

Nutzungsdauer von Asphaltschichten

Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad

Ulrich Lüthje, Braunschweig

Asphaltschichten aus Walzasphalten müssen, um ihren Aufgaben gerecht werden zu können, nach dem Einbau mit dem Straßenfertiger durch nachlaufende Walzen verdichtet werden. Der Verdichtungsgrad k, als Quotient aus erreichter Raumdichte PA bei der Verdichtung der Asphaltschicht auf der Straße und der am normgerecht mit 50 Verdichtungsschlägen je Probekörperseite hergestellten Marshall-Probeköper erreichten Raumdichte p'A, stellt derzeit den in den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt - StB) festgesetzten Anforderungswert dar. Dieser Anforderungswert ist im Laufe der vergangenen Jahre immer wieder in der Diskussion gewesen und einige Male aus den Erfahrungen der Praxis heraus verändert worden.

Unbestritten ist der Einfluss der Verdichtung auf die mechanischen Ei-

genschaften von Asphaltschichten. Beobachtungen in der Praxis zum Zusammenhang von festgestelltem Verdichtungsgrad und Verhalten des Asphaltes unter Verkehr bzw. beobachteten Schadensbildern lassen aber bisher nur qualitative Aussagen zu.

Um den Einfluss des Verdichtungsgrades quantitativ beschreiben zu können, wurde ein Forschungsantrag vom Deutschen Asphaltinstitut (DAI) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) dem Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) zur Förderung im Rahmen der Gemeinschaftsforschung eingereicht. Auf Empfehlung der Gutachtergruppe der AiF wurde der Antrag vom Bewilligungsausschuss befürwortet, und das Institut für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig mit der Durchführung beauftragt.

Es sollten der Einfluss des Verdichtungsgrades k auf die Nutzungsdauer von Asphaltschichten ermittelt sowie Grenzen einer Unter- und - falls vorhanden - einer schädlichen Überverdichtung herausgearbeitet werden. Weiterhin sollte in diesem Zusammenhang geprüft werden, ob nicht anstelle des Verdichtungsgrades k zweckmäßigerweise der Verdichtungsindex K zur Beschreibung der Verdichtungsanforderungen verwendet werden sollte. Der im Titel der Forschungsarbeit verwendete Begriff der Nutzungsdauer wurde im Rahmen der Arbeit im Sinne Gebrauchseigenschaften/ brauchsverhalten verstanden. Vorhersage einer exakten Nutzungsdauer, also eines definierten Zeitraumes, kann mit den zurzeit zur Verfügung stehenden Labor-Prüfverfahren und Modellansätzen zur Interpretation und Übertragbarkeit der Ergebnisse nicht erfolgen.

			Asp	haltbeton	0/11	Aspl	naltbinde	r 0/16	Splittmastixasphalt 0/11 S			
		Dim.	L	N	S	L	N	s	L ¹⁾	N ¹⁾	S1)	
Bindem	ittelsorte	-	B80	B80	B65	B45	B45	PmB45	B65	B65	PmB45	
Bindemitteldichte ρ _B		g/cm ³	1,019	1,021	1,028	1,035	1,035	1,034	1,024	1,028	1,032	
Bindemi	ittelgehalt	M-%	6,2	5,9	5,7	4,5	4,0	4,5	7,5	7,0	6,5	
Fü	iller	M-%	10	8	6	9	6	3	13	8	11	
Sand		M-%	40	34	34	31	26	22	17	15	12	
Edelsplitt > 2 mm		M-%	50	58	60	60	68	75	70	77	77	
Rohdichte des Mineralstoffgemisches $\rho_{R,Min}^{(2)}$		g/cm ³	2,773	2,830	2,864	2,870	2,871	2,926	2,869	2,879	2,856	
	2/5	M-%	21	18	25	13	15	15	17	14	7	
Edel-	5/8	M-%	12	13	14	11	11	12	20	25	26	
splitt	8 / 11	M-%	17	27	21	15	17	18	33	38	44	
	11 / 16	M-%	-	-	-	21	25	30	-	-	-	
Verhältn	is BS : NS	-	1:1	3:1	1:0	1:1	3:1	1:0	1:0	1:0	1:0	
Raumdichte	e ρ' _A am MPK	g/cm ³	2,497	2,544	2,473	2,539	2,444	2,440	2,485	2,474	2,474	
Rohdichte ρ _{R, bit} ³⁾		g/cm ³	2,518	2,558	2,589	2,603	2,648	2,654	2,513	2,542	2,591	
angestrebter Ho	hlraumgehalt H'bit	Vol%	1,0	3,0	5,0	3,0	5,0	7,0	2,0	3,0	4,0	
erreichter Hohlraumgehalt H'bit gemäß EPZ		Vol%	0,8	1,6	4,5	2,5	7,7	8,1	1,1	2,7	4,5	

^{1) 0,3} M-% Faserstoff ARBOCEL / 2) berechnet / 3) experimentell bestimmt

Tabelle 1: Zusammensetzung der für das Untersuchungsprogramm ausgewählten Asphalte (Ergebnisse aus der Eignungsprüfung)

		Dim.	Offenporiger Variante I ¹⁾	Asphalt 0/8 Variante II ¹⁾
Bindemit	ttelsorte		Cariphalte RXS	PmB45
Bindemitte	ldichte p _B	g/cm ³	1,025	1,032
Bindemitt	telgehalt	M-%	6,5	5,5
Fül	ler	M-%	3,0	3,8
Sai	nd	M-%	4,1	5,7
Edelsplitt	> 2 mm	M-%	92,9	90,5
Rohdichte des I misches		g/cm ³	2,953	2,946
	2/5	M-%	11,1	15,5
Edelsplitt	5/8	M-%	74,7	69,3
	8/11	M-%	7,1	5,7
Verhältnis	BS: NS	-	1:0	1:0
Raumdichte	p _A am MPK	g/cm ³	1,991	2,042
Rohdicht		g/cm ³	2,624	2,673
angestrebter H	ohlraumgehalt	Vol%	24,0	24,0
erreichter Hohlr gemäß		Vol%	24,1	23,6

