Neue Erkenntnisse zur Bindemittelgehaltsbestimmung

Unter besonderer Berücksichtigung des unlöslichen Bindemittelgehaltes nach DIN 1996 T. 6

Holle Fritsche, Dresden

Die Asphaltanalyse ist aus der Existenz des werksmäßig hergestellten Asphalts nicht mehr wegzudenken. Die Fragestellung lautete bereits vor Jahrzehnten: Wie verhält sich die geplante Zusammensetzung, die Mischung aus Bitumen und den kornabgestuften Mineralstoffen zu den aus der Asphaltmischung, zwecks Kontrolle separierten Komponenten, dem durch Extraktion zurückgewonnenen löslichen Bitumen und den „vom Bindemittel befreiten" Mineralstoffen?

Das Zugabebitumen entspricht trotz sorgfältiger und erschöpfender Extraktion nicht gleichgewichtig dem extrahierten Bitumen. Der Anteil an diesem so genannten löslichen Bitumen ist stets mehr oder weniger geringer, sodass von einem Anteil an unlöslichen, von den Mineralstoffen festgehaltenen absorbierten Bitumen ausgegangen werden muss. Die im Straßenbau verwendeten Mineralstoffe verhalten sich dabei unterschiedlich.

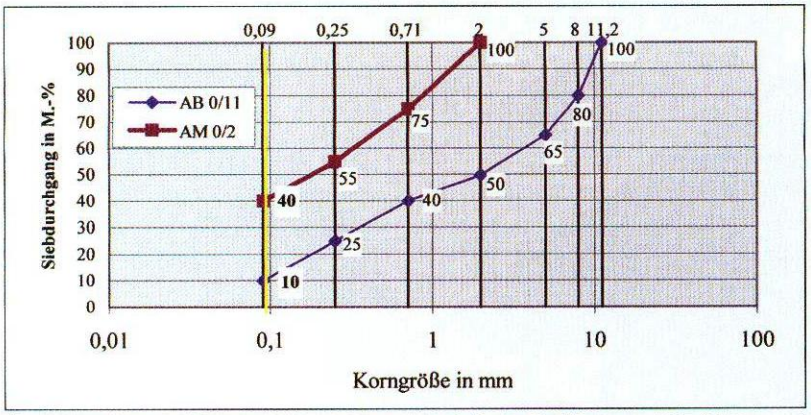


Abb. 1: Korngrößenverteilung von Modell-Asphaltbeton AB 0/11 und Modell-Asphaltmastix AM 0/2

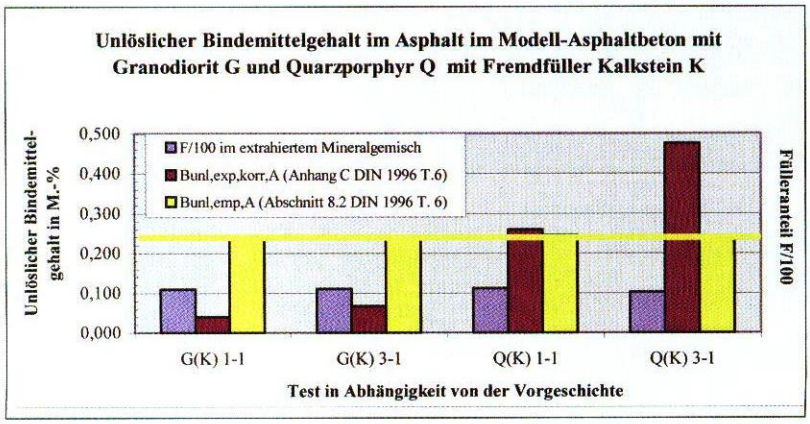


Abb. 2: Vergleich des empirisch und experimentell bestimmten unlöslichen Bindemittelgehaltes von Modell-Asphaltbeton AB 0/11 (Sofortextraktion = 1; Extraktion nach thermischer Beanspruchung = 3) und Fülleranteil F/100 in vom Bindemittel befreiten Mineralstoffen, Test 1

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Dauer des Kontaktes von Bitumen und Mineralstoffen, also das Alter des Asphalts (die Zeitspanne vom Status naszendi des Asphalts bis zum Zeitpunkt der Analyse) den Anteil der unlöslichen Bestandteile beeinflussen kann. Die Art und Intensität der thermischen Beanspruchung bei der Asphaltherstellung kann ebenfalls den Anteil an unlöslichem Bitumen verändern.

Über die Art der Extraktion, ob heiß oder kalt und mit welchem Lösemittel, existieren bei der Asphaltanalyse, historisch betrachtet (mit Ausnahme des zu weiterführenden Untersuchungen verwendeten zurückgewonnenen löslichen Bindemittels) keine wesentlichen Einschränkungen. Der Wandel der Lösemittel im Laufe der Zeiten ist durch neue Erkenntnisse über Gesundheitsgefährdung bedingt.

Empirische Bindemittelgehaltsbestimmung

Die Entwicklung der Asphaltanalyse lässt sich seit 1929 (DIN 1995) [1], im Jahre 1935 bereits als DIN 1996 [2] benannt, bis heute verfolgen. Die zurzeit gültige Norm DIN 1996 T. 6 [3] zur Bindemittelgehaltsbestimmung stammt aus dem Jahre 1988 und ist seitdem unverändert.

Der Anteil an unlöslichem Bitumen wurde im Laufe der Zeit unterschiedlich berücksichtigt, wenn er nicht experimentell bestimmt wurde. Das experimentelle Verfahren erfreute sich nicht allzu großer Beliebtheit, da es relativ aufwändig und kompliziert ist. So wurden zunächst der Einfachheit halber empirisch, auf Erfahrungen beruhend, bestimmte fixe Zuschläge in Abhängigkeit vom Füllergehalt dem löslichen Bindemittelgehalt zur Ermittlung des Gesamtbindemittelgehaltes hinzugefügt.

In der Ausgabe der DIN 1996 T. 6 von

1973 [4] taucht zum ersten mal eine Gleichung zur Bestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes (hier noch U_B bezeichnet), im Folgenden als Füllergleichung bezeichnet, auf.

$U_B = 0{,}013 \times F^* + 0{,}1$ (Gleichung 1)

U_B ist der unlösliche Bindemittelgehalt im Asphalt und F* bedeutet hierbei den Füllergehalt im Asphalt (könnte besser mit F_A bezeichnet werden).

In der heute noch gültigen Norm bedeutet das Symbol F Füllergehalt (während der Bearbeitung des Forschungsvorhabens noch als Kornklasse < 0,09 mm definiert) des Mineralgemisches (könnte besser mit F_M bezeichnet werden) und die Gleichung lautet:

$B_{unl} = 0{,}013 \times F + 0{,}1$ (Gleichung 2)

Aber B_{unl} ist nach Definition der unlösliche Bindemittelgehalt im Asphalt (könnte besser mit $B_{unl,A}$ bezeichnet werden), obwohl die Gleichung früher einen anderen Bezug hatte.

In Zukunft wird die Europäische Norm DIN EN 12697-1 [5] gültig sein, die im Unterschied zu den bis dahin ca. ein Dreivierteljahrhundert in Deutschland gültigen Verfahren, nur den löslichen Anteil des Bindemittels berücksichtigt. Dennoch wird auf den Anteil des unlöslichen Bitumens, welcher den Anteil des löslichen beeinflussen wird, hingewiesen.

Die experimentelle Bestimmung

Das Forschungsvorhaben, das im Januar 2004 abgeschlossen wurde, ist aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter der Nummer 12549BR/1 über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) Otto von Guericke e.V. und durch das Deutsche Asphalt Institut (DAI) e.V. gefördert worden. Es soll mittels der experimentellen Bestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes nach Anhang C der DIN 1996 T. 6 bzw. alternativen einfacheren Verfahren nachgewiesen werden, welche Berechtigung die heute noch gültige und vertragsrelevante Form der Füllergleichung hat und inwiefern sie einen Anspruch auf Gültigkeit bei der Bestimmung des Gesamtbindemittelgehaltes besitzt.

Die experimentelle Bestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes nach Anhang C soll kurz mit den durchzuführenden Arbeitsschritten beschrieben werden: Voraussetzung dafür ist das Vorliegen der durch Extraktion des jeweiligen Asphalts vom Bindemittel befreiten Mineralstoffe. Dem schließt sich die Ermittlung der Korngrößenverteilung an und die Aufbereitung dieser Mineralstoffe. Die am Korngemisch beteiligten Kornklassen mit Ausnahme des Füllers werden mittels Mörsermühle auf eine Korngröße < 0,09 mm gemahlen. Die einzelnen Mahlgüter einschließlich Füller werden gemäß der Korngrößenverteilung zusammengesetzt. Dieses Mineralpulver ist die Ausgangsprobe für die Bestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes. Eine Teilprobe von 5 g wird mit 15%iger Salzsäure für 90 Minuten unter Rückfluss gekocht, um im Mineralpulver enthaltene Carbonate in lösliche

Ihr kompetenter Full-Liner

Augenblick mal...

