausgewählte Gussasphalte mit beiden Prüfmethoden untersucht. Auf diese Weise kann der Vergleich der beiden Prüfverfahren mit insgesamt 405 Wertepaare durchgeführt werden. Die Daten sind in der Abbildung 3 dargestellt. Die Werte der dynamischen Eindringtiefe sind generell größer als diejenigen der statischen Eindringtiefe; dieses Ergebnis war zu erwarten. Auffallend ist, dass im Bereich der statischen Eindringtiefen von 1,5 bis 2,5 mm die Werte der dynamischen Eindringtiefe zwischen 0,9 und 4,5 mm liegen. Die Bandbreite der Eindringtiefen beträgt bei der statischen Prüfung 1 mm, während sie bei der dynamischen Prüfung – für die gleichen Gussasphalte – 3,6 mm beträgt. Die deutlich bessere Spreizung der dynamischen Eindringtiefe kommt klar zum Ausdruck.

Bei Werten unterhalb von 1,5 mm entsteht in der Abbildung 3 der Eindruck, es würde eine

bessere Korrelation vorliegen, doch der Schein trügt. Der Korrelationskoeffizient R^2 aller 405 Wertepaare liegt bei 0,53, derjenige der Wertepaare, bei denen beide Werte unterhalb 1,5 mm liegen, beträgt 0,36.

Die Feststellung, dass die Trendlinie in Abbildung 3 nicht durch den Nullpunkt verläuft, ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass der Würfel mit 7 cm Kantenlänge, der für die statische Eindringtiefe verwendet wird, stets eine glatte, speckige Oberfläche aufweist. Bereits bei geringster Belastung und kurzer Belastungszeit führt diese oberflächliche Bindemittelanreicherung zu einer vermeintlichen Eindringtiefe von 0,3 bis 0,4 mm. Dieser „Fehler“ tritt bei der dynamischen Eindringtiefe deshalb nicht auf, weil die Probekörper vor der Prüfung geschliffen werden. Die Beanspruchung des Prüfkörpers erfolgt daher bereits zu Beginn der Prüfung direkt auf den Gesteinskörnungen der MA-Matrix.

Der niedrige Korrelationskoeffizient ($R^2 = 0,53$) aller 405 Wertepaare zeigt, dass wohl ein Trend zwischen den beiden Prüfergebnissen vorliegt, dass jedoch keine gesicherte Korrelation besteht.

Erstprüfungen

Durch Variationen der einzelnen Komponenten in ihrer Menge und Art soll deren Einfluss auf die dynamische Eindringtiefe untersucht werden. Der Einfluss der kompositionellen Parameter auf die Eigenschaften eines Gussasphaltes unter dynamischer Belastung trägt wesentlich dazu bei, die Empfindlichkeit des Prüfverfahrens beurteilen zu können.

Optimierung einer Rezeptur

Die Optimierung der Rezeptur des Gussasphaltes erfolgte, indem die dichteste Lagerung der Mineralstoffe gesucht wurde. Durch Variation der Korngrößenverteilungen konnte der kleinste Hohlraumgehalt der Mineralstoffe mittels Proctorverdichtung bestimmt werden. Die Dosierung des Bindemittelgehaltes erfolgt unter der Annahme, dass nicht nur die Hohlräume des Mineralstoffgerüsts zu füllen seien, sondern dass

Parameter		alte Prüfmethode	neue Prüfmethode
Temperierung		Luftbad	Luftbad
Prüftemperatur	°C	35	50
Unterspannung	N/mm ²	0,025	0,08
Oberspannung	N/mm ²	1,0	0,35
Impulsdauer	s	0,2	0,2
Pause zwischen den Impulsen	s	1,5	1,5
Belastungszyklus		rechteckig	sinusförmig
Stempel-Durchmesser	mm	43,70	56,419
Stempel-Fläche	mm ²	1.500	2.500
Abbruchbedingungen			
Anzahl Lastimpulse oder Eindringtiefe	mm	10.000 8,0	5.000 5,0
Probekörper			
Durchmesser	mm	150,0	150,0
Höhe	mm	60,0	60,0
Auswertung			
Eindringtiefe nach n Zyklen		6.000	2.500
Zunahme nach weiteren Zyklen		4.000	2.500
Gesamtanzahl Zyklen		10.000	5.000

Tabelle 7: Gegenüberstellung der früheren (alten) Prüfmethode und der neuen Prüfmethode