^{1) 0,5} M-% Faserstoff ARBOCEL / 2) berechnet / 3) experimentell bestimmt

Untersuchungsumfang

Asphalte und Asphaltzusammensetzung

Es wurden drei Deckschichtasphalte – Asphaltbeton 0/11, Splittmastixasphalt 0/11 S und Offenporiger Asphalt 0/8 – sowie ein Asphaltbinder 0/16 untersucht. Asphaltbeton, Splittmastixasphalt und Asphaltbinder wurden jeweils in dreistufiger Variation der Zusammensetzung hergestellt und geprüft. Für den Offenporigen Asphalt waren zwei Variationen vorgesehen. Die Klassifizierung beim Asphaltbeton, Splittmastixasphalt und Asphaltbinder erfolgte mit Hilfe des Verdichtungswiderstandes D.

Die Zusammensetzung der Asphalte entsprach den Vorgaben der ZTV Asphalt-StB, Ausgabe 1994. Um der Bandbreite der in der Praxis zur Anwendung kommenden Asphalte Rechnung zu tragen, wurden für die Asphaltarten AB 0/11, SMA 0/11 S und ABi 0/16 je eine aufgrund ihrer

Zusammensetzung als leicht, normal und schwer verdichtbar zu charakterisierende Variante gewählt und entsprechend den Anforderungen und Grenzen nach ZTV Asphalt-StB 94 rezeptiert. Die Asphalte wurden in der Eignungsprüfung auf den Hohlraumgehalt Hbit am Marshall-Probekörper als Zielgröße asphalt- und variantenabhängig optimiert. Hierbei sind die Grenzbereiche der ZTV Asphalt-StB 94 bewusst ausgenutzt worden.

Die Rezeptierung der beiden Varianten des Offenporigen Asphaltes OPA 0/8 erfolgte zum einen aufgrund der Erfahrungen des Institutes, die beim Bau der Bundesautobahn A 2 gesammelt wurden, und der Empfehlungen der Mitglieder des Betreuungsausschusses, zum anderen wurde eine Rezeptur in Anlehnung an das "Merkblatt für den Bau Offenporiger Asphaltdeckschichten, Ausgabe 1998" gewählt. Auch hier erfolgte die Optimierung im Hinblick auf den Hohlraumgehalt.

Die gewählte Zusammensetzung so-

Tabelle 2: Zusammensetzung der für das Untersuchungsprogramm verwendeten Offenporigen Asphalte 0/8

wie die Ergebnisse der durchgeführten Eignungsprüfungen zeigen die Tabellen 1 und 2.

Asphaltprobekörper

Mittels des am Institut für Straßenwesen entwickelten Labor-Walzsektor-Verdichtungsgerätes wurden Asphaltprobeplatten mit weitestgehend praxisadäquaten mechanischen Eigenschaften hergestellt. Um den Einfluss des Verdichtungsgrades zu untersuchen, wurden für jede Variation Asphaltbeton, Asphaltbinder, Splittmastixasphalt sowie Offenporiger Asphalt Probeplatten unter systematischer Variation des Verdichtungsgrades in den Stufen 94%, 97%, 100% und 103% oder mit der maximal erreichbaren Raumdichte hergestellt. Um die angestrebte systematische Variation realisieren zu können, wurden sowohl die Anzahl der Walzübergänge mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät als auch die Maximalkraft der Verdichtung in Vorversuchen für jede Asphaltvariante individuell optimiert.

Insbesondere bei den leicht verdichtbaren Varianten des Asphaltbetons, Splittmastixasphaltes und Asphaltbinders hat sich gezeigt, dass ein Erreichen von Verdichtungsgraden größer 100% nicht möglich war. Hier wurde die Verdichtungsarbeit zum Erreichen des maximalen Verdichtungsgrades dann deutlich über die Verdichtungsgrad gesteigert. Für die Auswertung wurde davon ausgegangen, dass diese Platten die maximal erreichbare Raumdichte aufweisen,

			,	Asphal	tbeton	0/11							
Verdichtbarkeit		Le	icht			No	rmal		Schwer				
Verdichtungs- C [42 Nm]		6	,5			13	3,8		22,9				
widerstand D [21 Nm]	14,4					22	2,8		36,3				
Verdichtungsgrad [%]	94	97	100	max	94	97	100	max	94	97	100	max	
dynamische Stempel- eindringtiefe [mm]	2,98	2,41	1,96	2,40	2,21	1,28	1,19	1,41	1,78	1,06	0,77	0,81	
Spurrinnentiefe* [mm]	27,8	25,7	27,3	25,2	23,3	17,7	12,4	11,5	16,0	7,5	3,4	2,8	
Anzahl ertragener Lastwechsel [-]	10894	27627	36287	38905	7487	14832	32482	34961	7554	22400	47293	78560	
Zugfestigkeit bei T = -10°C [N/mm²]	3,982	4,514	5,662	5,783	3,409	4,249	4,887	5,106	2,652	3,774	4,331	4,277	

Tabelle 3: Untersuchungsergebnisse der drei Asphaltbetonvarianten 0/11

Tabelle 4: Untersuchungsergebnisse der drei Splittmastixasphaltvarianten 0/11 S

auch wenn die bestimmten Verdichtungsgrade nominell sich kaum von 100% unterscheiden. Aus diesen unter systematischer Variation des Verdichtungsgrades hergestellten Asphaltprobeplatten wurden die für die einzelnen Versuche benötigten Probeköper geschnitten.