... denn hier geht es um beste Qualität für den Straßenbau.

Mit Markenprodukten von Dynapac und Svedala Demag.

- Kettenfertiger
- Radfertiger
- Vibrationswalzen
- Dazu PaveComp, das praxisgerechte Computerprogramm für den Asphalteinbau und die Asphaltverdichtung. Einfach anfordern.

Die **Vorteile** werden Sie **überzeugen.**

DYNAPAC
SVEDALA DEMAG

Dynapac GmbH
Ammerländer Straße 93, 26203 Wardenburg
Telefon 04407/972-0, Fax 04407/972-159
e-Mail: dynapac.gmbh@dynapac.com
Internet: www.dynapac.de

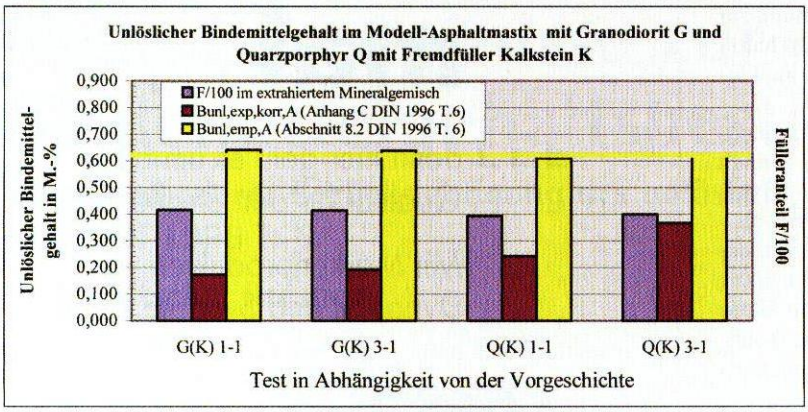


Abb. 3: Vergleich des empirisch und experimentell bestimmten unlöslichen Bindemittelgehaltes von Modell-Asphaltmastix AM 0/2 (Sofortextraktion = 1; Extraktion nach -thermischer Beanspruchung = 3) und Fülleranteil F/100 in vom Bindemittel befreiten Mineralstoffen, Test 1

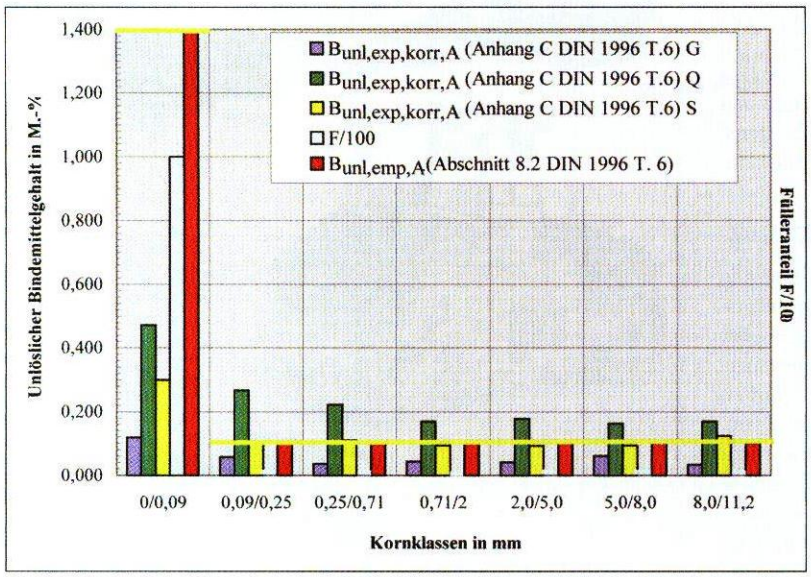


Abb. 4: Unlöslicher Bindemittelgehalt von extrahierten Kornklassen von Bitumen-Granodiorit-Gemischen, Bitumen-Quarzporphyr-Gemischen und Bitumen-Syenodiorit-Gemischen und Fülleranteil F/100 im extrahierten Mineralgemisch

Chloride zu überführen und somit den anorganischen Kohlenstoff zu entfernen. Die carbonatfreien Mineralstoffe werden durch Zentrifugieren (Z), Chloridfreiwaschen und Trocknen gewonnen. Alternativ kann auch filtriert (F) werden. Der carbonatfreie, unlösliches Bindemittel enthaltende Rückstand wird im Sauerstoffstrom bei hohen Temperaturen behandelt, sodass die Kohlenwasserstoffe des unlöslichen Bitumens durch Oxidation in Kohlendioxid und Wasser überführt werden. Das Kohlendioxid wird detektiert und durch stöchiometrische Umrechnung der organische Kohlenstoffgehalt bestimmt. Durch Multiplikation mit dem Faktor 1,18 wird der unlösliche Bitumengehalt berechnet. Der Nachweis des organischen Kohlenstoffs erfolgt nicht mittels Röhrenofen nach dem historischen Verfahren nach Lavoisier, sondern wird dem Stand der Technik entsprechend in einem Elemental Analyzer EA 3000 bestimmt.

Die in der DIN 1996 T. 6 , Anhang C enthaltene Gleichung zur Berechnung des unlöslichen Bindemittelgehaltes:

$$C_M = \frac{m_{A,M1} \cdot K \cdot 0{,}2729}{m_{E,M} \cdot m_{E,q}} \cdot 100 \quad \text{(Gleichung 3)}$$

C_M = Gehalt an organischem Kohlenstoff der vom Bindemittel befreiten Mineralstoffe in M.-%

$m_{A,M1}$ = Auswaage der von Carbonaten befreiten Mineralstoffe in g

K = Menge des gefundenen CO_2 in der Einwaage $m_{E,q}$ in g

$m_{E,M}$ = Einwaage an vom Bindemittel befreiten Mineralstoffen in g

$m_{E,q}$ = Einwaage an von Carbonaten befreiten Mineralstoffen d.h. aliquoter Teil von $m_{A,M1}$ in g

0,2729 ergibt sich aus dem Verhältnis von CO_2 : C = 44 : 12 = 1 : 0,2729, der Umrechnung von gravimetrisch bestimmtem Kohlendioxid CO_2 zu Kohlenstoff C

vereinfacht sich, da als Ergebnis der Analyse im EA 3000 bereits der gesamte organische Kohlenstoffgehalt $C_{org,\ EA}$ in den carbonatfreien Mineralstoffen in Masseprozent ermittelt wird. Durch Multiplikation mit dem Anteil der carbonatfreien Mineralstoffe in den aufbereiteten, vom Bindemittel befreiten Mineralstoffen ergibt sich das C_M der obigen Gleichung (3).

Des Weiteren wird eine mineralstoffspezifische zwar meist geringfügige Korrektur, welche den organischen Kohlenstoffgehalt in den jeweiligen Blindproben, den nicht mit Bitumen in Kontakt getretenen Mineralstoffen, berücksichtigt, als $C_{M,bl}$ bezeichnet, erforderlich. Durch Subtraktion von C_M wird dies berücksichtigt.

Eine weitere Multiplikation der Differenz (C_M – $C_{M,bl}$) mit dem Anteil der Mineralstoffe im Asphalt ist nun erforderlich, um den darin befindlichen organischen Kohlenstoffgehalt zu berechnen. Die Multiplikation mit 1,18 führt dann zum experimentell bestimmten korrigierten unlöslichen Bindemittelgehalt im Asphalt $B_{unl,exp,korr,A}$, der durch Absorption in den durch Extraktion „vom Bindemittel befreiten Mineralstoffen" hartnäckig festgehalten wird.

Grenzen der Füllergleichung und Perspektive

Ein Kriterium für die Akzeptanz oder Nichtakzeptanz des empirisch mit der Füllergleichung errechneten vertragsrelevanten unlöslichen Bindemittel-

gehaltes im Asphalt, mit $B_{unl,emp,A}$, ist der prozentuale Quotient.

$Q_{unl} = 100^* B_{unl,exp,korr,A}/B_{unl,emp,A}$ (Gleichung 4).