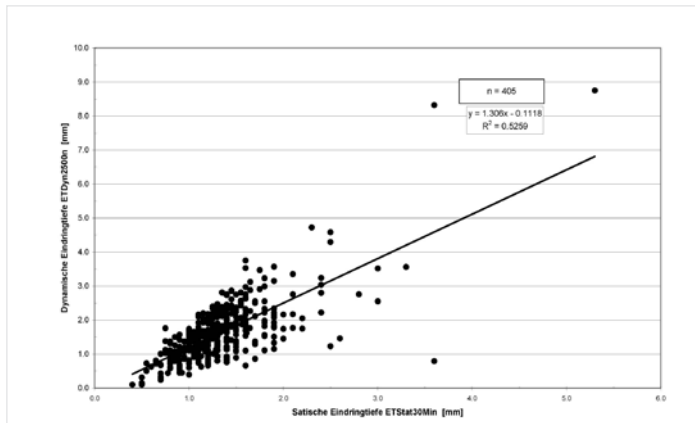


Abbildung 3: Gegenüberstellung der statischen Eindringtiefe nach 30 Minuten und der dynamischen Eindringtiefe nach 2.500 Belastungszyklen

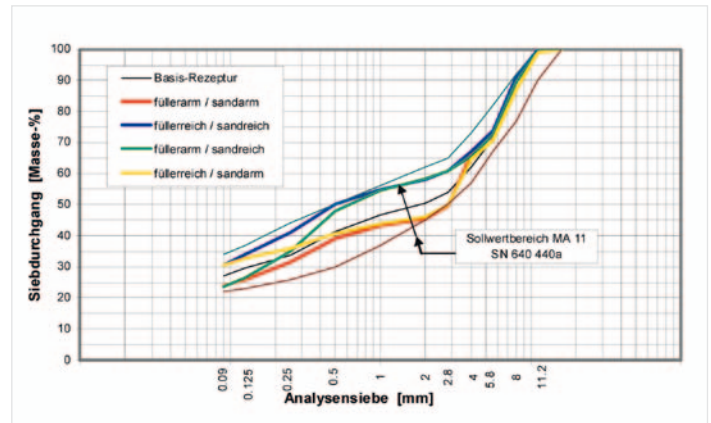


Abbildung 4: Grafische Darstellung der Variationen des Sand- und Füllergehaltes der im Labor hergestellten Mischungen (Ergebnisse der Siebanalyse)

darüber hinaus bei hohen Temperaturen ein gewisser Bindemittelüberschuss bestehen soll. Dieses Verfahren zur Optimierung von Gussasphalt-Rezepturen wurde von Rubach [9] publiziert und findet in der Praxis Anwendung.

Einfluss des Sand-/Füllergehaltes auf die dynamische Eindringtiefe

Zur Beurteilung des Einflusses der Variation von Füller- und Sandgehalt wurden, neben der bereits untersuchten Basis-Rezeptur, vier zusätzliche Gussasphalte hergestellt. Die Abbildung 4 enthält die weiteren vier Zusammensetzungen der Gussasphaltemischungen. Wie zu sehen ist, sind die Korngrößenverteilungen ab Siebdurchgang 4 mm identisch, sie unterscheiden sich nur im Füller-/Sand-Bereich. Der Bindemittelgehalt der einzelnen Mischungen wurde derart festgelegt, dass ein rechnerischer Bindemittelüberschuss von 0,2 Masse-% bei 220°C für die im Proctorversuch verdichteten Mischungen entsteht. Auf diese Weise werden die verschiedenen Mischungen vergleichbar, denn bei allen vier wurde der Bindemittelgehalt nach dem gleichen Prinzip optimiert. Als Bindemittel wurde ein Bitumen 35/50 verwendet.

An den vier Gussasphaltemischungen wurde die dynamische Eindringtiefe bestimmt. Die Bindemittelgehalte wurden auf Grund eines identischen Bindemittelüberschusses bei einer Verarbeitungstemperatur von 220°C festgelegt. Wie die Untersuchungsergebnisse in Tabelle 8 zeigen, bedeutet dies aber nicht, dass die absoluten Bindemittelmengen keinen Einfluss auf das Ergebnis der dynamischen Eindringtiefe des

Gussasphaltes haben. Wenn die als füllerarml/sandreich bezeichnete Mischung Nr. A03-0106 die geringste dynamische Eindringtiefe aufweist, dann deshalb, weil bei einer relativ geringen Bindemittelmenge von 6,6 Masse-% die beste Verarbeitbarkeit vorliegt.

