

Stoffkennwerte einer HGT mit Zusatz von Bitumenemulsion

FA 8.152

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamt für Bau von Landverkehrswegen (Prof. Dr.-Ing. G. Leykauf)
 Bearbeiter: Birmann, D./Willberg, U.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn
 Abschluss: Oktober 2000

1. Aufgabenstellung

Hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT) kommen sowohl unter Betondecken als auch unter Asphaltdecken zur Anwendung. Unter den Fugen der Betondecke wird ein Kerben der HGT gefordert, um Reflexionsrisse zu vermeiden. Auch unter Asphaltdecken ist bei hohen Festigkeiten, einer Einbaudicke über 20 cm sowie bei einer Gesamteinbaudicke der Asphalt-schichten von 14 cm und weniger ein Kerben vorgeschrieben. Bei Zugabe von Bitumenemulsion zu einer HGT – im folgenden als „Bitumen-HGT“ bezeichnet – wird erwartet, dass in Folge der visko-elastischen Eigenschaften des Bitumen-Zusatzes eine Reduzierung der Rissneigung erreicht wird. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit sollten offene Fragen bezüglich der Werkstoffkennwerte geklärt werden, um anhand einer Analyse der Beanspruchungen aus Verkehrslast und Temperatur entsprechende Fahrbahnkonstruktionen dimensionieren zu können. Die Zusammensetzung des Baustoffgemisches war entsprechend den Vorgaben so zu wählen, dass das Bindemittel mit hydraulischer Bindung überwiegt.

2. Untersuchungsmethodik

Im Rahmen einer erweiterten Eignungsprüfung durch die Abteilung Baustofftechnologie des Forschungsinstituts der Zementindustrie (FIZ) wurden zunächst Mischungszusammensetzungen mit unterschiedlichen Bindemittelkombinationen Zement (CEM I 32,5 R) und nichtionische, niedrigviskose und zement-stabile Bitumenemulsion auf Basis eines Straßenbaubitumens 160/220 (B 200) untersucht und folgende Kennwerte vom FIZ bestimmt:

- optimaler Wassergehalt im Proctorversuch,
- Druck-, Spaltzug- und Biegezugfestigkeit,
- statischer Druck-Elastizitätsmodul,
- Schwinden,
- kapillare Wasseraufnahme.

Als Zuschlag wurde Rheinkiessand 0/2 bis 16/32 sowie Quarzsand verwendet. Auf Grund der Voruntersuchungen wurde dann die Zusammensetzung für die Prüferserie zur Ermittlung der Stoffkennwerte einer Bitumen-HGT festgelegt, an der vom Prüfamt folgende Untersuchungen vorgenommen wurden:

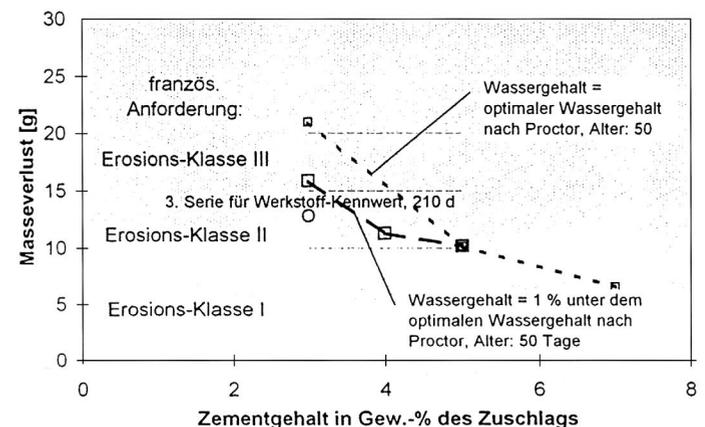
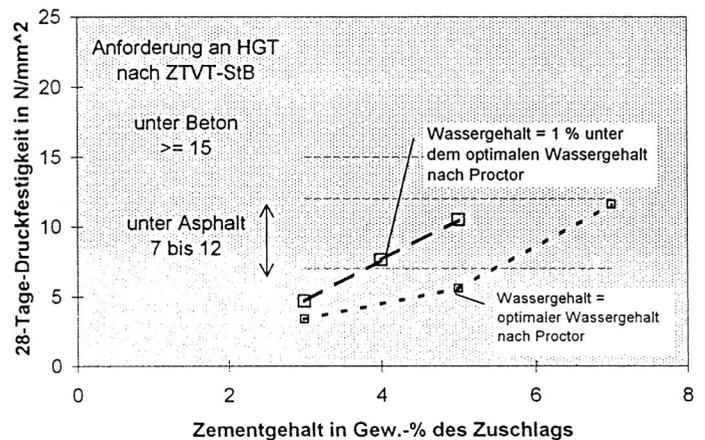
- Druckfestigkeit an Proctorkörpern sowie an Reststücken von Biegebalken 150 x 150 x 700 mm,
- Biege-Elastizitätsmodul, statische Biegezugfestigkeit, Zeitfestigkeit und bleibende Verformung bei Biegebeanspruchung,
- zentrische Zugfestigkeit an Prismen 60 x 60 x 300 mm,
- Rissverhalten bei thermisch induzierter Spannung (kryogene Spannung),
- dynamischer Schubmodul und Zeitfestigkeit unter Schubbeanspruchung,
- Querdehnzahl unter Druckbeanspruchung,
- Erosionswiderstand bei Abbürstversuchen an Proctorkörpern im Alter von > 50 Tagen,
- Erosionsverhalten einer Bitumen-HGT-Platte im Großprüfstand.

Die Analyse entsprechender Farbbahnkonstruktionen mit Bitumen-HGT erfolgte durch Spannungsberechnungen mit der Mehrschichtentheorie.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Erweiterte Eignungsprüfung beim FIZ

Bei der Herstellung der Prüfkörper zeigte sich, dass die Art der Bitumenemulsion und das hydraulische Bindemittel sorgfältig aufeinander abgestimmt werden müssen. Der Wassergehalt bei der 1. Serie der erweiterten Eignungsprüfung entsprach dem optimalen Wassergehalt nach Proctor ($w = 5,4\%$). Der Zementgehalt wurde zwischen 3 und 7 Gew.-%, die Zugabemenge der Bitumenemulsion zwischen 0 und 3 Gew.-% variiert. Die Bitumenemulsion hatte einen Bindemittelgehalt von ca. 60 %. Bei gleichem Zementgehalt sinken mit zunehmendem Anteil an Bitumenemulsion die Druckfestigkeit, Biegezug- und Spaltzugfestigkeit sowie der Elastizitätsmodul, weiter verringert sich das Schwinden und die kapillare Wasseraufnahme. Bei gleicher Zusammensetzung, jedoch geringerem Wassergehalt (2. Serie), wird die kapillare Wasseraufnahme reduziert und der E-Modul, die Spaltzugfestigkeit, die 28-Tage-Biegezugfestigkeit und 28-Tage-Druckfestigkeit (Bild 1) erhöht. Hervorzuheben ist das günstige Schwindverhalten nach 28 Tagen, das nur 25 % einer konventionellen HGT ohne Bitumenemulsion beträgt. Dies lässt im jungen Alter eine geringere Rissneigung erwarten.



1 und 2: 28-Tage-Druckfestigkeit und Masseverlust der Bitumen-HGT beim Abbürstversuch in Abhängigkeit von Zementgehalt und Wassergehalt; Abbürstversuch bei der 1. und 2. Serie mit 2% Bitumenemulsion, Alter: 50 Tage und 1 Abbürstversuch der 3. Serie, Alter 210 Tage

3.2 Werkstoff-Prüfserie

Auf Grund der Voruntersuchungen wurde folgende Zusammensetzung für die Prüfkörper gewählt, wobei zur Verstärkung der viskosen Komponente die Festigkeitsanforderung nach ZTVT-StB 95 nicht eingehalten wurde. Die 28-Tage-Druckfestigkeit der Bitumen-HGT betrug 4,7 N/mm² bei folgender Zusammensetzung:

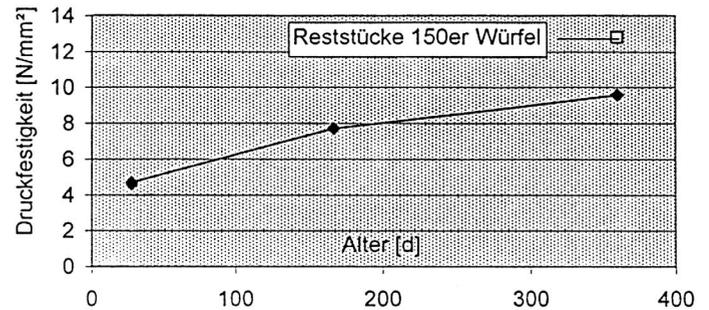
- 3 % Zementgehalt,
- 2 % Bitumenemulsionsgehalt,
- Wassergehalt w = 4,4 % incl. Emulsionswasser (1 % niedriger als der optimale Wassergehalt nach Proctor).

In der Tabelle 1 sind die im Rahmen der erweiterten Eignungsprüfung und der Werkstoff-Prüfserie ermittelten Stoffkennwerte der Bitumen-HGT aufgeführt.

Tabelle 1: Werkstoffkennwerte der Bitumen-HGT mit 3% Zementgehalt und 2% Bitumenemulsion (2. Serie der Eignungsprüfung und Werkstoff-Prüfserie)

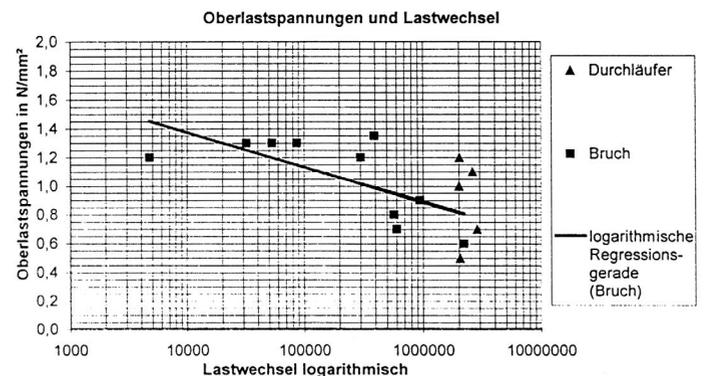
Kennwert	Prüfkörper-Abmessung	Dimension	Alter in Tagen	Wert (Mittel)
Druckfestigkeit	∅150/125 mm	N/mm ²	28	4,7
			167	7,7
			360	9,6
Statische Biegezugfestigkeit	150x150x700 mm	N/mm ²	28	1,2
			290	2,1
Dauerbiegezugfestigkeit	150x150x700 mm	N/mm ²	i.M. 214	0,9
Spaltzugfestigkeit	∅150/125 mm 150x150x150 mm	N/mm ²	28	0,7
			360	0,9
Zentrische Zugfestigkeit	30x30x60 mm	N/mm ²	170	1,0
Thermisch ind. Zugfestigkeit	60x60x300 mm	N/mm ²	240	1,1
Dynamischer Schubmodul	∅150 mm h = 70 mm	N/mm ²	100	-10°C: 2200
			100	+30°C: 400
			225	-10°C: 5000
			285	+30°C: 4000
Querdehnzahl	150x150x600 mm		330	0,14
Statischer Druck-E-Modul	∅150/300 mm	N/mm ²	28	10.000
Statischer Biege-E-Modul	150x150x700 mm	N/mm ²	214	18.900
Dynamischer Biege-E-Modul	150x150x700 mm	N/mm ²	214	19.600
Schwinden	100x100x500 mm	‰	28	-0,03
			360	-0,18
Masseverlust beim Abbürstversuch		g	50	16
			210	13
Kapillare Wasseraufnahme	∅100/200 mm	g/cm ²		0,02