Der Anteil an unlöslichem Bindemittelgehalt B_{unl} oder $B_{unl,emp,A}$ kann nach den gemäß ZTV Asphalt festgelegten höchsten Füllergehalten im Mineralgemisch (für Gussasphalt GA 0/5 bis zu 34 M.-%, für Asphaltmastix AM 0/2 bis zu 60 M.-%) rein rechnerisch nach der Füllergleichung bis zu 0,54 M.-% bzw. 0,88 M.-% betragen. Allerdings gibt es nach DIN 1996 T. 6 Abschnitt 8.2 eine Begrenzung zur Anwendbarkeit der Füllergleichung, welche einen damit berechneten unlöslichen Bindemittelgehalt im Asphalt von 0,6 M.-% festlegt, welcher dann folglich eine Obergrenze des Füllergehaltes im Mineralgemisch F_M von 38,5 M.-% ergibt. Bei höheren Füllergehalten bzw. $B_{unl,emp,A} > 0{,}6$ M.-% ist nach Abschnitt 8.2 der unlösliche Bindemittelgehalt experimentell nach Anhang C der DIN 1996 T. 6 zu bestimmen.

Doch nicht nur, wenn dieser zugegebenermaßen recht seltene Fall auftritt, ist die experimentelle Bestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes erforderlich. Sie ist nach Abschnitt 8.1 ebenfalls dann anzuwenden, wenn Bitumen/Asphalt thermisch überbeansprucht wird, oder wenn stark gealterte Proben vorliegen. Da sollte an Asphaltgranulate, welche jahrelang in Straßenkonstruktionsschichten gelegen haben, gedacht werden. Unter Abschnitt 1 der DIN 1996 T. 6 ist auch eine Beschränkung für Mischgüter mit (darin bzw. im verwendeten Bitumen enthaltenen) Zusätzen angeführt.

Die Bindemittelgehaltsbestimmung erfolgt im Rahmen des Forschungsvorhabens nach den Vorgaben, welche an eine Schiedsanalyse gestellt werden. Das bedeutet, dass eine Kaltextraktion

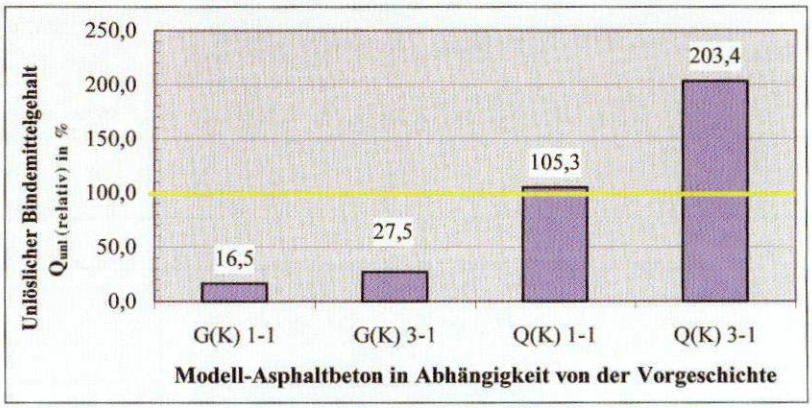
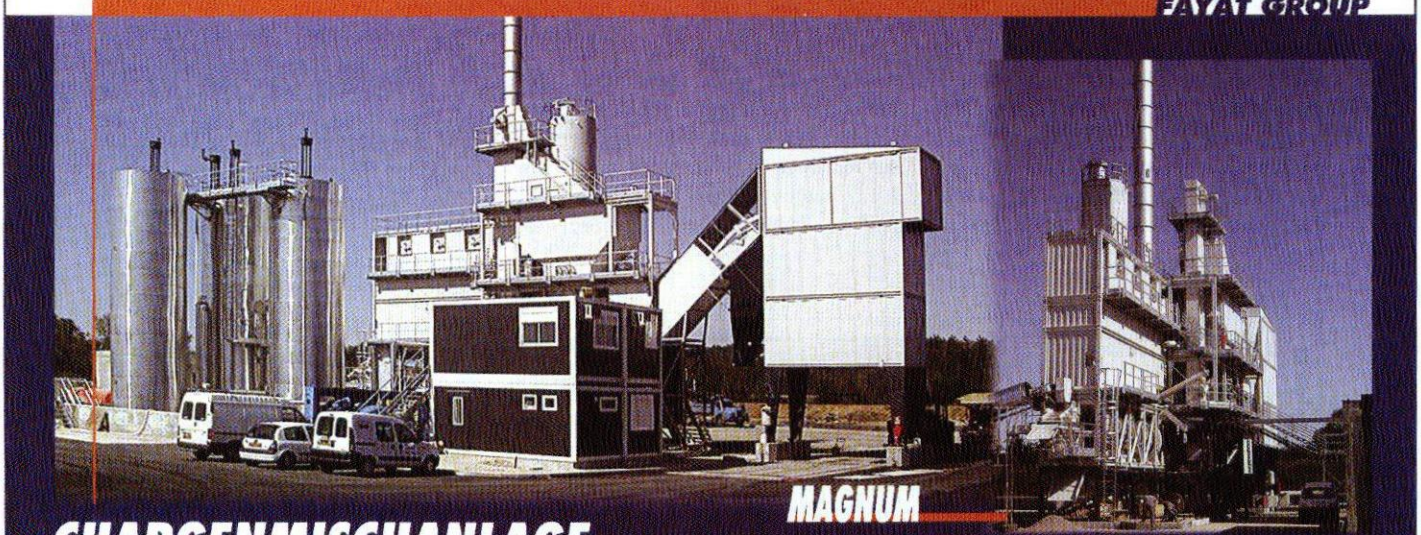


Abb. 5: Unlöslicher Bindemittelgehalt Q_{unl} (relativ) von Modell-Asphaltbeton AB 0/11 von Granodiorit G und Quarzporphyr Q mit Fremdfüller Kalkstein K (Sofortextraktion = 1; Extraktion nach thermischer Beanspruchung = 3)

Straßenbaumaschinen
ERMONT
FAYAT GROUP

MAGNUM
CHARGENMISCHANLAGE, eine Revolution in der Modular-Bauweise
Die MAGNUM ist eine Modular-Anlage geeignet für die Chargen-Produktion von Asphalt-Heißmischgut :
- Die Anlage wird im Werk aufgebaut und geprüft
- geringe Bauwesenkosten
- geringe Abmessung
- schnell Aufbau der Anlage auf der Baustelle
- umweltfreundliche Ausführung
- gute Zugänglichkeit der Wartungsstelle über Laufstege

Eine Reihe von 160 T/St bis 240 T/St
ERMONT - rue Jean-Pierre Timbaud - BP 1 - 42420 Lorette - France
Tél. : +33 (0)4 77 73 52 65 - Fax : +33 (0)4 77 73 48 85 - e-mail : info@ermont.fayat.com - web : www.ermont.com

Asphaltmischgut/ Bohrkern/ Asphaltgranulat	Labor-Nr.	Herstellung Wo/Wann	Bindemittel DIN 1995 bzw. DIN EN 12591 TL PmB	Mineralstoffe	mit Toluol extrahiert (K)	mit Trichlorethylen extrahiert (H)
					Q_{unl} = $100*B_{unl,exp,korr,A}/B_{unl,emp,A}$	
					%	%
Abi 0/16 S	19	MA 1	PmB 25 A	G, K*	49,93	46,09
Abi 0/16 S(BK)	BK 19	MA 1	PmB 25 A	G, K*	22,19	14,74
Abi 0/16 S(BK)w	BK 19	MA 1	PmB 25 A	G, K*	27,08	14,74
GA 0/11 S	1205	MA 2	30/45	D, S, K	62,96	50,52
SMA 0/11 S	1218	MA 2	PmB 45 A	S, K	70,89	43,18
Abi 0/16(AG2)	1220	MA 3	50/70 + AG 2, 25 M.-%	A, K_r (unbek.)	61,91	49,62
AB 0/11 S	1221	MA 2	70/100	S	76,93	49,04
Abi 0/16	1222	Labor	50/70	A, K	29,12	18,76
Abi 0/16(AG1)	1223	Labor	50/70 + AG 1, 20 M.-%	A, K, (D, S, K)	51,93	43,19
SMA 0/8 S	1224	Labor	PmB 65 A	D, K	39,29	27,08
Abi 0/22S(AG3)	1225	Labor	30/45 + AG 3, 25 M.-%	G, K, (O, K')	48,46	23,03
Abi 0/22S(AG3)w	1225	Labor	30/45 + AG 3, 25 M.-%	G, K, (O, K')	48,01	21,97
AG 1	1168	2000	PmB 45 A	D, S, K	71,68	51,03
AG 2	124	vor 1989	unbekannt	unbekannt	86,08	64,63
AG 3	1199	1991/1994	B 65 (50/70)	O, K'	83,14	69,77

Tab. 1: Mittlere unlösliche Bindemittelgehalte Q_{unl} (relativ) der zwölf Praxisgemische und der Bohrkerne längerer Liegedauer
K* Kalksteinmehl anderer Provenienz im Vergleich zu Referenzgesteinen, w wiederholte Untersuchung zu $B_{unl,exp,korr,A}$ an 10 bzw. 3 Proben (BK) durch Doppelbestimmung, BK Bohrkerne längerer Liegedauer, AG Asphaltgranulat, O Orthophyr (kein Referenzgestein)

(K) mit dem Lösemittel Toluol (1) durchgeführt wird und das Bindemittel mit einem Vakuumrotationsverdampfer (R) zurückgewonnen wird, d.h. das Rückgewinnungsverfahren (W) praktiziert wird, um den löslichen Bindemittelgehalt $B_{lös,W}$ zu bestimmen. Der unlösliche Bindemittelgehalt wird sowohl nach der Füllergleichung berechnet als auch experimentell nach dem Zentrifugenverfahren Z bestimmt. Das angewendete Verfahren wird bezeichnet: Prüfung DIN 1996 - 06A - W1 - KR - Z (E).