Durchgeführte Versuche

Zur Ansprache der mechanischen Eigenschaften wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Bestimmung des Verdichtungswiderstandes C und der theoretisch maximal zu erreichenden Dichte ρ∞ über die Raumdichteänderung am Marshall-Probekörper,
- Bestimmung des Verdichtungswiderstandes D,
- Ermittlung des Verformungsmoduls mittels dynamischer Stempeleindringversuche mit seitlichem Stützdruck.
- Bestimmung der Spurrinnentiefe im Spurbildungstest,
- Erfassung des Rissverhaltens bei Kälte durch Zug- und Abkühlversuche sowie
- Beschreibung des Ermüdungsverhaltens mittels dynamischer Zug-Schwellversuche.

Die Versuche zum Verformungsverhalten wurden mit einer Prüftemperatur von einheitlich T = 50 °C durchgeführt.

Hinsichtlich der Belastung wurde bei den unterschiedlichen Versuchstypen keine Unterscheidung nach den Verdichtungsgraden getroffen; d.h., sämtliche Probekörper einer Serie wurden unabhängig vom Verdichtungsgrad mit der gleichen Belastung beansprucht.

Der Offenporige Asphalt ist lediglich hinsichtlich seines Verhaltens gegenüber tiefen Temperaturen untersucht worden, da Standfestigkeitsprobleme bei dieser Asphaltart von untergeordneter Bedeutung angesehen werden können.

> Tabelle 5: Untersuchungsergebnisse der drei Asphaltbindervarianten 0/16

			Split	ttmasti	xasph	alt 0/11	S						
Verdichtbarkeit						No	rmal		Schwer				
Verdichtungs- C [42 Nm]					24,1 35,8				36,7 41,7				
widerstand D [21 Nm]													
Verdichtungsgrad [%]	94	97	100	max	94	97	100	max	94	97	100	max	
dynamische Stempel- eindringtiefe [mm]	4,98	2,08	1,45	2,05	2,10	1,20	0,90	0,96	1,94	1,07	0,78	0,70	
Spurrinnentiefe [mm]	32,1	20,8	12,1	13,8	24,3	19,1	4,1	2,9	13,5	5,0	3,4	2,8	
Anzahl ertragener Lastwechsel [-1]	10584	38790	93356	97755	6463	15282	42372	54857	9496	23216	67835	108174	
Zugfestigkeit bei T = -10°C [N/mm²]	2,586	3,505	4,673	5,074	2,304	3,044	3,836	4,484	2,783	3,324	4,490	4,574	

Die Variationen der Asphalte sowie der Prüfumfang wurden so ausgelegt, dass die Auswertung durch die Methoden der mathematischen Statistik unterstützt werden konnte.

Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind in den Tabellen 3 bis 5 zusammengefasst. Die Eigenschaften Verformungsverhalten bei Wärme, Verhalten unter Dauerbelastung sowie Verhalten bei tiefen Temperaturen sind für jede Asphaltart und -variante - leicht, normal oder schwer verdichtbares Asphaltmischgut - jeweils in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad aufgeführt. Die Erläuterungen des Einflusses des Verdichtungsgrades auf das Gebrauchsverhalten, d.h. im Wesentlichen die oben genannten mechanischen Eigenschaften, der Asphalte werden anhand von Abbildungen beispielhaft unterstützt.

Es muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass sowohl ein Vergleich der Asphaltarten als auch ein Vergleich der einzelnen Varianten einer Asphaltart untereinander nicht bzw. nur eingeschränkt möglich ist. Die Asphalte wurden – wie bereits ausgeführt – praxisnah zusammengesetzt und weisen demzufolge zum Teil stark unterschiedliche Korngrößenverteilungen sowie Bindemittelarten

und -sorten (Straßenbaubitumen, polymermodifizierte Bindemittel) auf.

Verdichtungseigenschaften

Die Klassifizierung der Asphalte kann über den Verdichtungswiderstand erfolgen. Die Mischgutrezepturen waren dahingehend ausgerichtet, dass Asphaltmischgut hergestellt wurde, das als leicht, normal und als schwer verdichtbar bezeichnet werden kann. Die Ergebnisse spiegeln im wesentlichen den Stand der Erfahrung wieder. Wie aus der Abbildung 1 - Verlauf der exponentiellen Verdichtungsfunktion, d.h. der Verlauf der Raumdichte in Abhängigkeit von der Anzahl der Verdichtungsschläge je Probekörperseite mit dem Marshall-Verdichtungsgerät für die drei untersuchten Splittmastixasphaltvarianten deutlich wird, verlaufen die Kurven signifikant unterschiedlich.

Die leicht verdichtbare Variante - gekennzeichnet durch einen Verdichtungswiderstand C von 6,5 [42 Nm] erreicht die maximale Raumdichte von 2,503 g/cm3 bereits nach rund 35 Verdichtungsschlägen je Probekörperseite. Bei der normal und schwer verdichtbar rezeptierten Variante wird die maximale Raumdichte von 2,535 g/cm3 bzw. 2,530 g/cm3 erst nach 100 Verdichtungsschlägen je Probekörperseite (N-Variante) bzw. nach mehr als 100 Verdichtungsschlägen (S-Variante) erreicht.