Bei gleichem Füllergehalt reduziert ein höherer Sandgehalt die dynamische Eindringtiefe. Sowohl bei füllerreichen als auch bei füllerarmlen Mischungen haben jeweils die sandreichen Mischungen niedrigere Eindringtiefen. Werden die Proben A03-0083 (füllerreich/sand-arm) und A03-0082 (füllerarm/sandarm) verglichen, so ist bei nahezu identischen Eindringtiefen das Mehr von 6,0 Masse-% an Füller zu Lasten der Sandmenge durch ein Mehr an 0,9 Masse-% Bitumen kompensiert worden. Die dynamischen Eindringtiefen liegen sehr nahe beieinander.

Bei der Beurteilung der Eignung einer Gussasphaltrezeptur ist auch deren Verarbeitbarkeit zu beachten. Die Plastizität (Geschmeidigkeit) des Gussasphaltes bei dessen Einbautemperatur kann mit der Messung des Drehmomentes erfolgen, der erforderlich ist, um einen Rührer im heißen Gussasphalt zu drehen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in der Abbildung 5 dargestellt. Erwartungsgemäß hat die Mischung „füller- und sandreich“ das größte Drehmoment, sie würde sich für einen Handeinbau am wenigsten eignen. Bezogen auf die Verarbeitbarkeit der Gussasphalte in der Praxis sind die ermittelten Drehmomente in Abhängigkeit von der Temperatur als relativ hoch zu bezeichnen, mit Ausnahme der Mischung füllerarml/sandreich. Je nach den zu erwartenden Verkehrsbelastungen, müsste die

Bindemittelmenge zur Erzielung einer guten Verarbeitbarkeit etwas erhöht werden. Auch die Verwendung von wachsmodifiziertem Bindemittel würde eine deutliche Verbesserung der Verarbeitbarkeit bringen.

Einfluss der Bindemitteldosierung und der Bindemittelsorte auf die dynamische Eindringtiefe

Mit der gezielten Variation der Bindemitteldosierung und der Bindemittelsorte kann die Empfindlichkeit des Prüfverfahrens angesprochen werden. Angestrebt wird ein Prüfverfahren mit einer möglichst großen Spreizung der Ergebnisse, um in der Praxis unterschiedliche Mischgutkonzepte vergleichen zu können. Das Prüfverfahren soll aber auch Schwankungen in der Zusammensetzung des Mischgutes und in den Eigenschaften der Baustoffe aufzeigen. Zu diesem Zweck wurde an den in der Tabelle 9 charakterisierten Mischungen die statische und die dynamische Eindringtiefe durchgeführt. Aus der Abbildung 6 können für die untersuchten Proben sehr klar folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die dynamische Eindringtiefe zeigt die Unterschiede zwischen den einzelnen Mischungen sehr viel deutlicher auf, als die statische Eindringtiefe.
- Der Wechsel von der weicheren Bitumensorte 50/70 zur härteren 20/30 führt zu einer massiven Abnahme der dynamischen Eindringtiefe um 177 bis 211 % je nach Bindemittelgehalt. Die entsprechenden Abnahmen betragen bei der statischen Eindringtiefe lediglich 137 bis 160 %.

	füllerarm/sandarm	füllerreich/sandreich	füllerarm/sandreich	füllerreich/sandarm
Probe-Nr.	A03-0082	A03-0107	A03-0106	A03-0083
Dynamische Eindringtiefe nach 2.500 Zyklen (mm)	2,18	1,38	0,78	2,01
Zunahme nach weiteren 2.500 Zyklen (mm)	1,00	0,55	0,32	0,82
Bindemittelgehalt (Masse-%)	6,4	7,1	6,6	7,3

Tabelle 8: Ergebnisse der dynamischen Eindringtiefen an den 4 unterschiedlichen Mischungen

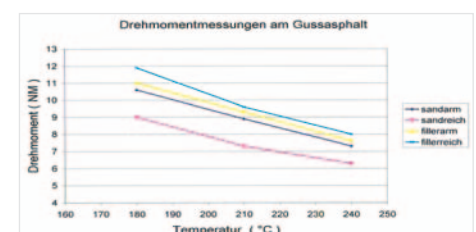


Abbildung 5: Drehmomentmessung am Gussasphalt bei verschiedenen Temperaturen

Bindemittelsorte	B20/30			B50/70		
Bindemittelgehalt	6,5	6,9	7,3	6,5	6,9	7,3
Füllergehalt	27,6	26,4	26,5	27,0	27,1	26,3
Sandgehalt	27,0	25,5	26,7	26,9	27,3	26,9
Spaltgehalt	45,4	48,1	48,8	46,1	45,6	46,8