Eine Auswertung nach dem Differenzverfahren (D) zur Bestimmung des löslichen Bindemittelgehaltes – als Differenz der untersuchten Asphaltprobe vermindert um die zurückgewonnenen Mineralstoffe – ist bei dieser Verfahrensweise ebenfalls möglich.

Nur zum Vergleich und in Anlehnung an die zurzeit in der Praxis übliche Verfahrensweise werden Untersuchungen zur Bindemittelgehaltsbestimmung durch Heiß- und auch Kaltextraktion (H bzw. K) mit dem Lösemittel Trichlorethylen (2) aber nur mit dem Differenzverfahren (D) durchgeführt und wiederum sowohl mit der empirischen Methode (E) als auch durch experimentellen (Z) Bestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes der Gesamtbindemittelgehalt berechnet. Die Prüfung erfolgt dann nach dem Verfahren mit der Bezeichnung DIN 1996 - 06A – D2 –H(K) – Z (E).

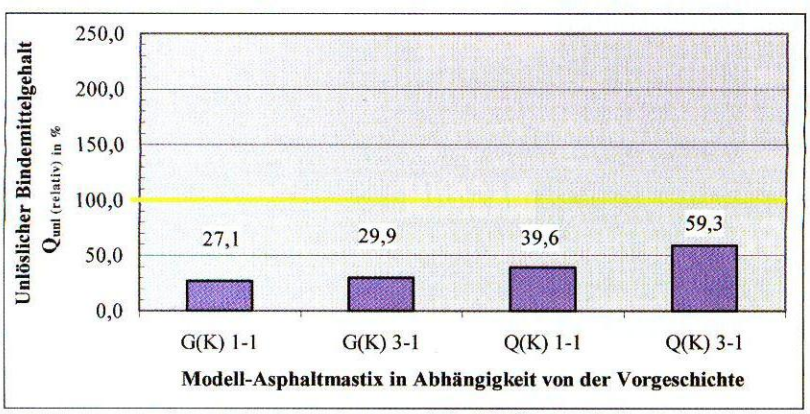


Abb. 6: Unlöslicher Bindemittelgehalt Q_{unl} (relativ) von Modell-Asphaltmastix AM 0/2 von Granodiorit G und Quarzporphyr Q mit Fremdfüller Kalkstein K (Sofortextraktion = 1; Extraktion nach thermischer Beanspruchung = 3)

Voruntersuchungen und Ergebnisse

Zunächst werden Untersuchungen an zwei im Labor gemischten Modell-Asphalten durchgeführt:

- Modell-Asphaltbeton AB 0/11 mit 7 M.-% Bitumen 70/100 und 10 M.-% Füller im Mineralgemisch (1,10 kg Asphaltmischgut) und
- Modell-Asphaltmastix AM 0/2 mit 15 M.-% Bitumen 30/45 und 40 M.-% Füller im Mineralgemisch (0,50 kg Asphaltmischgut)

deren Kornzusammensetzung (Abbildung 1) exakt festgelegt wird, indem nur gewaschene vom Unter- und Überkorn befreite Kornklassen eingesetzt werden. Der Fremd- und die Eigenfüller werden vom Überkorn > 0,09 mm befreit, sodass generell die Kornklasse < 0,09 mm verwendet wird.

Für die Untersuchungen werden folgende sechs (sieben) unterschiedliche Mineralstoffe eingesetzt: Syenodiorit S, Quarzporphyr Q, Diabas D, Lamprophyr L, Amphibolit A, Granodiorit G und als Fremdfüller Kalksteinmehl K. Bei Modell-Asphaltbeton werden ergänzend zum Fremdfüller K die jeweiligen Eigenfüller S, Q, D, L, A, G eingesetzt. Daraus resultieren die Bezeichnungen beispielhaft dargestellt: S(K) bzw. S(S).

Die Extraktionen (DIN 1996 - 06A – W1 –KR – Z (E)) werden nach unterschiedlicher Vorgeschichte der Messprobe

1. sofort nach dem Mischen = Sofortextraktion (1)
2. nach thermischer Beanspruchung der Modell-Asphalte (5 h bei 163 °C unter Umluft und ohne Abdeckung) (2)
3. nach 28-Tage-Lagerung bei Raumtemperatur (3)

durchgeführt.

Außerdem werden von sämtlichen verwendeten aufbereiteten Kornklassen 0,09/0,25; 0,25/0,71; 0,71/2; 2/5; 5/8; 8/11,2 und allen sechs bzw. sieben Referenzgesteinen, einschließlich Füller (< 0,09 mm) Bitumen-Kornklassen-Gemische mit Bitumen 70/100 hergestellt und durch Sofortextraktion auf ihren unlöslichen Bindemittelgehalt $B_{unl,exp,korr,A}$ nach Anhang C, jedoch mit dem EA 3000, dem Stand der Technik von heute entsprechend, untersucht. Zum Vergleich wird der unlösliche Bindemittelgehalt $B_{unl,emp,A}$ nach der Füllergleichung berechnet, der bei den sechs betrachteten füllerfreien Mischungen theoretisch rein rechnerisch 0,1 M.-% und bei den Bitumen-Füller-Mischungen 1,4 M.-% ergeben müsste, die dann den Nenner des Q_{unl}-Wertes (Gleichung 4) darstellen.

Für den Modell-Asphaltbeton AB 0/11 ergibt sich nach der Füllergleichung bei einem Zugabe-Füllergehalt von 10 M.-% im Mineralgemisch ein $B_{unl,emp,A}$-Wert als Nenner von genau 0,23 M.-% und für Modell-Asphaltmastix AM 0/2 mit 40 M.-% Zugabe-Füller ein Bezugswert von 0,62 M.-%.

Die Vielzahl der Ergebnisse kann in dieser Veröffentlichung nicht vollständig dargestellt werden. Es werden daher nur, bezogen auf die sechs eingesetzten Referenzgesteine, die aufgetretenen Extremwerte für den experimentell bestimmten unlöslichen Bindemit-

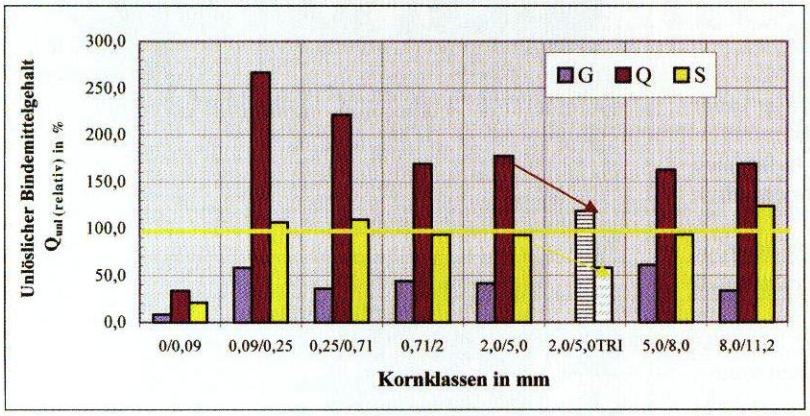


Abb. 7: Unlöslicher Bindemittelgehalt Q_{unl} (relativ) von Kornklassen-Bitumen-Gemische einschließlich Füller-Bitumen-Gemische von Granodiorit G, Quarzporphyr G und Syenodiorit S (Sofortextraktion)

