

Einfluss viskositätsverändernder Zusätze auf den Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe

FA 7.246

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)

Bearbeiter: Radenberg, M. / Gehrke, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Juli 2014

1 Problemstellung und Zielsetzung

Die minimale Zeitspanne zwischen der Herstellung und der Verkehrsfreigabe von Asphaltstraßen ist in den ZTV Asphalt-StB (2007) auf wenigstens 24 Stunden begrenzt. Hierdurch wird sichergestellt, dass der Asphalt unabhängig von den Einbaubedingungen wie Asphalttemperatur, -dicke oder Wetterbedingungen vollständig auskühlt. Aus der Baupraxis ist jedoch bekannt, dass in vielen Fällen (beispielsweise bei dünnem Einbau oder bei der Verwendung viskositätsverändernder Zusätze) bereits bei einer früheren Verkehrsfreigabe weder Spurrinnen noch anderweitige Schäden entstehen. Vor allem bei verkehrstechnisch hochbelasteten Straßenabschnitten oder Knotenpunkten bewirkt eine technische mögliche Verkürzung der Sperrzeiten eine deutliche Reduzierung der mit wirtschaftlichen Einbußen verbundenen Verkehrsbehinderungen. Eine solche Reduzierung der Sperrzeiten erfolgt jedoch bislang ausschließlich auf der Basis von Erfahrung oder aufgrund politischer Zwänge. Technische Möglichkeiten zur Bestimmung des frühestmöglichen Zeitpunkts für eine schadensfreie Verkehrsfreigabe existieren bislang nicht.

Das Ziel des Forschungsvorhabens war, mithilfe einfacher, in situ anzuwendender und unmittelbar auszuwertender Messgeräte die Steifigkeit von Asphalt in der Abkühlungsphase zu ermitteln. Bei der Bestimmung präziser Messwerte kann der frühestmögliche Zeitpunkt zur Verkehrsfreigabe fixiert werden. Dazu sind entsprechende Grenzwerte zu formulieren, für die in der Forschungsarbeit in erster Näherung Anhaltswerte vorgeschlagen werden sollten. Des Weiteren waren die Auswirkungen verschiedener Einflüsse wie der Einsatz unterschiedlicher Asphaltarten oder unterschiedlich modifizierter, vor allem viskositätsveränderter Bindemittel auf die Asphaltsteifigkeit zu analysieren.

2 Untersuchungsprogramm

Im Labor und auf elf Baustellen wurde die Steifigkeit von Asphalt-schichten bei Temperaturen etwa zwischen 20 und 80 °C analysiert. Im Labor wurden unter stets identischen Bedingungen exakt temperierte Asphaltplatten verschiedener Zusammensetzungen geprüft. In situ lag der Schwerpunkt primär auf Splittmastixasphalten SMA 8 S mit unterschiedlich modifizierten Bindemitteln. Durch Messungen auf anderen Asphaltflächen wurde deren (möglicherweise abweichendes) Verhalten analysiert. Für die Untersuchungen wurden ein statisches und zwei dynamische Messgeräte eingesetzt, die bereits vor Beginn des Forschungsprojekts gezielt entwickelt oder modifiziert wurden.

2.1 Messgeräte zur Bestimmung der Asphaltsteifigkeit in situ

2.1.1 PVE-Tester

Mit dem PVE-Tester wird durch eine zweifache statische Belastung mit zwischenzeitlicher Entlastungsphase das plastische, viskose und elastische Verformungsverhalten von Asphalt analysiert. Mit einer Auflast von 102,5 kg wird in der Belastungsphase über einen Stempel mit 40 mm Durchmesser eine Flächenpressung von 0,8 N/mm² aufgebracht. Zur Entlastung wird die Masse der Gewichtsscheiben über die Hebevorrichtung in die Grundplatte und von dort über die Standfüße in den Untergrund eingeleitet (Bild 1).

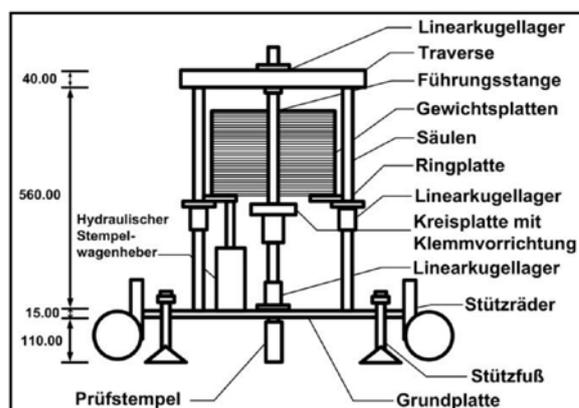


Bild 1: Schematische Darstellung des PVE-Testers [Pawlik, 2009]

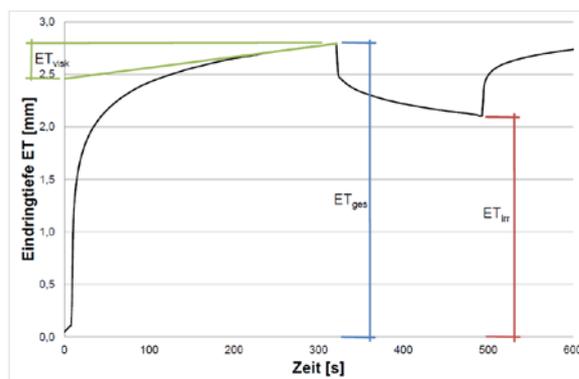


Bild 2: Definition der Kennwerte der Messungen mit dem PVE-Tester

Der Versuchsablauf besteht aus einer Erstbelastung von fünf Minuten und einer Zweitbelastung von zwei Minuten Dauer, die von einer dreiminütigen Entlastungsphase unterbrochen werden. Die plastische und viskose Verformung des Asphalts wird als irreversible Eindringtiefe am Ende der Entlastungsphase gemessen. Der Rückgang der Eindringtiefe vom Maximum zur irreversiblen Eindringtiefe in der Entlastungsphase gibt den elastischen Verformungsanteil wieder. Der Gradient der Eindringtiefe am Ende der Erstbelastung quantifiziert die viskose Deformation des Asphalts (Bild 2).