Tabelle 9: Zusammensetzung der untersuchten Gussasphalt-Mischungen (in Masse-%)

■ Die Zunahme der dynamischen Eindringtiefe ist fast linear vom Bindemittelgehalt abhängig. Die Zunahme beträgt ca. 0,45 mm pro 0,1 Masse-% Bindemittel beim 50/70 und ca. 0,25 mm pro 0,1 Masse-% Bindemittel beim 20/30. Die sensible Reaktion der Prüfmethode auf kleine Unterschiede im Bindemittelgehalt bei gleichzeitiger hervorragender Wiederholbarkeit, ist für die Beurteilung von Gussasphaltmischungen in der Praxis sehr wertvoll.

Vergleichsmessungen zweier Prüfinstitute

An 21 Mischgutproben wurden Vergleichsmessungen in einem Zeitraum von zehn Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 7 dargestellt. Die Übereinstimmung mit einem Korrelationskoeffizienten von $R_2 = 0,97$ über einen Zeitraum von zehn Jahren ist bemerkenswert. Diese Übereinstimmung zeigt, dass mit entsprechender gegenseitiger Information und Austausch der Erfahrungen zwei verschiedene Prüfinstitute sehr ähnliche Werte liefern.

Bewertungshintergrund

Zur Festlegung von Anforderungen an die dynamische Eindringtiefe ist weiter notwendig:

- Auswertung der bisherigen Erfahrungen der beiden am Forschungsprojekt beteiligten Prüfinstitute.
- Bei einer Anzahl ausgewählter Objekte wurde der Zustand des Gussasphaltbelages beurteilt und es wurde die dynamische Eindringtiefe ermittelt.
- Die Auswertung der durchgeführten Eigentumsprüfung gibt Hinweise auf die Empfindlichkeit der Prüfmethode.

Auswertung bisheriger Erfahrungen

Die Abbildungen 8 und 9 der Gussasphaltsorten MA 11 S und MA 11 H geben einen Überblick

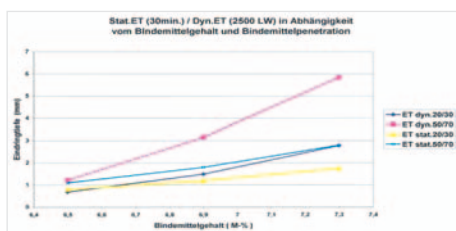


Abbildung 6: Einfluss von Bindemittelgehalt und -sorte auf die dynamische und die statische Eindringtiefe

über die von den beiden Prüfstellen seit der Umstellung auf die neue Prüfmethode untersuchten Gussasphalte. Es konnten insgesamt 506 Werte verschiedener Gussasphaltsorten erfasst werden.

Untersuchungen einiger Objekte

Um die Ergebnisse der dynamischen Eindringtiefe mit dem tatsächlichen Verhalten in der Praxis in Relation zu setzen, wurden aus den laufenden Projekten des IMP diejenigen Objekte ausgewählt, welche folgende Bedingungen erfüllten:

- Die dynamische Eindringtiefe der eingebauten Gussasphalte lag zum Zeitpunkt des Einbaus unterhalb 2 mm.
- Die Objekte sind mindestens seit fünf Jahren unter Verkehr.

Es fand ein Augenschein sämtlicher zehn Objekte statt. Bei acht von zehn Objekten konnten keine relevanten Deformationen festgestellt werden. Bei einem Objekt mit starkem Verkehr wurden Spurrinnen von 5 bis 10 mm nach fünf Jahren gemessen. Bei einem weiteren Objekt mit mäßigem Verkehr (Erschließungsstraße) wurden Spurrinnen von 2 bis 5 mm gemessen.

Grundsätzlich kann ausgesagt werden, dass sich die Objekte mehrheitlich gut verhalten haben. Gussasphalte mit dynamischen Eindringtiefen unterhalb 2 mm neigen nicht zur Spurrinnenbildung. Dass jedoch auch Objekte mit einer dynamischen Eindringtiefe < 2 mm Deformationen aufweisen können, zeigten ausgewählte Schadenfälle. In diesen Fällen hat sich herausgestellt, dass nicht der Gussasphalt selbst zu weich eingestellt war, sondern ungünstige konstruktive Zusammenhänge zu den erhöhten Verformungen geführt haben.