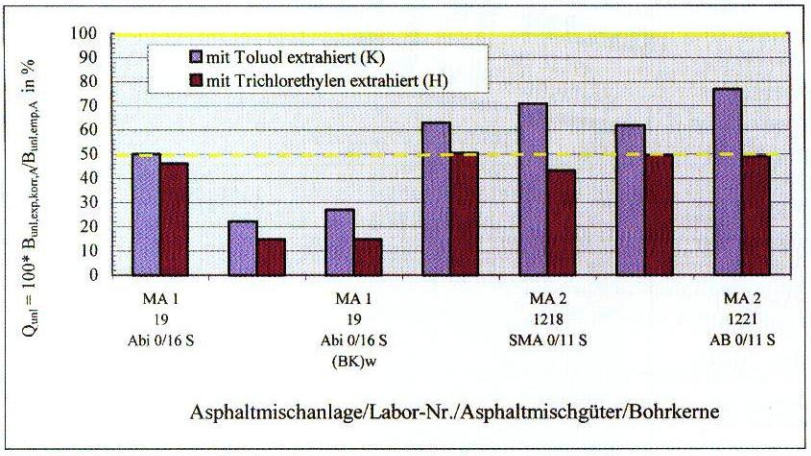


Abb. 8: Unlöslicher Bindemittelgehalt Q_{unl} (relativ) von Mischgütern unterschiedlicher Art und Sorte aus drei Mischanlagen (MA) und Bohrkernen in Abhängigkeit vom eingesetzten Lösemittel und der Extraktionstemperatur

telgehalt $B_{unl,exp,korr,A}$ und in Bezugnahme auf $B_{unl,emp,A}$ die Relativwerte des unlöslichen Bindemittelgehaltes, die Q_{unl}-Werte (Gleichung 4), welche unter ansonsten übereinstimmenden Bedingungen nur durch die Art der Mineralstoffe bzw. Referenzgesteine verursacht werden, dargestellt (Abbildung 2 bis 4 und 5 bis 7). Die vollständigen Ergebnisse sind im Forschungsbericht [6] enthalten.

Unter übereinstimmenden bzw. gleichen Bedingungen ist zu verstehen:

- quantitatives Arbeiten beim Mischen und Extrahieren der Modell-Asphalte,
- bei konstanter vom Größtkorn abhängiger Einwaage an Asphalt,
- gleiche Bindemittelgehalte und -sorte,
- exakt übereinstimmende Korngrößenverteilung,
- wobei die nach der Extraktion erhaltene maßgebliche Korngrößenverteilung, der danach ermittelte Füllergehalt F_M für die Berechnung von $B_{unl,emp,A}$ berücksichtigt werden muss,
- vergleichbare Vorgeschichte bzw. Vorbehandlung vor der Extraktion und
- gleiches Extraktionsverfahren.

Betrachtet man Abbildung 2, so ist offensichtlich, dass der Modell-Asphaltbeton mit Granodiorit G und Fremdfüller K (ebenso mit Eigenfüller G, hier nicht berücksichtigt) einen wesentlich geringeren unlöslichen experimentell ermittelten Bindemittelgehalt $B_{unl,exp,korr,A}$ ergibt, sowohl nach Sofortextraktion (1) als auch nach Extraktion mit vorhergehender thermischer Beanspruchung (3) im Vergleich zum mittels Füllergleichung berechneten Wert $B_{unl,emp,A}$. Der experimentell bestimmte unlösliche Bindemittelgehalt von Modell-Asphaltbeton mit Quarzporphyr Q und Fremdfüller K (ebenso mit Eigenfüller Q) überschreitet hingegen den mit der Füllergleichung berechneten Wert $B_{unl,emp,A}$ nach der Sofortextraktion geringfügig und nach thermischer Beanspruchung deutlich. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Art der Mineralstoffe den Gehalt an unlöslichem Bindemittel im Asphalt entscheidend beeinflusst, aber auch die Vorgeschichte eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt. Die Modell-Asphaltbetone der übrigen vier Referenzgesteine Lamprophyr L(K) bzw. L(L), Diabas D(K) bzw. D(D), Amphibolit A(K) bzw. A(A) und Syenodiorit S(K) bzw. S(S) weisen der Reihenfolge nach ansteigend ebenfalls bedeutend niedrigere experimentell bestimmte unlösliche Bindemittelgehalte auf im Vergleich zum empirischen, auch nach thermischer Beanspruchung.

Auf die Darstellung der Ergebnisse nach der 28-Tage-Lagerung (2) wird verzichtet, da sie sich im Wesentlichen nicht von denen der Sofortextraktion (1) unterscheiden.

Bei Modell-Asphaltmastix AM 0/2 ist der experimentell ermittelte unlösliche Bindemittelgehalt generell und ohne Ausnahme (ebenfalls bei den in Abbildung 3 nicht dargestellten Varianten S(K), D(K), L(K), A(K)) wesentlich geringer als der mit der Füllergleichung errechnete. Die Unterschiede zwischen Sofortextraktion und Extraktion nach thermischer Beanspruchung sind mit Ausnahme von quarzporphyr- und syenodiorithaltigen Modell-Asphaltmastixes unbedeutend.

Von sämtlichen untersuchten Varianten des Modell-Asphaltbetons und des Modell-Asphaltmastix wurde das zurückgewonnene Bitumen bezüglich folgender Kennwerte untersucht: Nadelpenetration nach DIN EN 1426, Erweichungspunkt Ring und Kugel nach DIN EN 1427 und Aschegehalt nach DIN 52005. Die Bestimmung des Aschegehaltes ist zwingend bei Schiedsanalysen erforderlich. Auf die Darstellung dieser Ergebnisse wird im Rahmen dieser Veröffentlichung ([7]) verzichtet. Es soll nur erwähnt werden, dass der Grenzwert für den Aschegehalt an zurückgewonnenem

Bitumen von < 1,0 M.-% (nach DIN EN 12679-1 [5] muss der Aschegehalt für F < 6 M.-% < 0,5 M.-% und für F ≥ 6 M.-% < 1,0 M.-% sein) signifikant unterschritten wird [6] und sich nur unwesentlich vom Aschegehalt des frischen Bitumens unterscheidet.

In Abbildung 4 sind die experimentell bestimmten unlöslichen Bindemittelgehalte der Bitumen-Kornklassen-Gemische von drei der Referenzgesteine dargestellt im Vergleich zu den mit der Füllergleichung berechneten, unbegrenzte Gültigkeit (d.h. für Füllergehalte im Mineralstoff, F_M von = 0,0 M.-% bis 100 M.-%) vorausgesetzt. Als Bindemittel kommt generell Bitumen 70/100 zum Einsatz. Die Untersuchung wird nach der Sofortextraktion (Vorgeschichte 1) mit Toluol (kalt) durchgeführt.

Bei den untersuchten Füller-Bindemittel-Gemischen (in der Regel eine Mischung von 65:35) erreicht sogar das Gemisch mit dem stark absorbierenden Quarzporphyr Q nicht annähernd den mit der Füllergleichung berechneten Wert von $B_{unl,emp,A}$ = 1,4 M.-% sondern nur $B_{unl,exp,korr,A}$ = 0,472 M.-%. Für das Füller-Bindemittel-Gemisch mit Granodiorit G ergibt sich für $B_{unl,exp,korr,A}$ ein Wert von nur 0,119 M.-%, für ein analoges Gemisch mit Kalksteinmehl K ein ebenfalls niedrigerer Wert für den experimentell bestimmten unlöslichen Bindemittelgehalt von 0,118 M.-%.

Welcher Füllergehalt F im „Mineralgemisch" sich im Vergleich zum tatsächlichen Füllergehalt von 100 M.-% [ergäbe beim Einsetzen dieser Werte des zwar hier experimentell bestimmten unlöslichen Bindemittelgehaltes in die im Rahmen des Forschungsvorhabens als Füllergleichung bezeichnete Gleichung (F_M = ($B_{unl,exp,korr,A}$ – 0,1)/0,013)], sollte der aufmerksame Leser selbst berechnen. Die übrigen drei hier nicht dargestellten Füller-Bindemittel-Mischungen mit den Referenzgesteinen D, L, A liegen im Bereich zwischen 0,119 M.-% und 0,472 M.-%. Die füllerfreien Mischungen liegen bezüglich des experimentell bestimmten unlöslichen Bindemittelgehaltes $B_{unl,exp,korr,A}$

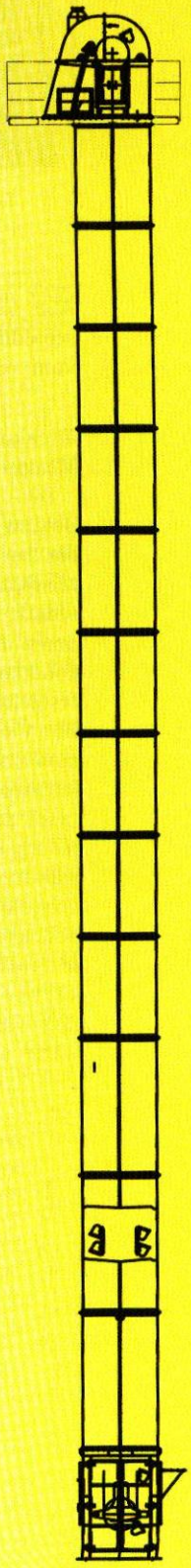
- oberhalb des berechneten Wertes (Quarzporphyr Q),
- etwa bei dem rechnerischen Wert von 0,1 M.-% (Syenodiorit S) oder
- auch deutlich unterhalb dieser Marke (Granodiorit G).