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse dieses Forschungsprojekts wird die irreversible Eindringtiefe $ET_{irr,PVE}$ als maßgebender Kennwert zur Beurteilung der Verformungsbeständigkeit von

Asphalt angesehen. Dieser quantifiziert als bleibende Deformation nach einem Kriechversuch die Schädigung des Asphalts, die beispielsweise durch die statische Belastung ruhenden oder sehr langsam fahrenden Verkehrs erzeugt wird.

2.1.2 Modifiziertes Leichtes Fallgewichtsgerät (mod. LFGG)

Der Grundaufbau des modifizierten Leichten Fallgewichtsgeräts (mod. LFGG) entspricht den Angaben der TP BF-StB, Teil B 8.3 (2003). Von der Prüfvorschrift abweichend ist die Lastplatte in einen mittig angeordneten Laststempel (Durchmesser 50 mm) und eine den Laststempel umgebende entkoppelte Grundplatte unterteilt. Durch das 10 kg schwere Fallgewicht wird unterhalb des Laststempels eine 17 ms andauernde Flächenpressung von $3,6 \text{ N/mm}^2$ verursacht.

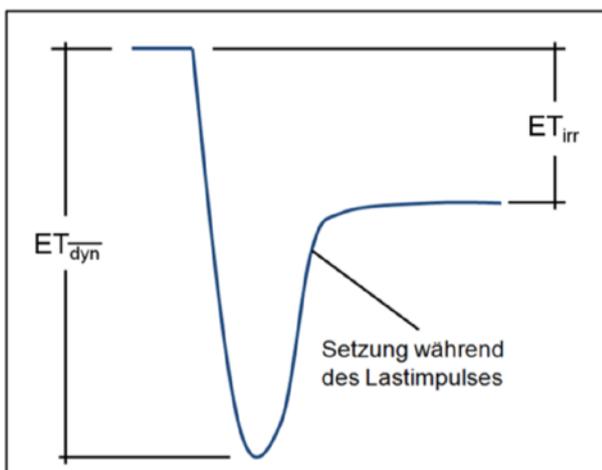


Bild 3: Definition der Kennwerte der Messwerte mit dem mod. LFGG

Während der Einwirkung der Kraft zeichnet ein Sensor innerhalb des Prüfstempels die Beschleunigung desselben auf. Durch eine einfache Integration wird aus dem Beschleunigungsimpuls die Geschwindigkeit und durch eine weitere Integration daraus die Relativbewegung des Stempels berechnet. Aus der Relativbewegung wird die zeitabhängige Setzungslinie ermittelt (Bild 3), wodurch die maximale auftretende, dynamische Setzung bekannt ist. Neben der dynamischen Setzung wird die irreversible Eindringtiefe $ET_{irr,LFGG}$ ermittelt. Ein Wegaufnehmer misst dazu die Relativbewegung zwischen dem Prüfstempel und der als Referenz dienenden Lastplatte.

Jede Messung besteht aus fünf unmittelbar aufeinander folgenden Laststößen an einer Position. Die aufsummierte irreversible Eindringtiefe $ET_{irr,LFGG}$ wird auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse als maßgebender Kennwert angewendet, da sie eine Schädigung des Asphalts darstellen und darüber hinaus präzise und aussagekräftige Ergebnisse liefert.

Im Gegensatz zu dem PVE-Tester simuliert die dynamische Belastung des mod. LFGG schneller rollenden Verkehr. Deformationen viskoser Bestandteile des Asphalts werden dadurch im Gegensatz zum PVE-Tester weniger hervorgerufen als plastische Verschiebungen innerhalb der Asphaltstruktur.

2.1.3 Impulshammer

Das Messsystem des Impulshammers besteht aus dem Impulshammer selbst, einem Beschleunigungsaufnehmer und einem Rechner zur Datenerfassung und -verarbeitung. Durch das Fallen des Hammers auf die Oberfläche wird der Prüfkörper zu Schwingungen angeregt. Während des Stoßes wird durch den Hammer die Kraft des Erregersignals und durch den Beschleunigungsaufnehmer die Systemantwort des Probekörpers erfasst (Bild 4). Das Erregersignal des Hammers und das Antwortsignal des Beschleunigungsaufnehmers werden in einer Übertragungsfunktion (Quotienten aus Antwort- und Erregersignal) zusammengefasst. Auf Basis der Übertragungsfunktion wird die frequenzabhängige mechanische Impedanz Z_m des Probekörpers berechnet. Mathematisch wird die Impedanz als Quotient aus Kraft und Geschwindigkeit erfasst [Disynet, 2012].