In der Tabelle 10 sind Beispiele aufgeführt, die den Zusammenhang zwischen der Spurrinnentiefe und der dynamischen Eindringtiefe ET_{dyn} liefern. In diesen Fällen wurden – teilweise nach nur wenigen Monaten – erhebliche Spurrinnen

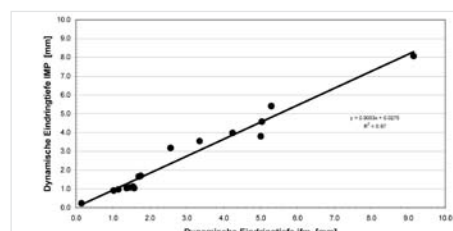


Abbildung 7: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Vergleichsmessungen zwischen den beiden am Forschungsprojekt beteiligten Labors

festgestellt; die Werte der dynamischen Eindringtiefe liegen vergleichsweise hoch.

Anforderungswerte

Die Anwendung von Gussasphalt als Abdichtungs-, Schutz- oder Deckschicht im Straßen- und Brückenbau hat in den letzten Jahren gezeigt, dass innerhalb des Mischguttyps H „sehr starke Beanspruchung“ die Eindringtiefe noch deutlich unter ET_{dyn} 2,5 mm reduziert werden muss, wenn besondere Beanspruchungen wie z. B. Stauräume vor Ampeln oder ähnliche Belastungen vorliegen. In diesen Fällen sind Werte in der Größenordnung von ET_{dyn} 1,0 mm anzustreben. Sollte es bei derart steif eingestellten Gussasphalten zu Verarbeitungsschwierigkeiten kommen, so bietet sich der Einsatz von viskositätsveränderten Bindemittel an. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen werden die in Abbildung 10 aufgeführten Anwendungsbereiche für die verschiedenen Gussasphalt-Typen vorgeschlagen. Unter Berücksichtigung der möglichen Schwankungen – aus den verwendeten Baustoffen, dem Aufbereitungsprozess, dem Nachmischvorgang, der Probenahme und der Prüfung – werden folgende maximalen Werte, die in jedem Falle einzuhalten sind, vorgeschlagen:

- MA Typ H (bzw. S für Deutschland): < 2,5 mm sowie
- MA Typ S (bzw. N für Deutschland): < 3,0 mm.

Literatur

- [1] Schellenberg, K.: Gussasphalt auf Brücken, Parkdecks und anderen Verkehrsflächen; Die Asphaltstrasse 1/91
- [2] Schellenberg, K.: Neue Prüfverfahren zur Beurteilung von Gussasphalt auf Betonbrücken; Bitumen 1/97
- [3] Schellenberg, K., Eulitz, H.J.: Ansprache des Verformungswiderstandes von Gussasphalt mit dem dynamischen Eindringversuch mit ebenem Stempel – Weiterentwicklung und Bewertungshintergrund; Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik; Heft 798, Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn; Dezember 2000
- [4] Leutner, R.: Der dynamische Stempelpendringversuch; Asphalt 5/03

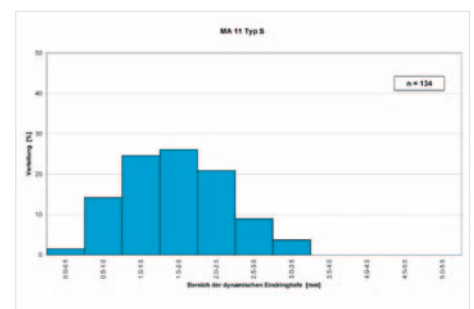


Abbildung 8: Bisherige Erfahrungswerte der dynamischen Eindringtiefe an der Gussasphaltsorte MA 11 S (bzw. N für Deutschland)

	Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 3	Beispiel 4
Verkehrsbelastung	T6	T6	T6	T6
Alter	2 Jahre	wenige Monate	4 Jahre	5 Jahre
Deckschicht ET dyn (mm) Δ ET dyn (mm)	5,3 1,8	4,0 1,8	2,6 1,1	1,9 0,7
Schutzschicht ET dyn (mm) Δ ET dyn (mm)	2,9 1,0	2,6 1,0	5,7 2,3	3,2 1,3
Spurrinnentiefe (mm)	5	9	5	23

Tabelle 10: Wesentliche Merkmale der Objekte bei denen die Spurrinnenbildung in Zusammenhang mit der dynamischen Eindringtiefe steht