Die Druckfestigkeit von Proctorkörpern beträgt nach 28 Tagen i.M. 4,7 N/mm² und steigt nach 360 Tagen auf mehr als das Doppelte an (Bild 3), zurückzuführen auf eine Änderung des Einflusses des Bitumenemulsionszusatzes mit der Zeit. Die mittlere Druckfestigkeit von Reststücken der Biegezugfestigkeitsprüfung (geschnittene Würfel mit 150 mm Kantenlänge) lag im Alter von 360 Tagen bei 12,8 N/mm². Dieser höhere Wert dürfte insbesondere durch die anderen Lagerungsbedingungen der Biegebalken-Reststücke nach der Prüfung (trocken) gegenüber den in Folie gelagerten Proctorkörpern erklärt werden.



3: Entwicklung der Druckfestigkeit der Bitumen-HGT (Proctorkörper in Folie gelagert)

Die statische Biegezugfestigkeit wächst von 1,2 N/mm² (Alter: 28 Tage) auf 2,1 N/mm² (Alter: 290 Tage), d.h. um 63 % an. Unter dynamischer Belastung weist die Bitumen-HGT – wie eine konventionelle HGT – eine Dauerfestigkeit auf. Die Dauerbiegezugfestigkeit (siehe Bild 4) beträgt im Mittel 0,9 N/mm² bei einem mittleren Alter der Prüfkörper von 214 Tagen. Demnach liegen vergleichbare Werte wie bei einer konventionellen HGT vor. Die statischen und dynamischen Biege-Elastizitätsmoduln liegen relativ dicht beieinander und betragen im Mittel jeweils ca. 19 000 N/mm².



4: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an der Bitumen-HGT; Oberlastspannungen und Lastwechselzahlen bei einer Unterspannung von 0,1 N/mm²

Die zentrische Zugfestigkeit bzw. die Bruchspannung bei Abkühlen des Körpers von Raumtemperatur (i.M. 20,4°C) um i.M. 3,7 K betrug 1,0 bzw. 1,1 N/mm². Die Spaltzugfestigkeit nahm im Zeitraum bis 360 Tage von 0,7 auf 0,9 N/mm² um 30 % zu. Diese Steigerung hat ein geringeres Ausmaß als die Druckfestigkeitssteigerung in diesem Zeitraum (100 %). Die Querdehnzahl bei einer Druckprüfung wurde i.M. zu $\mu = 0,14$ ermittelt, entsprechend den typischen Werten für zementgebundene Schichten. Die nahezu lineare Spannungs-Dehnungs-Linie unter Druckbeanspruchung und bei Zugbeanspruchung weist auf das Überwiegen der zementgebundenen Komponente hin.

Der dynamische Schubmodul von Prüfkörpern der Eignungsprüfung (2. Serie) mit einem Alter von 100 Tagen lag bei Temperaturen von -10°C und $+30^{\circ}\text{C}$ zwischen 2 200 und 400 N/mm^2 . Der dyn. Schubmodul der Werkstoff-Prüfserie mit einem größeren Alter von über 200 Tagen war wesentlich größer und weniger temperaturabhängig (Abnahme des dynamischen Schubmoduls im o.g. Temperaturbereich von 5 000 auf $4\,000\text{ N/m}^2$).

Die Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmendem Alter der Einfluss der viskosen Komponente verringert wird und die hydraulische Komponente überwiegt, verbunden mit einer festigkeitssteigernden Wirkung. Dies bedeutet, dass die untersuchte Bitumen-HGT im Alter von über 360 Tagen ein ähnliches Verhalten wie eine konventionelle HGT aufweist.

3.3 Erosions-Verhalten

Der bei den Abbürstversuchen an Proctorkörpern der ersten und zweiten Serie ermittelte Masseverlust, durch den die oberseitige Erosionsbeständigkeit quantifiziert wird, hängt von der Druckfestigkeit ab, d.h. mit zunehmendem Zementgehalt und gleichbleibendem Bitumenemulsions-Gehalt wird der Erosionswiderstand größer (Bild 2) und mit zunehmendem Alter nimmt der Erosionswiderstand zu.