Eine Messung stellt zur Vermeidung von Messfehlern das arithmetische Mittel aus zehn unmittelbar aufeinander folgenden Einzelmessungen an einer Stelle dar. Dabei wird die Frequenz auf der Abszisse und die mechanische Impedanz auf der Ordinate dargestellt. Mögliche Kennwerte zur quantitativen Erfassung sind das Maximum und das Integral der mechanischen Impedanz über einen gewählten Frequenzbereich (Bild 5). Obwohl die Funktionsverläufe der frequenzabhängigen mechanischen Impedanz bei gelagerten Asphaltplatten im Labor und im Verbund mit der Fahrbahnbefestigung in situ stark voneinander abweichende Verläufe aufweisen, ist die Kohärenz – also die Übereinstimmung der Einzelmessungen – im mittleren Frequenzbereich in der Regel sehr hoch. Daher wird das Integral der mechanischen Impedanz zwischen 250 und 750 Hz $Z_{m,250-750}$ als möglicher Kennwert für die Asphaltsteifigkeit angesehen.

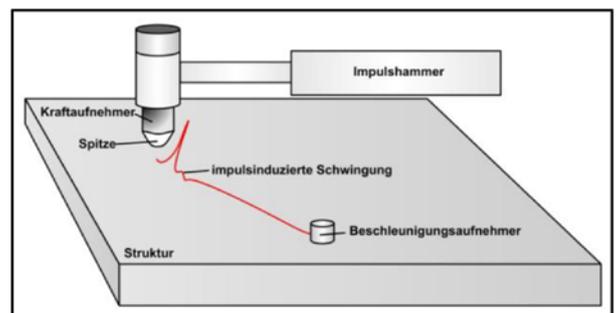


Bild 4: Impulshammer mit externen Beschleunigungsmesser [Disynet, 2012]

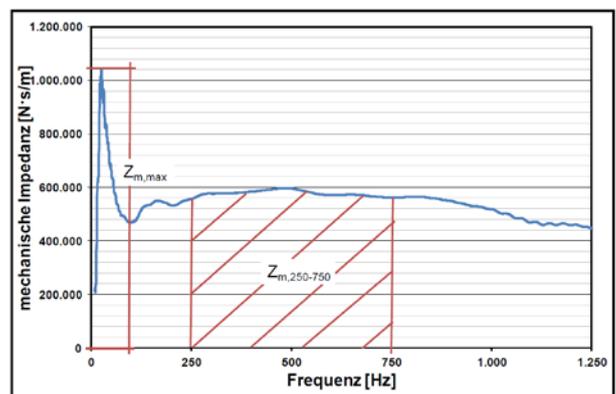


Bild 5: Definition der Kennwerte der Messungen mit dem Impulshammer

2.2 Untersuchungen im Labor

Im Labor wurden Asphaltplatten (32 x 26 x 4 cm³) weggeregelt verdichtet und nach der Temperierungsmethode T3 temperiert (siehe Abschnitt 3.3). Während die Messungen mit dem mod. LFGG und dem Impulshammer ohne weitere Temperierung durchgeführt wurden, wurden die Asphaltplatten für die zehn Minuten dauernden Messungen mittels PVE-Tester in einem temperierten Wasserbad gelagert. Als Auflage diente bei dem PVE-Tester eine Betonplatte, bei dem mod. LFGG eine Sandbettung und bei dem Impulshammer eine harte Gummimatte.

Zur gezielten Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Asphaltkomponenten auf die Verformungsbeständigkeit bei hohen Temperaturen wurden fünf Asphaltarten mit jeweils vier unterschiedlich modifizierten Bitumen untersucht. Im Einzelnen wurden die beiden Asphaltbetone AC 8 D N und AC 11 D S sowie die drei Splittmastixasphalte SMA 5 S, SMA 8 N und SMA 8 S ausgewählt. Diese wurden jeweils unter Verwendung eines Straßenbaubitumens 50/70 ohne Modifizierung beziehungsweise mit 3 M.-% Fischer-Tropsch-Wachs (FT-Wachs), Amidwachs oder Montanwachs hergestellt.

Mit dem PVE-Tester wurden die Asphaltplatten bei 20, 40, 60 und 80 °C untersucht. Das mod. LFGG wurde zusätzlich bei einer Asphalttemperatur von 70 °C angewendet. Aufgrund der geringen Asphaltsteifigkeit bei hohen Temperaturen wurden die Proben für die Untersuchungen mittels Impulshammer auf 20, 30, 40, 50 beziehungsweise 60 °C temperiert.

2.3 Untersuchungen in situ

Insgesamt wurden in situ elf Baumaßnahmen analysiert (Tabelle 1). In zwei Fällen (D4* und D5*) wurden die Messungen einige Wochen nach Fertigstellung der Baumaßnahme durchgeführt. Die so gewonnenen Messwerte erlauben in erster Näherung das Empfehlen von Anhaltswerten für eine frühestmögliche Verkehrsfreigabe, da trotz vorangegangener, mehrtägiger Hitzeperiode und Oberflächentemperaturen von maximal 50 °C keine Schäden in der Asphaltbefestigung festgestellt wurden.

Bei den übrigen Baumaßnahmen handelt es sich um drei Asphaltbinder und sechs Asphaltdeckschichten. Fünf Asphalte wurden unter Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel und vier unter Verwendung konventioneller Bindemittel hergestellt. Die Messungen wurden wenige Minuten nach Beendigung der Walzarbeiten begonnen und bis zum Abkühlen der Oberflächentemperaturen auf etwa 30 °C in regelmäßigen Abständen durchgeführt. Ergänzend wurden an den jeweiligen Folgetagen die Kennwerte auf den vollständig abgekühlten Oberflächen gemessen.