			-	Asphalt	binde	r 0/16							
Verdichtbarkeit		Le	icht			No	rmal		Schwer				
Verdichtungs- C [42 Nm]	16,8				47,6				50.9				
widerstand D [21 Nm]	25,1				43,1				46,4				
Verdichtungsgrad [%]	94	97	100	max	94	97	100	max	94	97	100	max	
dynamische Stempel- eindringtiefe [mm]	1,51	1,29	2,21	1,92	1,85	1,20	0,84	0,94	2,27	1,32	0,84	0,77	
Spurrinnentiefe [mm]	10,8	5,5	4,0	4,4	7,9	6,1	3,8	2,4	9,4	4,9	4,6	1,8	
Anzahl ertragener Lastwechsel [-]	3789	40521	95824	136963	4899	51181	56812	382684	2429	8984	62757	34758	
Zugfestigkeit bei T = -10°C [N/mm²]	2,574	3,650	5,427	5,310	1,865	2,496	2,364	4,294	1,381	2,385	3,013	4,853	

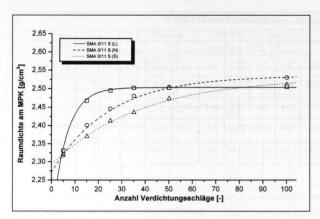


Abbildung 1: Verlauf der Verdichtungsfunktion für die drei Splittmastixasphaltvarianten 0/11 S

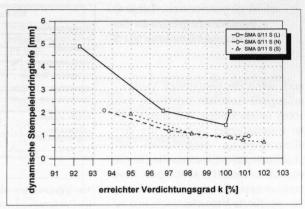


Abbildung 2: Dynamische Stempeleindringtiefe nach 20.000 Druck-Schwellbeanspruchungen der drei untersuchten Splittmastixasphaltvarianten 0/11 S in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad

Weiterhin ist aus den Tabellen 3 bis 5 ersichtlich, dass der Verdichtungswiderstand D - bestimmt über die Dickenänderung am Marshall-Probekörper - größer ist als der Verdichtungswiderstand C - bestimmt über die Änderung der Raumdichte am Marshall-Probekörper. Dies trifft für die Varianten der beiden Deckschichtasphalte Asphaltbeton und Splittmastixasphalt sowie die leicht verdichtbare Variante des Asphaltbinders zu. Bei der normal und schwer verdichtbaren Asphaltbindervariante kehrt sich dieses Verhältnis zugunsten des Verdichtungswiderstandes C um. Dies deckt sich mit den derzeitigen Erfahrungen, wonach sich eine Annährung der Werte der beiden Verdichtungswiderstände bei besonders schwer verdichtbaren Asphaltgemischen, zu denen die untersuchten Asphaltbindervarianten zu zählen sind, ergibt.

Verformungsverhalten bei Wärme

Das Verformungsverhalten bei Wärme wurde im dynamischen Stempeleindringversuch und im Spurbildungsversuch untersucht. Dabei wurden als Versuchsergebnis die dynamische Stempeleindringtiefe nach 20.000 Druck-Schwellbeanspruchungen und die Spurrinnentiefe nach 20.000 Übergängen mit dem Lastrad ermittelt.

Die in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad k ermittelten Werte der dynamischen Stempeleindringtiefe zeigen für alle Asphalte, dass durch eine Erhöhung des Verdichtungsgrades von 94% auf 100% eine Verbesserung

im Verhalten gegenüber bleibenden Verformungen auftritt. Bis auf eine Ausnahme – das ist der Fall beim leicht verdichtbar rezeptierten Asphaltbinder 0/16 – nehmen die Werte der Stempeleindringtiefe ab.

Bei einer weiteren Erhöhung des Verdichtungsgrades von 100% auf den maximal erreichbaren Wert ist dagegen ein von der Asphaltart und den Verdichtungseigenschaften abhängiges Verhalten zu beobachten. Bei den drei Asphaltbetonvarianten hat die Erhöhung des Verdichtungsgrades eine leichte Zunahme der dynamischen Stempeleindringtiefe zur Folge. Gleiches ist bei der leicht und normal verdichtbaren Variante des Splittmastixasphaltes 0/11 S und der normal verdichtbaren Asphaltbindervariante 0/16 zu beobachten. Die beiden standfester konzipierten Asphaltgemische - nämlich der schwer verdichtbare Splittmastixasphalt und Asphaltbinder - weisen bei einer Erhöhung des Verdichtungsgrades auf den maximal erreichbaren Wert eine leichte Verbesserung, d.h. eine Abnahme der Stempeleindringtiefe auf. Für den untersuchten Splittmastixasphalt sind die erläuterten Zusammenhänge in Abbildung 2 dargestellt. Inwieweit die gefundene Veränderung der Stempeleindringtiefe in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad als signifikant bezeichnet werden kann, ist ebenfalls der Tabelle über die Untersuchungsergebnisse zu entnehmen. Signifikante Änderungen von einer Stufe des Verdichtungsgrades zur nächsten sind durch fette Trennbalken der Ergebnisse in der Tabelle markiert.

Die Ergebnisse der Untersuchung der Spurrinnentiefe bestätigen im wesentlichen die Ergebnisse der dynamischen Stempeleindringversuche. Eine Erhöhung des Verdichtungsgrades hat eine Verbesserung des Verhaltens gegenüber bleibenden Verformungen zur Folge. Bei den Asphaltbetonvarianten wurde die messtechnisch erfass- und auswertbare Spurrinnentiefe von 20 mm bereits nach deutlich weniger als 20.000 Überrollungen erreicht. In diesem Fall wurde zusätzlich eine Auswertung bei Überrollungszahlen von 2.000, 4.000 und 10.000 Überrollungen vorgenommen. In der Ergebnisdarstellung in Tabelle 3 ist die Spurrinnentiefe abweichend von den beiden anderen Asphaltarten nach einer Überrollungszahl von 10.000 dargestellt.