- [5] TP A-StB, Dynamischer Eindringversuch mit ebenem Stempel (DE-GA) – Bestimmung des Verformungswiderstandes von Gussasphalt bei Wärme; FGSV
- [6] Angst, Ch., Schellenberg K.: Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt; Oktober 2008; Bericht 1248; Bundesamt für Strassen, Bern
- [7] SN 671 970, Bituminöses Mischgut, Prüfverfahren. Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung. Nov. 1999.
- [8] ISO 5725, Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen; Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens
- [9] Rubach, K.: Determination of the void content of mineral aggregate for guss-asphalt in a given state of compaction in order to estimate excess binder content; unpublished thesis; Institute für Highways Brunswick Technical University, 1989
- [10] AFNOR P 18-564, EN 933-6, Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Beurteilung der Oberflächeneigenschaften – Teil 6: Fließkoeffizienten von Gesteinskörnungen.
- [11] EN 1097-1, Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß (Micro-Deval).
- [12] SN 640 441-NA, Gussasphalt – Mischgutanforderungen; Anhang H
- [13] EN 13108-20, Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen – Teil 20: Erstprüfung
- [14] SN 640 440b, Gussasphalt; Konzeption, Ausführung, Anforderungen an die eingebauten Beläge

Anschrift des Verfassers:

Dr. Christian Angst; dipl. Ing ETH
IMP Bautest AG
Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten
c.angst@impbautest.ch

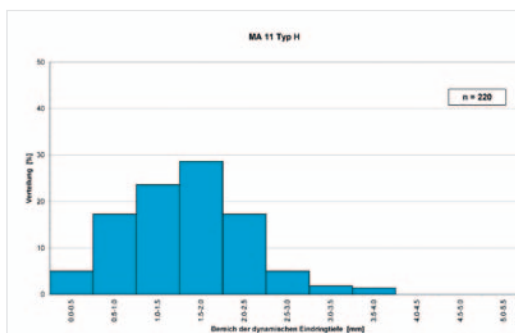


Abbildung 9:
Bisherige Erfahrungswerte der dynamischen Eindringtiefe an der Gussasphaltsorte MA 11 H (bzw. S für Deutschland)

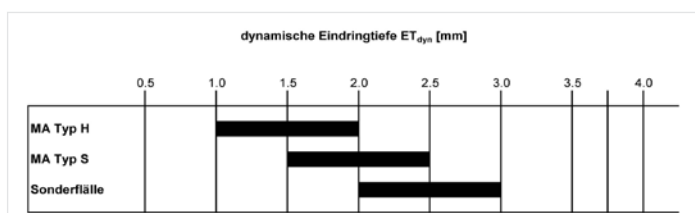


Abbildung 10: Darstellung der empfohlenen Anwendungsbereiche für die Gussasphalt-Typen S (N) und H (S) (Sonderfälle treten bei besonderen klimatischen Verhältnissen und/oder Höhenlagen auf)



INNOVATIVE ASPHALTMISCHANLAGEN FÜHRENDE TECHNOLOGIE VOM STARKEN PARTNER

„Liebesgrüße aus Moskau!“

...sendete uns unser Kunde kürzlich. Denn wieder einmal ging eine teltomat-Asphaltmischanlage in der Russischen Föderation zur vollen Zufriedenheit des neuen Besitzers in Betrieb. Diese Anlage mit einer Stundenleistung von 160 t nahm im Juli 2011 ihren Betrieb in Moskau auf und produziert seither stetig unter hoher Auslastung. Neben der insgesamt stimmigen Anlagenkonfiguration schätzt unser Kunde die vielen kleinen Details, die all unsere Produkte benutzerfreundlich während und wartungsfreundlich außerhalb der Produktion machen. So wie hier z.B. eine Heißsilierung mit Wartungsöffnungen zu den großen Taschen, einen separaten Bypass, eine getrennte Ausfuhr von Grob- und Feinstaub aus dem Filter, großzügige Podeste und Begehungen...

- Anlagenleistung von 160 t/h
- Kombinationsbrenner Erdgas und Diesel
- Heißmineralbunker mit 5 Taschen + Bypass, gesamt 40 t
- Bitumenlager mit erdgasbefuerter Erhitzeranlage
- Verladeanlage 120 t
- Zugabemöglichkeit für granulierten Faserstoffe

... und die Mischung stimmt



GP Günter Papenburg AG
Betriebsteil teltomat Asphaltmischanlagen

Ruhlsdorfer Str. 100 · 14513 Teltow
Telefon: 0 33 28 / 4 56 - 0
Telefax: 0 33 28 / 4 56 - 251
e-Mail: teltomat@gp.ag · www.gp-papenburg.de