Tabelle 1: Untersuchte Baumaßnahmen

Bezeichnung	Asphaltsorte	Viskositätsverändert	Ort	Datum
B1	AC 16 B S		Alpen	04.07.2013
B2	AC 16 B S		Bochum	14.09.2012
B3	SMA 16 B S	x	Wittenberg	13.08 + 14.08.2012
D1	AC 11 D S		Alpen	08.08.2013
D2	SMA 8 B S	x	Adorf	03.08.2013
D3	SMA 8 B S		Bochum	19.08.2013
D4	SMA 8 B S		Bochum	Juli/August 2013
D5	SMA 8 B S		Bochum	
D6	SMA 8 B S	x	Chemnitz	07.10.2013
D7	PMA 5	x	Düsseldorf	13.09.2012
D8	SMA 11 S	x	Wittenberg	15.08. + 03.09.2012

3 Versuchsergebnisse und Bewertung

3.1 Handhabung der Messgeräte

Vor allem im Baustelleneinsatz müssen die Messgeräte einfach und schnell zu bedienen und zudem robust sein. Während das mod. LFGG diese Anforderungen am besten erfüllt, weist der PVE-Tester durch sein Gewicht von etwa 120 kg und die lange Messdauer von jeweils 10 Minuten Schwächen bezüglich Mobilität und Messdauer auf. Der Impulshammer ist dagegen aufgrund der empfindlichen Messeinrichtungen weniger robust und zudem im Gegensatz zu den beiden anderen Geräten durch seinen Aufbau und die anspruchsvolle Software wenig bedienerfreundlich (Tabelle 2).

Tabelle 2: Handhabung der Prüfgeräte

	PVE-Tester	Mod. LFGG	Impulshammer
Messdauer	-	+	0
Mobilität	-	0	+
Robustheit	+	0	-
Bedienerfreundlichkeit	+	+	-

3.2 Präzision der Messgeräte

Im Labor wurden unter stets gleichen Herstellungs- und Prüfbedingungen bei exakten Asphalttemperaturen identische Asphaltproben als Doppelbestimmungen untersucht. Auf Basis der Streuungen dieser Messwerte wird die Präzision bewertet. Die Asphalttemperatur übt einen sehr starken Einfluss auf die Messergebnisse selbst und deren Präzision aus, während die Asphaltzusammensetzung einen relativ geringen Einfluss hat (siehe Abschnitt 3.4). Daher sind die durchschnittlichen Streuungen der irreversiblen Eindringtiefen (PVE-Tester und mod. LFGG) beziehungsweise der integrierten mechanischen Impedanz (Impulshammer) in Bild 6 für die Asphalttemperaturen gemittelt.

Die durchschnittliche Streuung der irreversiblen Eindringtiefe $ET_{irr,PVE}$ beträgt bei Asphalttemperaturen von 20 bis 60 °C etwa 0,3 mm. Streuungen dieser Größenordnung sind auf das Prüfverfahren selbst und die Inhomogenität des Asphalts zurückzuführen, die bei einem Stempeldurchmesser von 40 mm die Messergebnisse beeinflussen. Die Streuung von durchschnittlich 0,76 mm bei der Asphalttemperatur von 80 °C ist vermutlich auf die in diesem Zustand sehr geringe Asphaltsteifigkeit zurückzuführen.

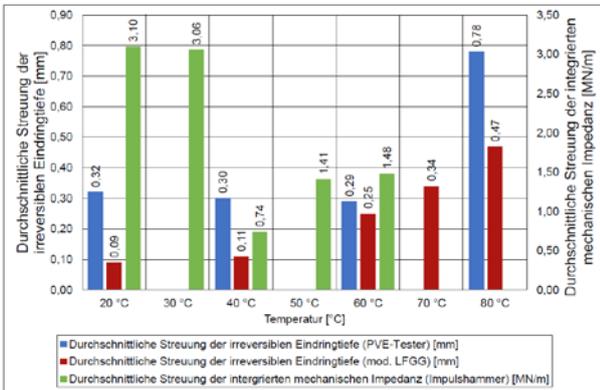


Bild 6: Durchschnittliche Streuung der Kennwerte bei Messungen im Labor, jeweils in Abhängigkeit von der Temperatur

Bei Untersuchungen mit dem mod. LFGG ist die durchschnittliche Streuung der irreversiblen Eindringtiefe $ET_{irr,LFGG}$ aufgrund der minimalen Deformationen bei Asphalttemperaturen von 20 und 40 °C mit durchschnittlich 0,09 beziehungsweise 0,11 mm gering. Mit zunehmender Asphalttemperatur und -deformation steigt die durchschnittliche Streuung kontinuierlich bis auf 0,47 mm bei 80 °C an. Trotz etwa gleicher irreversibler Eindringtiefen weist das mod. LFGG im Vergleich zum PVE-Tester somit bei Temperaturen ab 60 °C eine geringere Streuung und damit bessere Präzision auf. Bei 20 °C ist die durchschnittliche Streuung der irreversiblen Eindringtiefe $ET_{irr,LFGG}$ mit 0,09 mm dagegen größer als der Mittelwert der irreversiblen Eindringtiefe selbst (0,08 mm). Im Gegensatz zum PVE-Tester liefern die Messungen mit dem mod. LFGG folglich bei derart verformungsbeständigen Asphaltproben keine differenzierbaren Informationen über die Asphaltsteifigkeit.

Generell ist die Präzision der Messergebnisse des Impulshammers im Labor sehr hoch. Über die insgesamt 100 Doppelbestimmungen gemittelt beträgt die Abweichung der Messergebnisse voneinander lediglich 16 % des jeweiligen Mittelwerts. Die Doppelbestimmungen der irreversiblen Eindringtiefen liefern dagegen prozentual größere Streuungen von im Mittel 30 % (PVE-Tester) beziehungsweise 45 % (mod. LFGG) des jeweiligen Mittelwerts der Doppelbestimmung.