Beim Spurbildungsversuch ist eine deutliche Differenzierung hinsichtlich der Stufen des Verdichtungsgrades wie bei den dynamischen Stempeleindringversuchen nicht gegeben. Weiterhin wurde im Spurbildungstest das bei den dynamischen Stempeleindringversuchen gefundene tendenziell ungünstigere Verformungsverhalten bei den maximal verdichteten Probekörpern der leicht und normal verdichtbaren Varianten nicht wiedergefunden. In diesem Zusammenhang gilt es zu klären, inwieweit die Prüfergebnisse durch die Präzision des Prüfverfahrens überlagert werden. Signifikante Änderungen der dynamischen Stempeleindringtiefen bzw. der Spurrinnentiefe aufgrund der Erhöhung des Verdichtungsgrades sind in den Tabellen ebenfalls durch fette Trennbalken deutlich gemacht.

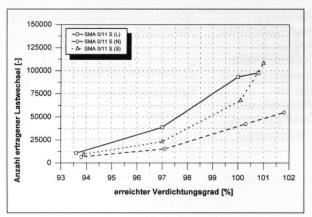


Abbildung 3: Anzahl ertragener Lastwechsel der drei untersuchten Splittmastixasphaltvarianten 0/11 S in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad

Verhalten gegenüber Dauerbeanspruchung

Das Ermüdungsverhalten, d.h. das Verhalten gegenüber Dauerbeanspruchung wurde im dynamischen Zug-Schwellversuch untersucht. wurden die Probekörper einer Schwellbelastung ausgesetzt, deren Unter- und Oberspannung in Anlehnung an das Bemessungsprogramm BISAR asphalt- und systemabhängig optimiert wurde. Als Ergebnis des Versuches wurde die Anzahl ertragener Lastwechsel bis zum Bruch des Probekörpers erhalten. Diese Werte sind in den Tabellen 3 bis 5 aufgeführt.

Es ist deutlich erkennbar, dass eine Erhöhung des Verdichtungsgrades in den vier systematisch variierten Stufen generell eine Erhöhung der Anzahl der ertragenen Lastwechsel zur Folge hat. Für den Bereich von 100% Verdichtungsgrad bis zum maximal erreichbaren Wert zeigen sowohl die Werte in den Ergebnistabellen als auch Abbildung 3 für das Beispiel Splittmastixasphalt, dass bei den mutmaßlich schwerer verdichtbaren Varianten eine stärkere Zunahme der ertragenen Lastwechsel zu verzeichnen ist als bei den leichter verdichtbaren Varianten. Eine signifikante Zunahme der Bruchlastwechselzahlen ist in den Tabellen wiederum durch fette Trennbalken gekennzeichnet.

Verhalten bei tiefen Temperaturen

Das Rissverhalten bei tiefen Temperaturen wurde in einaxialen Zugversuchen bei vier verschiedenen Prüftemperaturen ($+20^{\circ}$ C, $+5^{\circ}$ C, -10° C, -25° C) sowie Abkühlversuchen mit einer Abkühlrate von $\Delta T = -10$ K/h untersucht. Die Tabellen 3 bis 5 enthalten exemplarisch den ermittelten Wert

der Zugfestigkeit bei der Prüftemperatur von $T = -10^{\circ}C$.

Es zeigt sich auch hier, dass die Erhöhung des Verdichtungsgrades von 94% auf 100% eine Verbesserung der Zugfestigkeit nach sich zieht. Durch eine weitere Erhöhung auf den maximal erreichbaren Wert verbessert sich die Zugfestigkeit der untersuchten Asphaltgemische ebenfalls. Abbildung 4 verdeutlicht dies am Beispiel des Splittmastixasphaltes 0/11 S. Dargestellt ist die Zugfestigkeit der drei untersuchten Varianten für die vier Prüftemperaturen. Aufgrund Temperaturabhängigkeit der Zugfestigkeit erschien es bei der Darstellung der Ergebnisse sinnvoll, unterschiedliche Skalierungen der Ordinaten zu wählen. Das erkennbare leichte Abfallen der Zugfestigkeitswerte bei einigen Varianten kann auf zufallsbedingte Einflüsse und nicht auf den Einfluss des Verdichtungsgrades zurückgeführt werden.

Untersuchungen zum Verdichtungsindex K

Neben der Untersuchung zum Einfluss des Verdichtungsgrades auf das Verhalten von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt sollte geprüft werden, ob nicht der Verdichtungsindex K als Maßzahl zur Beschreibung für die optimale Verdichtung vorteilhafter anzuwenden ist als der Verdichtungsgrad k. Der Verdichtungsindex K ist eine Größe, die Bezug nimmt auf die maximal erreichbare Raumdichte

Neue Asphaltmischanlage



für den Wiederaufbau des Kosovo

Wir liefern, was Sie von uns erwarten: *teltomat*-Anlagen und technischen Service in rund 30 Ländern der Erde.
Zum Beispiel nach Ferejai im Kosovo:

- in Details a sit Assess 2000
- in Betrieb seit August 2000Leistung der Anlage: 180 t/h
- schnell montierbare, semimobile Ausführung
- PC-Steuerung, basierend auf Windows NT

Wir informieren Sie gern über unsere Asphaltmischanlagen,

Straßenreparaturgeräte und Recyclingtechnik

Günter Papenburg AG

BT teltomat

Ruhlsdorfer Straße 100 • 14513 Teltow 0183 · Tel.: 03328 / 456 0 · Fax: 03328 / 456 251 e-mail: teltomat@t-online.de • Im Internet unter: www.teltomat.com

asphalt Heft 8/2000 **13**

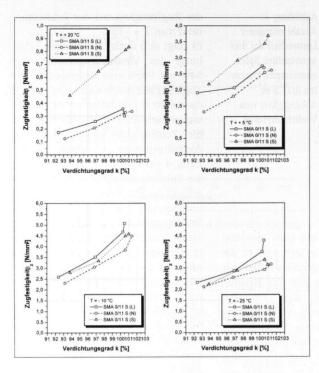


Abbildung 4:
Zugfestigkeit der drei
untersuchten
Splittmastixasphaltvarianten 0/11 S bei
den vier
Prüftemperaturen in
Abhängigkeit vom
Verdichtungsgrad

eines Asphaltmischgutes. Diese maximal erreichbare Raumdichte wird im Laboratorium aus der exponentiellen Verdichtungsfunktion bei der Bestimmung des Verdichtungswiderstandes C unter Verwendung des Marshall-Verfahrens ermittelt.