Letzteres gilt auch für die drei hier nicht dargestellten weiteren Referenzgesteine (A, D, L), wobei mit zunehmender Korngröße bzw. abnehmender spezifischer Oberfläche die Tendenz zur Abnahme von $B_{unl,exp,korr,A}$ festgestellt werden kann. Bei den hier nicht dargestellten Werten für die Bitumen-Kornklassen-Gemische mit A und D wird nur bei der Kornklasse 0,09/0,25 die Marke von 0,1 M.-% geringfügig überschritten. Die Bitumen-Kornklassen-Gemische des Lamprophyr L liegen generell unter der 0,1 M.-%-Marke.

Die Abbildungen 5 bis 7 beinhalten den Q_{unl}-Wert, d.h. das prozentuale Verhältnis von $B_{unl,exp,korr,A}$ zu $B_{unl,emp,A}$. Die Relationen spiegeln deutlich die eingeschränkte bzw. ungenügende Aussagekraft der Füllergleichung wider. Die Diskrepanz ist nicht zu übersehen. Aus Abbildung 7 ist zu erkennen, dass die Heißextraktion (H) mit Trichlorethylen (2) nach DIN 1996 - 06A – D2 –H – Z (E) deutlich intensiver wirksam ist, da der experimentell ermittelte unlösliche Bindemittelgehalt signifikant niedriger liegt als derjenige, welcher nach der Kaltextraktion mit Toluol erhalten wird.

Hauptuntersuchungen an Praxismischgütern und Ergebnisse

Diese obigen Ergebnisse geben zu denken und wurden im Forschungsvorhaben durch Praxisgemische unterschiedlicher Asphaltarten und -sorten aus drei Mischanlagen MA, durch drei Asphaltgranulate AG unterschiedlichen Alters sowie vier so genannte große Labormischungen (L) von 25 kg, hergestellt im Labormischer GZM 30, hinterfragt und bestätigt. Unterschiedliche Bindemittelsorten und -arten kommen dabei zum Einsatz. Prinzipiell wurden je Mischgut mindestens zehn Messproben zur Bestimmung des löslichen und insbesondere des unlöslichen Bindemittelgehaltes sowie des Gesamtbindemittelgehaltes untersucht, d.h., es wurden mindestens zehn Extraktionen mit kaltem Toluol (Prüfung DIN 1996 – 06A – W1 – KR – Z (E)), welche gleichfalls die Auswertung nach dem Differenzverfahren (Prüfung DIN 1996 – 06A – D1 – Z (E)) zulässt, und außerdem Extraktionen mit heißem

AMF BRUNS
BRUNS
Rex®+AMF Heißgut-Becherwerk
niedrigste Betriebskosten: www.amf-bruns-foerderer.de

AMF-Bruns
Hauptstraße 101
26689 Apen
info@amf-bruns.de
Tel: 04489/72-0
Fax: 04489/72-32

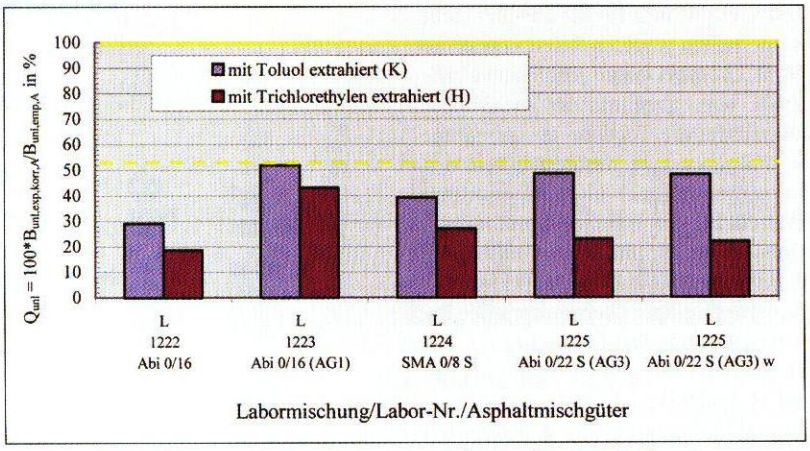


Abb. 9: Unlöslicher Bindemittelgehalt Q_{unl} (relativ) von Mischgütern unterschiedlicher Art und Sorte der großen Labormischungen (L) in Abhängigkeit vom verwendeten Lösemittel und der Extraktionstemperatur

Trichlorethylen an ein bzw. zwei Messproben (Prüfung DIN 1996 - 06A - D2 - H - Z (E)) durchgeführt. Vor Beginn der Untersuchungen erfolgt die schonende Probeteilung des Mischgutes. Es wurden stets mindestens 20 bis 25 Teilproben gewonnen, deren Masse in Abhängigkeit vom Größtkorn der Asphaltsorte bzw. -art festgelegt wurde.

Die Vielzahl der Extraktionen sollte zum einen dem Nachweis der Wiederholbarkeit, der statistischen Sicherheit (auch des löslichen Bindemittelgehaltes $B_{lös,W}$) dienen, und zum anderen war für die im Forschungsvorhaben vorgesehene komplette Untersuchung des zurückgewonnenen löslichen Bindemittels (nach DIN 1995 bzw. DIN EN 12591 sowie TL PmB und über diese Regelwerke hinaus) der Versuchsaufwand notwendig. Bei bindemittelarmen Mischgütern wird deshalb die Extraktion von bis zu 17 Messproben notwendig. Die Ergebnisse der Bindemitteluntersuchungen sollen in dieser Veröffentlichung nicht berücksichtigt werden. Sie sind Bestandteil einer weiteren Publikation ([7]).

Von den jeweils durch kaltes Toluol vom Bindemittel befreiten und aufbereiteten Mineralstoffen jeder Messprobe (kornklassenweise gemahlen < 0,09 mm, kornverteilungskonform zusammengesetzt, carbonatfrei gemacht) wird nach Anhang C der DIN 1996 T.6 (vgl. oben) mindestens eine Doppelbestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes mit dem EA 3000 durchgeführt, d.h., es kann aus mindestens 10 Doppelbestimmungen ein repräsentativer Mittelwert zunächst für $B_{unl,exp,korr,M}$ im Mineralgemisch und folgerichtig für $B_{unl,exp,korr,A}$ im Asphalt berechnet werden.

Zum Vergleich dazu und als kostenneutrale Ergänzung zum Forschungsvorhaben wurden die Untersuchungen der von mit heißem Trichlorethylen vom Bindemittel befreiten Mineralstoffe bezüglich ihres unlöslichen Bindemittels in gleicher Art und Weise durchgeführt. In einzelnen Fällen konnten auch Ergebnisse aus Mischanlagen, mittels eines automatischen Extraktionsgerätes (Kaltextraktion mit Trichlorethylen) einbezogen werden. Hierbei wird auf die Rückgewinnung des Bindemittels verzichtet und der lösliche Bindemittelgehalt $B_{lös,D}$ nur durch das Differenzverfahren ermittelt (Tabelle 1).

Aus Abbildung 8 geht hervor, dass sämtliche Mischgüter, die mit Trichlorethylen heiß extrahiert wurden, für Q_{unl} nur 50% des mit der Füllergleichung berechneten Wertes ergeben. $B_{unl,exp,korr,A}$ beträgt für die Praxisgemische aus Mischanlagen also nur maximal die Hälfte des berechneten Wertes $B_{unl,emp,A}$. Etwas höher liegen die Werte für die Kaltextraktion mit Toluol, die für Schiedsanalysen gefordert ist. Die dabei auftretenden Unterschiede von 49,9 (22,2)% bis 76,9% für den Q_{unl}-Wert werden auf die unterschiedlichen eingesetzten Mineralstoffe (vgl. Tab.1, - S, D, A, G, K, welche auch als Referenzgesteine für die Modell-Asphalte eingesetzt wurden) zurückgeführt. Die extrem niedrigen Werte für Bohrkerne längerer Liegedauer lassen sich nicht erklären. Es müssten weitere Untersuchungen in dieser Richtung durchgeführt werden. Die eingesetzten Bindemittel (vgl. Tab. 1) scheinen nur eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Wie aus Abbildung 9 hervorgeht, liegen die Werte für $Q_{unl,bestimmt}$ an den großen Labormischungen sowohl für die kalt mit Toluol und die heiß mit Trichlorethylen extrahierten Asphalte unter 50% im Vergleich zur Füllergleichung. Die Abstufung zwischen Toluol (K) und Trichlorethylen (H) ist signifikant. Selbst die Werte für die Asphaltgranulate unterschiedlichsten Alters (Abbildung 10) erreichen die 100-%-Marke für Q_{unl} nicht. Sie bewegen sich für die Heißextraktion mit Trichlorethylen im Bereich von 51,0% bis 69,8% bzw. mit Toluol von 71,7 bis 86,1%.