3.3 Einfluss der Temperierungsart auf die Messergebnisse

Der in der Fachliteratur zum Beispiel [Arand, 1998] beschriebene Effekt der Strukturviskosität besagt, dass die Bitumen- und damit auch die Asphaltsteifigkeit neben der Messtemperatur selbst von der Ansteuerrichtung der Temperatur abhängen. Zur Analyse dieses Einflusses wurden 15 Asphaltproben untersucht: Ein Asphaltbeton AC 11 D S und zwei Splittmastixasphalte SMA 5 S beziehungsweise SMA 8 S wurden hierzu jeweils unter Verwendung eines nicht modifizierten beziehungsweise viskositäts-

veränderten (FT-Wachs, Amidwachs beziehungsweise Montanwachs) Bitumens 50/70 weggeregelt verdichtet und auf drei verschiedene Arten bei 60 °C temperiert:

- Temperierung T1: Unmittelbar nach der Herstellung der Asphaltplatten wurden diese bei Raumtemperatur so lange abgekühlt, bis die Versuchstemperatur von 60 °C erreicht war.
- Temperierung T2: Unmittelbar nach der Herstellung der Asphaltplatten wurden diese für vier Stunden im Trockenschrank konstant auf die Prüftemperatur von 60 °C temperiert.
- Temperierung T3: Nach der Herstellung der Asphaltplatten wurden diese auf Raumtemperatur abgekühlt. Nach dem vollständigen Abkühlen wurden die Proben temperiert und geprüft.

Die irreversiblen Eindringtiefen (PVE-Tester und mod. LFGG) beziehungsweise integrierten mechanischen Impedanzen (Impulshammer), die nach den drei Temperierungsmethoden jeweils bei 60 °C gemessen wurden, sind in Bild 7 dargestellt. Da Hysterese-Effekte der verwendeten Wachsadditive bei der Prüftemperatur von 60 °C abgeschlossen sind, werden je Kennwert und Temperierungsart die Mittelwerte aller 15 Asphaltvarianten angegeben.

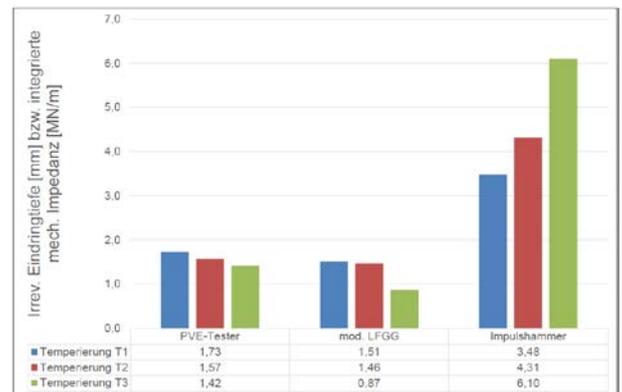


Bild 7: Irreversible Eindringtiefe beziehungsweise integrierte mechanische Impedanz bei 60 °C in Abhängigkeit von der Temperierung der Asphaltplatten

Bei allen Messgeräten wird die größte Asphaltsteifigkeit bei den wiedererwärmten Asphaltplatten (T3) und die geringste Asphaltsteifigkeit in der Abkühlungsphase (T1) gemessen. Hierbei sind die Differenzen zwischen den Temperierungsmethoden T1 und T2 mit Werten deutlich unterhalb der durchschnittlichen Streuungen von Doppelbestimmungen bei der gewählten Temperatur von 60 °C (Bild 6) sehr gering. Die höheren Kerntemperaturen beeinflussen demnach die Messergebnisse nur geringfügig. Deutlichere Unterschiede wurden zwischen den Temperierungsarten T2 und T3 gemessen. Vor allem die mittels mod. LFGG bestimmten irreversiblen Eindringtiefen sind im Mittel nach einer zwischenzeitlichen vollständigen Abkühlung um 0,59 mm geringer als die nach der Herstellung ohne zwischenzeitliche Abkühlung untersuchten Proben. Dieser Trend zeigt die Strukturviskosität der Asphalte, die jedoch aufgrund starker, nicht auf die Asphaltzusammensetzung zurückzuführender Unterschiede der einzelnen Messergebnisse nicht exakt quantifiziert werden kann. Da die stets als Vergleich durchgeführte Bewertung der

verschiedenen Asphaltproben unabhängig von der Temperierungsart ist, erfolgte die Temperierung aller weiteren Proben einheitlich nach der Methode T3.

3.4 Einfluss der Asphaltzusammensetzung auf die Messergebnisse

Der Einfluss der Asphaltzusammensetzung auf die Ergebnisse der drei Messgeräte wurde aufgrund der stets identisch hergestellten und untersuchten Laborproben durch gezielte Variationen der Asphaltzusammensetzungen analysiert. Bindemittelgehalt und Korngrößenverteilung wurden entsprechend den Vorgaben der TL Asphalt-StB (2007) bei den fünf verwendeten Asphaltvarianten variiert. Die gemessenen Kennwerte der fünf Asphaltvarianten sind jeweils in Abhängigkeit von der Asphalttemperatur in den Bildern 8 (PVE-Tester), 9 (mod. LFGG) und 10 (Impulshammer) dargestellt. Dabei sind die Kennwerte unabhängig von der Bindemittelmodifizierung gemittelt.