Durch die Verwendung der maximal erreichbaren Raumdichte als Bezugsgröße findet - anschaulich ausgedrückt - eine Verschiebung der Kurven "nach links" statt. Wird jetzt zur Beschreibung der Verdichtungsanforderung z.B. ein Verdichtungsindex K von 97% gefordert - nominell vergleichbar mit dem im Technischen Regelwerk festgesetzten Verdichtungsgrad k von 97% - können die Bereiche mit einem höheren Verdichtungsniveau und den damit geschilderten (in der Regel positiven) Einflüssen auf die mechanischen Eigenschaften bzw. das Gebrauchsverhalten erschlossen werden. In den Abbildungen 5a und 5b ist dies - wiedeam Beispiel des mastixasphaltes - für die dynamische Stempeleindringtiefe aufgezeigt.

Ein Vergleich der Diagramme zeigt, dass bei der leicht verdichtbaren Splittmastixasphaltvariante so gut wie kein Unterschied vorhanden ist. Die dynamische Stempeleindringtiefe bei einem Verdichtungsgrad von k = 97% beträgt rund 2,1 mm; bei einem Verdichtungsindex von K = 97% ist

der Wert annähernd gleich groß.

Bei der normal und schwer verdichtbaren Variante dagegen ist deutlich zu erkennen, dass durch die Wahl der maximal erreichbaren Raumdichte als Bezugsgröße zur Beschreibung der Verdichtung eine Verschiebung der Kurven stattgefunden hat, und zwar in den Bereich kleiner 100% Verdichtungsindex. Bei der normal verdichtbaren Variante beträgt die dynamische Stempeleindringtiefe bei einem Verdichtungsindex von K = 97% rund 1.1 mm - gegenüber 1.5 mm bei einem Verdichtungsgrad k = 97%, bei der schwer verdichtbaren Variante 0,9 mm bei K = 97% gegenüber 1,3 mm bei k = 97%. Für die übrigen untersuchten Merkmale können die Aussagen getroffenen übertragen werden.

Durch die Verwendung des Verdichtungsindexes K ist die Möglichkeit gegeben, die Bereiche einer größeren Raumdichte mit dem damit verbundenen positiven Einfluss auf die Eigenschaften der Asphalte "nutzbar" zu machen. Es ist zweifelsohne richtig, dass zum Erreichen dieser höheren Raumdichte eine größere Verdichtungsarbeit geleistet werden muss. Die Praxis zeigt aber auch, dass dies bei einigen Asphalten problemlos möglich - und zum Teil auch üblich - ist, was z.B. durch ermittelte Verdichtungsgrade von deutlich über 100% bei Asphaltbinderschichten bestätigt wird.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Insgesamt können aus den Untersuchungsergebnissen folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

Die einzelnen Asphalte bzw. Asphaltvarianten können durch den Verdichtungswiderstand klassifiziert werden. Die mechanischen Eigenschaften der untersuchten Walzasphalte werden durch den Verdichtungsgrad beeinflusst. Der den Untersuchungen zugrunde gelegte Verdichtungsbereich zwischen 94% Verdichtungsgrad und maximal erreichbarer Verdichtung kann in unterschiedliche Bereiche unterteilt werden: Die Grenze zwischen den beiden Bereichen kann nicht für alle untersuchten Asphalte und Asphaltvarianten allgemeingültig gezogen werden. Es muss vielmehr eine Differenzierung zum einen hinsichtlich der Verdichtungseigenschaften der untersuchten Asphalte getroffen werden, zum anderen lässt sich eine Abhängigkeit vom Versuchstyp und damit von der Art der Beanspruchung (Zug/Druck) erken-

Der Widerstand gegenüber Verformungen wird durch eine Erhöhung des Verdichtungsgrades von 94% auf 100% verbessert: Bei allen untersuchten Asphaltarten und deren Varianten zeigt sich - bis auf eine Ausnahme eine Verringerung der dynamischen Stempeleindringtiefe. Diese Verbesserung des Widerstandes gegenüber bleibenden Verformungen ist bis auf wenige Ausnahmen statistisch signifikant. Eine Erhöhung des Verdichtungsgrades von 100% bis zum maximal erreichten Verdichtungsgrad bewirkt bei den mutmaßlich weniger standfesten Asphaltvarianten, d.h. den leicht und normal verdichtbaren Varianten des Splittmastixasphaltes und Asphaltbinders sowie den Varianten des Asphaltbetons, wieder eine leichte Verschlechterung im Verhalten gegenüber Verformungen. Bei den schwer verdichtbaren Varianten des Splittmastixasphaltes und Asphaltbinders ist dagegen auch über 100% Verdichtungsgrad hinaus eine leichte Verbesserung der Verformungseigenschaften festzustellen. Eine statisti-

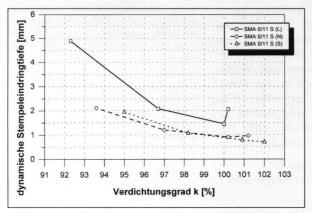


Abbildung 5a: Dynamische Stempeleindringtiefe der drei untersuchten Splittmastixasphaltvarianten 0/11 S in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad k

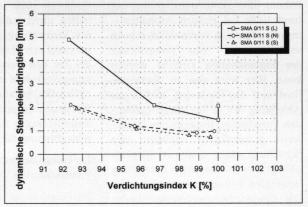


Abbildung 5b: Dynamische Stempeleindringtiefe der drei untersuchten Splittmastixasphaltvarianten 0/11 S in Abhängigkeit vom Verdichtungsindex K

sche Signifikanz der Ergebnisse ist hier nicht gegeben.