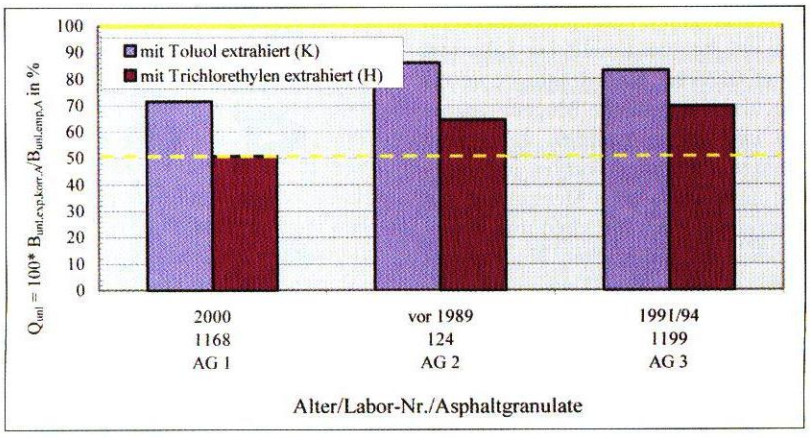


Abb. 10: Unlöslicher Bindemittelgehalt Q_{unl} (relativ) von Asphaltgranulaten unterschiedlichen Alters in Abhängigkeit vom verwendeten Lösemittel und Extraktionstemperatur

Das SAP-Verfahren

Da die experimentelle Bestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes nach Anhang C der DIN 1996 T. 6 sehr aufwendig ist, und auch nicht jedes Labor in der Lage ist, diese Untersuchung durchzuführen, wurde bereits zu Beginn des Forschungsvorhabens nach Alternativen gesucht.

Das Glühen des carbonatfreien Rückstandes der vom Bindemittel befreiten Mineralstoffe im Temperaturbereich von 200°C bis 1000°C erwies sich als untauglich. Aber das nachfolgend beschriebene vom Verfasser als **S**ynthese-**A**nalyse-**P**rinzip (SAP) bezeichnete Verfahren erwies sich als praktikabel. Dieses Verfahren ist ohne Probleme und ohne Anschaffung von neuen Geräten in jedem RAP-Stra zugelassenem Labor durchführbar. Es wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens an allen Modell-Asphaltbetonen AB 0/11 mit Bitumen 70/100 und an sämtlichen Modell-Asphaltmastixes AM 0/2 mit Bitumen 30/45 und mit jeweils unterschiedlicher Vorgeschichte bis zur Extraktion und den jeweils sechs bzw. sieben Referenzgesteinen praktiziert.

Die Wägungen an den am Mineralgemisch beteiligten Kornklassen (gewaschen, getrocknet und vom Über- und Unterkorn befreit) werden analytisch genau auf 0,01 g durchgeführt. Mit gleicher Genauigkeit erfolgt die Einwaage des Bindemittels. Vor dem Mischen sind die Massen von Mischschüssel und -schaufel mit gleicher Genauigkeit zu bestimmen.

Die theoretische Einwaage von Asphalt – als Summe von Bindemittel- und Mineralstoffmasse – stimmt in der Regel in Abhängigkeit vom eingesetzten Mineralstoff nicht mit der stets geringeren praktischen Auswaage an erkaltetem Asphaltmischgut überein. Ein Teil des Masseverlustes resultiert aus dem (Hydrat)-Wassergehalt der bei 110°C ± 5°C getrockneten Mineralstoffen, welche aber vor dem Mischen auf ca. 160°C erwärmt werden. Ein zweiter Teil des Masseverlustes bleibt trotz intensiven Nachforschens ungeklärt.

Bei der Extraktion des Asphalts (im Rahmen des Forschungsvorhabens kalt mit Toluol) müssen die mit Asphalt verunreinigte Mischschüssel und -schaufel von diesen Asphaltresten unter Beachtung der Arbeitssicherheit mit dem entsprechenden Lösemittel befreit werden und die entstandene Lösung sowie zurückgebliebene Mineralstoffe müssen mit der zu untersuchenden Probe vereinigt werden. Ein Nachwiegen von Mischschüssel und -schaufel ist empfehlenswert.

Nach erschöpfender Extraktion werden die vom Bindemittel befreiten Mineralstoffe einschließlich der durch Zentrifugieren aus der Bitumenlösung separierten mehlfeinen mineralischen Bestandteile vereinigt, getrocknet und analytisch genau gewogen. Anschließend erfolgt die Siebung zur Ermittlung der Korngrößenverteilung, welche für das SAP-Verfahren nicht zwingend erforderlich, als Kontrolle jedoch empfehlenswert ist. Ein Vergleich zum althergebrachten Verfahren mittels Füllergleichung erforderte nur die Kenntnis des Füllergehaltes.

Das lösliche Bindemittel wird aus der Lösung mittels eines Vakuumrotations-Verdampfers (R) zurückgewonnen und analytisch genau gewogen (Kolben heiß/Kolben + Probe heiß bzw. kalt/kalt).

Die Differenz der Massen zwischen dem ursprünglich bei der „**S**ynthese des **A**sphalts", beim Mischen des Asphalts, eingewogenen Bitumen und dem nach der ANalyse des Asphalts, der Extraktion des Asphalts zurückgewonnenen löslichen Bitumen ergibt zunächst die Masse an unlöslichem Bitumen im Asphalt. Der unlösliche Bindemittelgehalt, hier mit $B_{unl,SAP,A}$ bezeichnet, kann nun bezogen auf die reale Asphaltmasse berechnet werden. Das lässt sich durch eine einfache Gleichung darstellen:

$$B_{Synthese(ges),A} - B_{Analyse(lös),A} = B_{unl,SAP,A} \quad \text{(Gleichung 5)}$$

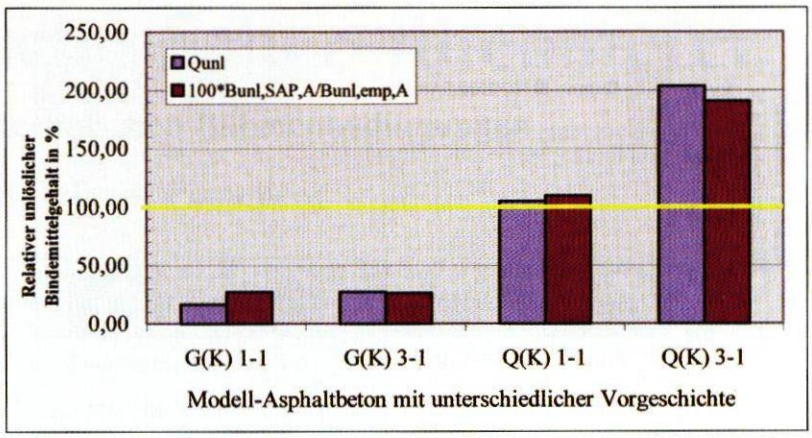


Abb. 11: Vergleich der relativen Bindemittelgehalte Q_{unl} und auf dem SAP-Verfahren berechneten prozentualen Quotienten von Modell-Asphaltbeton des Granodiorits G und des Quarzporphyrs Q

Die Ergebnisse stimmen, wie die Abbildungen 11 und 12 zeigen, gut mit den nach Anhang C der DIN 1996 T. 6 ermittelten (bezogen auf die Ergebnisse der Kaltextraktion mit Toluol) überein. Eine Korrektur durch den Blindwert der nicht mit Bitumen in Kontakt getretenen Mineralstoffe entfällt und vereinfacht die Bestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes wesentlich.