Die mittels PVE-Tester bestimmten irreversiblen Eindringtiefen des AC 8 D N sind unabhängig von der Asphalttemperatur deutlich (im Mittel 47 %) größer als die irreversiblen Eindringtiefen $ET_{irr,PVE}$ des durch Bindemittelgehalt und Korngrößenverteilung verformungsbeständiger konzipierten AC 11 D S. Die im Mittel 19 % geringeren irreversiblen Eindringtiefen (mod. LFGG) des AC 11 D S quantifizieren ebenfalls eine temperaturunabhängig geringere Verformungsbeständigkeit des AC 8 D N. Mit Ausnahme der großen irreversiblen Eindringtiefe des SMA 5 S bei 80 °C weisen die Splittmastixasphalte untereinander nur geringe Unterschiede bezüglich der Verformungsbeständigkeit auf. Hierbei sind die irreversiblen Eindringtiefen $ET_{irr,PVE}$ beziehungsweise $ET_{irr,LFGG}$ aufgrund des verformungsbeständigeren Korngerüsts bei den Splittmastixasphalten vergleichbar mit denen des AC 11 D S.

Im Gegensatz zu den beiden anderen Messgeräten wird die Asphaltsteifigkeit des AC 8 D N mit dem Impulshammer größer bewertet als die des AC 11 D S. Im Vergleich der Splittmastixasphalte weisen die beiden verformungsbeständig konzipierten S-Varianten große Unterschiede auf. Die integrierte mechanische Impedanz des SMA 8 S ist sehr hoch, während die Messwerte des SMA 5 S etwa denen des SMA 8 N entsprechen.

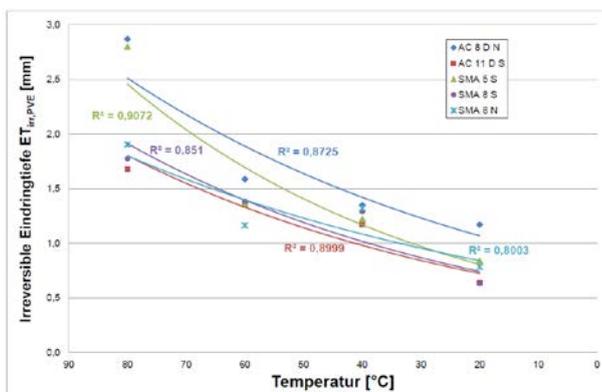


Bild 8: Mittlere temperaturabhängige irreversible Eindringtiefe (PVE-Tester) in Abhängigkeit von der Asphaltart

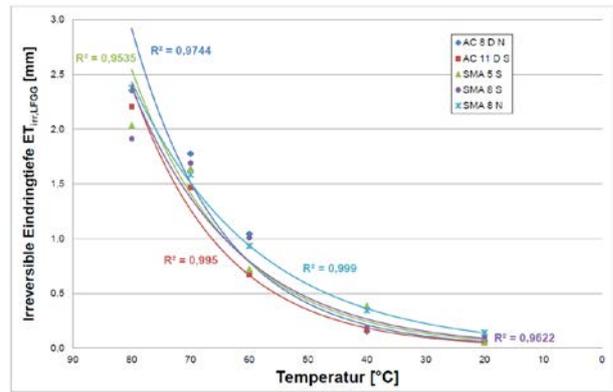


Bild 9: Mittlere temperaturabhängige irreversible Eindringtiefe (mod. LFGG) in Abhängigkeit von der Asphaltart

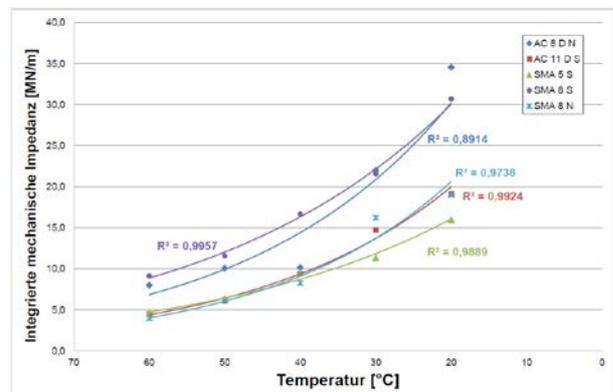


Bild 10: Mittlere temperaturabhängige integrierte mechanische Impedanz (Impulshammer) in Abhängigkeit von der Asphaltart

Zur Bewertung der Wirkung der viskositätsverändernden Zusätze sind in den Bildern 11 (PVE-Tester) und 12 (mod. LFGG) die temperaturabhängigen irreversiblen Eindringtiefen $ET_{irr,PVE}$ beziehungsweise $ET_{irr,LFGG}$ für die jeweiligen Mittelwerte aller gleich modifizierten Asphaltvarianten dargestellt. Sowohl mit dem PVE-Tester als auch mit dem mod. LFGG werden bei den nicht modifizierten Varianten die größten Eindringtiefen gemessen. Zudem treten mit 1,74 mm (PVE-Tester) beziehungsweise 2,38 mm (mod. LFGG) die deutlichsten Differenzen der Eindringtiefen zwischen 80 und 20 °C auf. Die Varianten unter Verwendung von Montanwachs weisen im Durchschnitt nahezu identische, jedoch bei Erhöhung der Asphalttemperatur weniger stark ansteigende Eindringtiefen auf. Bei der Verwendung von FT- oder Amidwachs zeigen die Asphaltproben bei Messungen mit dem mod. LFGG nahezu gleiche Eindringtiefen. Die Verformungsbeständigkeit dieser Varianten ist unabhängig von der Asphalttemperatur größer und die Abnahme der Asphaltsteifigkeit zwischen 20 und 80 °C ist mit etwa 1,9 mm geringer. Bei den Untersuchungen mit dem PVE-Tester unterschieden sich dagegen die Ergebnisse der beiden verformungsbeständigsten Varianten voneinander. Die Asphalte unter Verwendung von FT-Wachs weisen sowohl temperaturunabhängig geringere Eindringtiefen als auch geringere Differenzen zwischen den Eindringtiefen bei 80 und 20 °C auf.