Im Erosionsprüfstand waren an der Bitumen-HGT-Platte der Werkstoff-Prüfserie, die zu diesem Zeitpunkt eine Würfeldruckfestigkeit von fast 13 N/mm^2 (150 mm Kantenlänge) aufwies, keine Erosionserscheinungen bis auf einen kleinen Flächenanteil von ca. 1,4 % zu verzeichnen.

4. Schlussfolgerungen für die Praxis

Die untersuchte Bitumen-HGT mit 3 % Zement und 2 % Bitumenemulsion hat im Alter von 28 Tagen mit i.M. $4,7\text{ N/mm}^2$ eine geringere Druckfestigkeit als in den ZTVT-StB 95 gefordert. Mit zunehmender Liegedauer tritt eine Festigkeitsentwicklung auf etwa den doppelten Wert (nach 360 Tagen) ein, womit die Druckfestigkeits-Anforderungen nach ZTVT-StB 95 (im Alter von 28 Tagen) unter Betondecken erheblich unterschritten werden. Trotz der geringen Festigkeit wurde ein ausreichender Erosionswiderstand festgestellt. Demnach ist für eine entsprechende Bitumen-HGT die Einhaltung der Festigkeitsanforderungen nach ZTVT-StB 95 nicht erforderlich.

Vorteilhaft im Gegensatz zu einer konventionellen HGT ist das anfängliche sehr geringe Schwinden der Bitumen-HGT von i.M. 3×10^{-5} , das nach 360 Tagen auf einen Wert von i.M. 18×10^{-5} anwächst, d.h. auf einen Wert, wie er auch bei konventionellen HGT vorliegt. Daraus folgt, dass sich die Bitumen-HGT erst langfristig wie eine konventionelle HGT verhält. Dementsprechend erscheint es möglich, unter Betondecken auf das Kerben der Bitumen-HGT dann zu verzichten, wenn das Betonieren der Fahrbahndecke unmittelbar nach dem Einbau der Bitumen-HGT erfolgt. Durch das Fugenschneiden und die anschließende Rissbildung in der Betondecke wird ein Riss zwangsläufig in der Tragschicht entstehen, d. h. die Rissbildung in der Bitumen-HGT wird durch die Fugenausbildung der Betondecke gesteuert, spätere Rissbildungen in der Bitumen-HGT sind nicht zu erwarten.

Unter Asphaltdecken ist dieses langsamere Schwinden kein Vorteil, da eine spätere Rissbildung in der HGT zu einer Reflexions-Rissbildung im Asphalt führen kann. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass durch schweren Baustellenverkehr auf Grund der geringen Anfangsfestigkeit eine Mikrorissstruktur entsteht, womit die Gefahr einer späteren Reflexions-Rissbildung reduziert wird.

Da die untersuchte, relativ steife Bitumen-HGT nach einem Jahr vergleichbare Eigenschaften wie eine konventionelle HGT aufweist, ergibt sich unter diesen Voraussetzungen keine Auswirkung für die Bemessung entsprechender Oberbausysteme.

Im Rahmen einer ergänzenden Untersuchung, allerdings mit geringerem Umfang, sollte der Bitumenemulsionsanteil erhöht und der Zementgehalt reduziert werden. Damit ist zu erwarten, dass die viskose Komponente ausgeprägter wirksam ist und ein niedrigerer E-Modul erreicht wird. Dies wirkt sich auf die Dimensionierung aus und muss entsprechend berücksichtigt werden. Damit wären alternative Oberbau-Systeme mit einer mindestens 20 cm dicken Bitumen-HGT denkbar, die ein ähnliches Verhalten wie eine Asphalttragschicht erwarten lassen und dementsprechend mit einer erforderlichen Asphaltüberdeckung von weniger als 14 cm ausgeführt werden können.

Die an einer entsprechend modifizierten Bitumen-HGT im Labor festzustellenden Eigenschaften sollten an einer Erprobungsstrecke mit dünner Asphaltüberdeckung verifiziert werden, wobei auch das Verhalten in situ untersucht und baupraktische Erfahrungen gesammelt werden können. □