Das Verhalten der Asphalte gegenüber tiefen Temperaturen wird durch eine Erhöhung des Verdichtungsgrades über den gesamten untersuchten Bereich positiv beeinflusst: Im Verhalten gegenüber tiefen Temperaturen lässt sich bei einer Erhöhung des Verdichtungsgrades von 97% bis zu einem Verdichtungsgrad von rund 100% unabhängig von der Asphaltvariante eine verhältnismäßig stärkere Verbesserung der Eigenschaften feststellen als bei den Untersuchungen zum Verformungsverhalten. Diese gefundene Verbesserung der Eigenschaften bei tiefen Temperaturen ist in der Mehrzahl der Fälle statistisch signifikant.

Die Ermüdungsbeständigkeit wird durch eine Erhöhung des Verdichtungsgrades über den gesamten untersuchten Bereich positiv beeinflusst: Bei der Erhöhung des Verdichtungsgrades von 94% auf 100% gelten hier grundsätzlich auch die zum Verhalten gegenüber tiefen Temperaturen getroffenen Aussagen. Die Zunahme der ertragbaren Lastwechsel bei einer Erhöhung des Verdichtungsgrades in diesem genannten Bereich ist ebenfalls in der überwiegenden Zahl der Fälle signifikant. Die Ermüdungsbeständigkeit wird im Bereich von 100% Verdichtungsgrad bis zum maximal erreichten Verdichtungsgrad bei den mutmaßlicher schwerer verdichtbaren Varianten zum Teil signifikant verbessert.

Zur Diskussion der Frage der Grenze einer Unterverdichtung:

Die gefundenen Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass die in den ZTV Asphalt bzw. dem Merkblatt für

den Bau offenporiger Asphaltdeckschichten aus empirischen Überlegungen heraus gezogene untere Grenze von 97% Verdichtungsgrad richtig ist. Hinsichtlich des Verhaltens der Asphalte gegenüber Verformungen, tiefen Temperaturen sowie Dauerbeanspruchungen aus Verkehrslasten befindet man sich immer auf der "sicheren Seite". Die Steigerung des Verdichtungsgrades von 94% auf 97% bewirkt in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eine signifikante Verbesserung der jeweiligen Eigenschaft. Da eine engere Auflösung dieses Bereich im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht vorgesehen war, sind Aussagen, ob bei einigen Asphaltvarianten auch Verdichtungsgrade k von weniger als 97% ausreichend sein können, nicht möglich.

Die Untersuchungen haben weiterhin aber auch gezeigt, dass durch eine Er-

,0 1000,0 1200,0 — Force Trend

Neu: Vollautomatischer Fraass-Brechpunkt-Tester BPA 4 mit Online-Auswertung am PC

zur Prüfung bituminöser Bindemittel und polymer modifizierter Bitumen nach EN 12593, DIN 52 012, IP 80, JIS K 2207

- Die Einspannautomatik fixiert das Prüfplättchen; das Ergebnis wird bei Versuchsende angezeigt, automatische Protokollierung im PC
- Kraftmeßerfassung des Brechpunktes: "elektronisches Auge" sorgt für exzellente Wiederholbarkeit der Testergebnisse
- benötigt mit zusätzlichem Kryostaten keinen Wasseranschluß
- Steuerung und Auswertung über Software BPACon, editierbare Klartext-Parameterlisten für frei programmierte Tests

Petrotest Instruments GmbH & Co KG

Ludwig-Erhard-Ring 13 - D 15827 Dahlewitz Telefon: 033708 / 56 300 Fax: 033708 / 56 556



höhung des Verdichtungsgrades auf rund 100% bei einigen Asphalten – insbesondere den mutmaßlich schwer verdichtbaren – eine Verbesserung der Eigenschaften erreicht werden kann. Hier wäre also zu überlegen, inwieweit die Forderung nach einer Anhebung der in den zurzeit geltenden Vorschriften festgesetzten Grenzwerte gerechtfertigt erscheint. (Die Schaffung eines Konsens hierüber obliegt den am Bau bzw. Bauvertrag beteiligten Vertragspartnern.)

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf den Verdichtungsgrad der untersuchten Probekörper, d.h. der Verdichtungsgrad k, der mittels Tauchwägung bestimmt wurde. Für die Auswertung wurde dieser Verdichtungsgrad zugrundegelegt. Etwaige Toleranzen, wie sie in der Praxis beim Einbau von Asphalt vorgehalten werden, sind nicht berücksichtigt worden.

Zur Diskussion der Frage einer schädlichen Überverdichtung:

Die Beantwortung der Fragestellung, ob es eine schädliche Überverdichtung im Bereich der Asphaltverdichtung gibt und bei welchem Niveau diese anzusetzen ist, kann aus den Untersuchungsergebnissen nicht allgemeingültig abgeleitet werden. Hier ist eine Differenzierung nach den Verdichtungseigenschaften zwischen den einzelnen Asphalten und Asphaltvarianten unumgänglich.