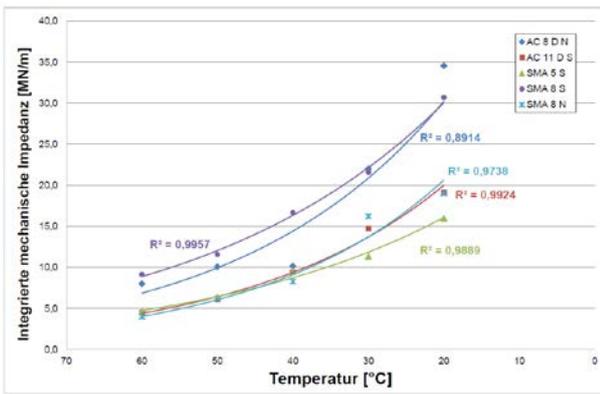


Bild 11: Mittlere temperaturabhängige irreversible Eindringtiefe (PVE-Tester) der verschiedenen Asphaltarten in Abhängigkeit von der Bindemittelmodifizierung

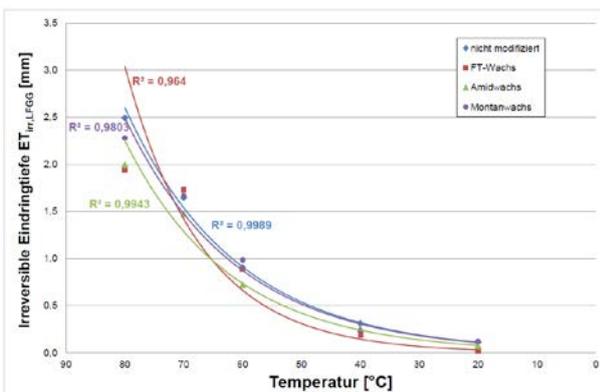


Bild 12: Mittlere temperaturabhängige irreversible Eindringtiefe (mod. LFGG) der verschiedenen Asphaltarten in Abhängigkeit von der Bindemittelmodifizierung

Sowohl anhand des PVE-Testers als auch anhand des mod. LFGG sind zwei Trends festzustellen:

Eine generelle und vor allem bei ansteigender Temperatur stärker ausgeprägte Zunahme der Verformungsbeständigkeit werden zum einen durch das Verspannen des Korngerüsts und zum anderen durch die Zugabe viskositätsverändernder Zusätze verursacht. Der Einfluss des Korngerüsts ist vor allem bei den Splittmastixasphalten deutlich, da diese trotz höheren Bindemittelgehalts geringere Eindringtiefe aufweisen als der AC 8 D N. Die Zunahme der Verformungsbeständigkeit durch viskositätsverändernde Zusätze ist primär bei hohen Messtemperaturen festzustellen, wobei im Fall des Montanwachses nur eine minimale Versteifung gemessen wird.

Alle dokumentierten Auswirkungen sind lediglich als Trends anzusehen, da die Präzision der Messgeräte keine Quantifizierung dieser Trends erlaubt. Bei einer Asphalttemperatur von 80 °C beträgt die durchschnittliche Streuung von Doppelbestimmungen der irreversiblen Eindringtiefe $ET_{irr,PVE}$ beispielsweise 0,78 mm, während die gemittelten irreversiblen Eindringtiefen bei dieser Temperatur durch die Bindemittelmodifizierung um maximal 0,72 mm (nicht modifiziert: 2,52 mm; FT-Wachs: 1,80 mm) differieren.

Die Messungen mit dem Impulshammer im Labor und in situ unterschieden sich deutlich von den weitestgehend plausiblen und übereinstimmenden Ergebnissen der beiden anderen Messgeräte. Da die Anwendung in situ zudem störungsanfälliger und

weniger benutzerfreundlich ist, ist der Impulshammer in der verwendeten Form und Anwendung für die Bestimmung der Asphaltsteifigkeit bei Temperaturen oberhalb von 20 °C nicht geeignet.

3.5 Bestimmung des Zeitpunkts der Verkehrsfreigabe

Auf zwei unterschiedlich stark belasteten Straßen wurden einige Wochen nach Fertigstellung der Baumaßnahmen jeweils bei Oberflächentemperaturen zwischen 23 und 50 °C Messungen mit dem PVE-Tester und dem mod. LFGG durchgeführt. Die Untersuchungen bei der höchsten Oberflächentemperatur von 50 °C wurden am Ende einer mehrere Tage andauernden Hitzeperiode an einer Messstelle durchgeführt, die durchgehend dem Sonnenschein ausgesetzt war. Hierdurch war der gesamte Asphaltoberbau überproportional aufgeheizt. Da weder zum Zeitpunkt der Messungen noch in der Folge Schäden an den Messstellen aufgetreten sind, werden anhand der in Bild 13 dargestellten Eindringtiefen erste Anhaltswerte für eine frühestmögliche Verkehrsfreigabe definiert.