Die Ergebnisse, hier ebenfalls als Relativwert in Analogie zu Q_{unl} dargestellt, fallen in der Mehrzahl der Fälle (auch bei den hier nicht angeführten Varianten für S(K), S(S), Q(Q), D(K), D(D), L(K), L(L); A(K); A(A), G(G)) noch etwas niedriger aus als die nach Anhang C bestimmten Werte. Das bedeutet, dass danach die mit der Füllergleichung berechneten Werte für den unlöslichen Bindemittelgehalt noch unwahrscheinlicher werden.

Zusammenfassung

Die Füllergleichung hat für Modell-Asphalte keine Berechtigung. Der Nachweis erfolgte an Modell-Asphalten mit sechs bzw. sieben Referenzgesteinen und unterschiedlicher Vorgeschichte und durch die experimentelle Bestimmung des unlöslichen Bindemittelgehaltes nach DIN 1996 T. 6, Anhang C sowie dem SAP-Verfahren an Modell-Asphaltbeton AB 0/11 und Modell-Asphaltmastix AM 0/2. Zum gleichen Ergebnis gelangt man bei der Untersuchung der füllerfreien Bitumen-Kornklassen-Gemische sowie der Füller-Bi-

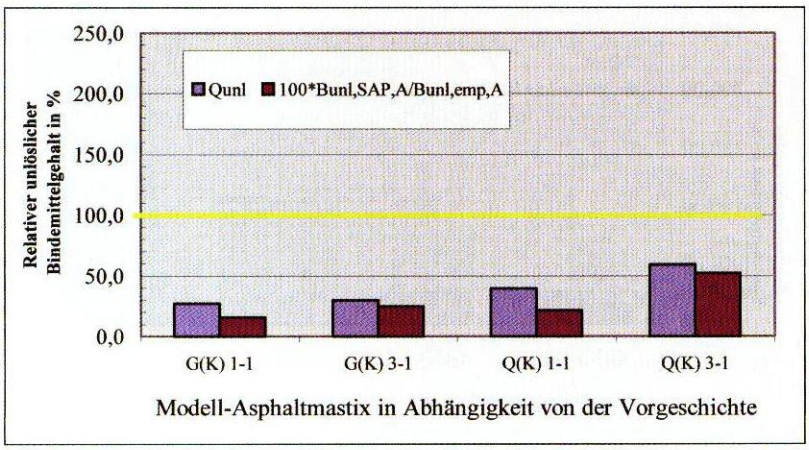


Abb. 12: Vergleich der relativen Bindemittelgehalte Q_{unl} und dem auf dem SAP-Verfahren berechneten prozentualen Quotienten von Modell-Asphaltmastixes des Granodiorits G und des Quarzporphyrs Q

tumen-Gemische der sechs bzw. sieben Referenzgesteine.

Das Extraktionsverfahren (Toluol oder Trichlorethylen als Lösemittel, Kaltextraktion oder Heißextraktion) beeinflusst die Ergebnisse. Die mit Trichlorethylen und Heißextraktion ermittelten Ergebnisse für den experimentell bestimmten unlöslichen Bindemittelgehalt sind noch deutlich geringer wie die mit Toluol und Kaltextraktion erhaltenen.

Der Einfluss der Lagerung, des Alters von Asphalt, konnte für Modell-Asphalte nicht nachgewiesen werden. Der Einfluss der thermischen Beanspruchung hingegen ist signifikant insbesondere bei Modell-Asphaltbeton. Das drückt sich in einer Zunahme des unlöslichen Bindemittelgehaltes aus.

Die Untersuchung von realen Asphalten, Mischgütern aus Mischanlagen, großen Labormischungen, Bohrkernen und von Asphaltgranulaten unterschiedlichen Alters bestätigen die an Modell-Asphalten erhaltenen Ergebnisse für den experimentell nach Anhang C der DIN 1996 T.6 bestimmten unlöslichen Bindemittelgehalt und zeigen die Unzulänglichkeit bzw. Inkompetenz der Füllergleichung auf. Der Einfluss der Mineralstoffe ist dominant.

Eine recht aufwändige Möglichkeit zur Bestimmung des Absorptionsvermögens der Mineralstoffe wäre, diesbezügliche Untersuchungen an jeden Steinbruch im Rahmen der Fremdüberwachung durchzuführen, d.h. an einem Bitumen-Kornklassen-Gemisch einer mittleren Kornklasse z.B. 2/5 den unlöslichen Bindemittelgehalt, vom Verfasser als „Bitumenschluckwert" [8] bezeichnet, experimentell (Anhang C der DIN 1996 T. 6) zu bestimmen. Diese Verfahrensweise wurde im Laufe der Bearbeitung aus verschiedensten Gründen verworfen.

Möglich erscheint es, im Stadium der aktuellen Eignungsprüfung und unter Umgehung des Anhangs C der DIN 1996 T. 6, den Zugabebindemittelgehalt mit dem Gehalt an zurückgewonnenem löslichen Bindemittel nach dem beschriebenen SAP-Verfahren „mit der Vorsicht völlig quantitativer Arbeit" [8] zu vergleichen, sozusagen das „Vorher" und das „Nachher" analytisch genau gegenüberzustellen und aus der Differenz beider den unlöslichen Bindemittelgehalt im Asphalt $B_{unl,SAP,A}$ zu bestimmen. Eine derartige Verfahrensweise wird in Großbritannien bereits für vertragliche Zwecke genutzt und soll auch in Österreich mitunter gemäß mündlicher Überlieferung angewendet werden.

Aus den durchgeführten Untersuchungen kann geschlussfolgert werden, dass der uns bisher vertraute vertragsrelevante, aus der Füllergleichung $B_{unl,A} = 0{,}013^* F_M + 0{,}1$ berechnete Wert, für den unlöslichen Bindemittelgehalt (hier $B_{unl,emp,A}$) abgelöst werden sollte und wie auch immer experimentell nachgewiesen werden muss, wofür sich das SAP-Verfahren anbietet.

Der auf diese Art und Weise experimentell bestimmte unlösliche Bindemittelgehalt im Asphalt wird in den meisten Fällen niedriger ausfallen als der mit der Füllergleichung berechnete, kann aber auch, wie an Modell-Asphalt mit einem der untersuchten Referenzgesteine nachgewiesen wird, höher liegen. Das zeigt deutlich den bestimmenden Einfluss der Mineralstoffe an.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen machen ein Nachdenken über eine Veränderung der Anforderungen an den Gesamtbindemittelgehalt bzw. in Zukunft an den löslichen Bindemittelgehalt in den zutreffenden Regelwerken u.a. ZTV Asphalt -StB, ZTVT-StB erforderlich, nachdem weitere Erfahrungen gesammelt worden sind und auch abhängig von den europäischen Asphaltnormen. ■

Literatur

[1] DIN 1995 (1929), Vorschriften für die Prüfung von Asphalt und Teer, sowie von Asphalt und Teer enthaltenden Massen, soweit sie im Straßen-, Tief- und Hochbau verwendet werden

[2] DIN 1996 Deutsche Norm 2. Ausg. 10/1935, Bitumen und Teer enthaltende Massen für den Straßenbau und ähnliche Zwecke, aufgestellt vom Hauptausschuss der Zentralstelle für Asphalt- und Teerforschung im Juni 1935, Beuth-Verlag GmbH, Berlin SW 19, S. 21 – 23, eingeführt durch Erlass des Generalinspektors für das deutsche Straßenwesen Nr. 94/35 vom 14.11.35

[3] DIN 1996 Blatt oder Teil 6 10/ 1988, Bestimmung des Bindemittelgehaltes und Rückgewinnung des Bindemittels

[4] DIN 1996 Blatt 6, 10/1973, Bestimmung des Bindemittelgehaltes

[5] DIN EN 12 697-1 04/2001, Prüfverfahren für Heißasphalt, Löslicher Bindemittelgehalt

[6] H. Fritsche, Bindemittelgehaltsbestimmung unter besonderer Berücksichtigung des unlöslichen Bindemittelgehaltes nach DIN 1996 T.6, Forschungsvorhaben des DAI AiF-Nr. 12549BR/1, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), Prüfstelle für bituminöse Baustoffe

[7] H. Fritsche, Arbeitstitel: Veränderung der Bitumeneigenschaften nach Rückgewinnung aus Asphalt (Modell-Asphalt, Praxismischgüter aus Mischanlagen, großen Labormischungen, Asphaltgranulaten und Bohrkernen längerer Liegedauer), Bitumen 2004

[8] H. Fritsche, Unveröffentlichter Vortrag anlässlich der XI. Asphalttage, Berchtesgaden 2002

Anschrift der Verfasserin:
Dr.-Ing. Holle Fritsche
HTW Dresden
Prüfstelle für bituminöse Baustoffe
Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden
E-Mail: fritsche@htw-dresden.de