Aus den Ergebnissen lässt sich weiter ableiten, dass eine durch "zu hohe Verdichtung" verursachte schädliche Wirkung nur bei den Versuchen zum Verformungsverhalten auftreten kann. Aufgrund physikalischer Zusammenhänge (Kraftübertragung innerhalb der Asphaltprobekörper) muss daher eine Unterscheidung nach der Belastungsart - in diesem Falle Druckbelastung - vorgenommen werden. So wird es möglich, das bei den mutmaßlich leichter verdichtbar rezeptierten Asphaltvarianten festzustellende Optimum bei einem Verdichtungsgrad im Bereich von rund 100% zu erklären. Bei den Zugversuchen sowie den dynamischen Zug-Schwellversuchen ist dieses Optimum nicht zu erkennen.

Bei den schwerer verdichtbaren Asphaltvarianten zeigen die Untersuchungsergebnisse, dass ein solches Optimum auch im Verformungsverhalten nicht auftritt. Die Steigerung des Verdichtungsgrades bis hin zum maximal erreichten Wert bewirkt weder bei den Versuchen zum Verformungsverhalten noch bei den Versuchen zum Verhalten gegenüber tiefen Temperaturen oder wiederholten Beanspruchungen Anzeichen einer Verschlechterung der Eigenschaften.

Zur Diskussion der Frage der Verwendung des Verdichtungsindexes K

Die Frage, ob nicht anstelle des in dem Technischen Regelwerk verankerten Verdichtungsgrades k der Verdichtungsindex K anzuwenden ist, ist ebenfalls nicht generell zu beantworten.

Unter Berücksichtigung der Verdichtungseigenschaften der leicht verdichtbaren Asphaltvarianten kann gesagt werden, dass für diese eine Beschreibung der Anforderungen zum Verformungsverhalten durch den Verdichtungsgrad k ausreichend ist. Diese Asphalte erreichen ihre maximal erreichbare Raumdichte bereits am nach Norm mit 50 Verdichtungsschlägen je Probekörperseite verdichteten Marshall-Probekörper.

Die Beschreibung der Anforderungen den Verdichtungsgrad erscheint bei den schwerer verdichtbaren Asphaltvarianten auf den ersten Blick als ausreichend. Die Untersuchungen haben aber gezeigt, dass durch die Verwendung der theoretisch maximal erreichbaren Raumdichte p_{A∞} als Bezugsgröße zur Beschreibung der Verdichtung asphaltabhängig Dichteniveaus angesprochen werden, bei denen die mechanischen Eigenschaften verbessert sind. Der so berücksichtigte individuelle Verdichtungsanspruch der Asphalte ermöglicht es, das vorhandene Verdichtungspotential dieser Asphalte zur Schaffung leistungsfähiger Fahrbahnbefestigungen optimal heranzuziehen.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt ZTV Asphalt StB 94; Ausgabe 1994
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltstraßen; Merkblatt für den Bau offenporiger Asphaltdeckschichten; Ausgabe 1998
- [3] Arand, W.; Renken, P.: Entwicklung und Optimierung eines Labor-Walzverdichtungs-Gerä-

tes zur Herstellung verdichteter Asphaltproben mit praxisadäquaten mechanischen Eigenschaften. Forschungsberichtbericht FE-Nr. 7.162 G 92 E des Bundesministeriums für Verkehr, Braunschweig 1996

[4] Arand, W.; v.d. Decken, S., Hase, M., Rubach, K.: Ermüdungsverhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen unter Last und Zwang. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. Ar 168/2-1 der Deutschen Forschungsgesellschaft, Braunschweig 1991

[5] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltstraßen: Arbeitsanleitung für die Bestimmung der Verdichtbarkeit von Walzasphalt mit Hilfe des Marshall-Verfahrens, Ausgabe 1997

[6] Arand., W.; Rubach, K.;v.d. Decken, S.: Grundlegende Untersuchungen über den Einfluss der Zusammensetzung auf die Ermüdungsbeständigkeit von Walzasphalten mittels systematischer Variation kompositioneller Merkmale zur Schaffung quantitativer Bewertungsmaßstäbe. Schlussbericht zum Forschungsauftrag FE-Nr. 07.147 G 90 K des Bundesministers für Verkehr. 1995

[7] Arand, W.; Dörschlag, S.; Pohlmann, P.: Einfluss der Bitumenhärte auf das Ermüdungsverhalten von Asphaltbefestigungen unterschiedlicher Dicke in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit der Unterlage, der Verkehrsbelastung und der Temperatur. Schlussbericht zum Forschungsauftrag FE-Nr. 07.120 G 85 K des Bundesministers für Verkehr, 1988

[8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltstraßen: Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau – TP A-StB, Teil: Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinnentiefe im Wasserbad; Ausgabe 1997

[9] Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen; Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen – Teil 1: Grundlagen, Teil 2: Behandlung von abweichenden Messwerten (Ausreißern)

[10] Eisenhart, C.: Assumptions underlying the Analyses of Variance. Biometrics 3, 1951

[11] Renken, P.: Die Verdichtbarkeit von Walzasphaltgemischen in Theorie und Praxis. Teil I und II, Straße und Autobahn, 5/82 und 6/82.

[12] Renken, P.: Verdichtbarkeit von Asphaltbetongemischen und ihr Einfluss auf die Standfestigkeit. Schriftenreihe des Instituts für Straßenwesen, TU Braunschweig, Heft 3, 1980.

Das Forschungsvorhaben wurde von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), aus den Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft (BMWi), unter der Nummer 11239N gefördert und auf den X. Deutschen Asphalttagen in Berchtesgaden vorgestellt.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. Ulrich Lüthje
Institut für Straßenwesen
Technische Universität Braunschweig
Pockelstraße 3
38106 Braunschweig
E-Mail: u.luethje@tu-bs.de