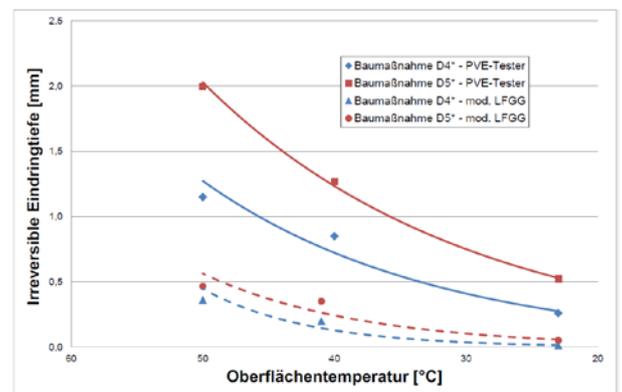


Bild 13: Mittlere temperaturabhängige irreversible Eindringtiefe (PVE-Tester beziehungsweise mod. LFGG) der Deckschichten D4* und D5*

Im Bereich eines Knotenpunkts einer hochbelasteten Landesstraße (D4*) betragen die irreversible Eindringtiefen bei einer Oberflächentemperatur von 50 °C 1,15 mm (PVE-Tester) beziehungsweise 0,36 mm (mod. LFGG). Bei Einhaltung einer Sicherheitsreserve sind nach diesen Ergebnissen selbst unter höchsten Verkehrsbelastungen bei Eindringtiefen von 1,0 mm (PVE-Tester) beziehungsweise 0,25 mm (mod. LFGG) keine Schäden zu erwarten. Die Anhaltswerte für eine frühestmögliche Verkehrsfreigabe werden dagegen auf Basis der Messwerte auf einer mäßig belasteten Stadtstraße (D5*) abgeleitet, die trotz starker Hitze keine feststellbaren Schädigungen aufwies. Die so definierten Anhaltswerte von 2,0 mm (PVE-Tester) beziehungsweise 0,5 mm (mod. LFGG) entsprechen etwa den gemessenen Werten bei einer Oberflächentemperatur von 50 °C.

In den Bildern 14 (PVE-Tester) und 15 (mod. LFGG) sind die als Exponentialfunktionen idealisierten temperaturabhängigen Eindringtiefen der neun begleiteten Baumaßnahmen dargestellt.

Generell ist die Bewertung der temperaturabhängigen Verformungsbeständigkeit in situ mit dem PVE-Tester und dem mod. LFGG vergleichbar und plausibel. Asphalte mit einer hohen und wenig temperaturabhängigen Steifigkeit zeigen dieses Verhalten bei beiden Messgeräten und umgekehrt. Entsprechend den

Laborergebnissen erzeugt das mod. LFGG bei temperatur- und/oder asphaltbedingt hoher Verformungsbeständigkeit nur minimale irreversible Eindringtiefen. Diese nehmen bei zurückgehender Asphaltsteifigkeit sehr stark zu, während die Funktionsverläufe der temperaturabhängigen irreversiblen Eindringtiefen des PVE-Testers nahezu linear verlaufen. Hierdurch ist bei Untersuchungen mittels mod. LFGG eine bessere Differenzierbarkeit zwischen verformungsbeständigen und nicht ausreichend verformungsbeständigen Asphalten gegeben. Im Gegensatz zu dem PVE-Tester ist bei hoher Verformungsbeständigkeit jedoch keine Differenzierung mehr möglich.

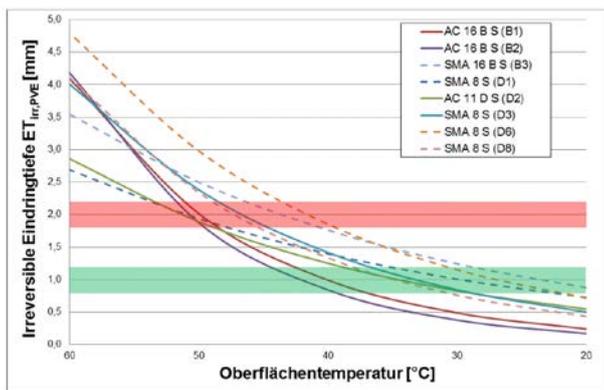


Bild 14: Temperaturabhängige irreversible Eindringtiefe (PVE-Tester) der untersuchten Baumaßnahmen

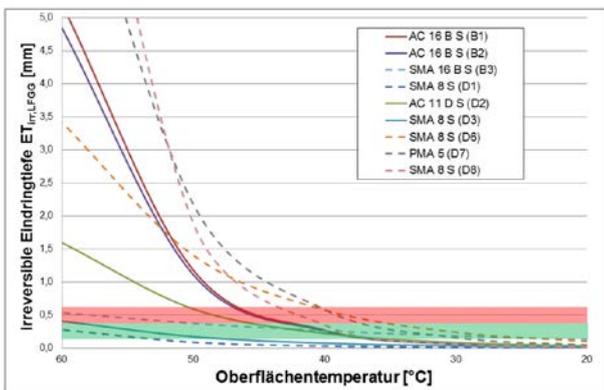


Bild 15: Temperaturabhängige irreversible Eindringtiefe (mod. LFGG) der untersuchten Baumaßnahmen

Die zuvor vorgeschlagenen ersten Anhaltswerte für eine frühestmögliche Verkehrsfreigabe wurden auf den Baustellen zwischen 2 und 16 Stunden nach dem Abschluss der Verdichtungsarbeiten erreicht. Folglich ist eine objektbezogene Reduzierung der aktuell vorgeschriebenen Sperrzeiten von wenigstens 24 Stunden möglich. Durch die Messungen lassen sich auch individuelle Randbedingungen wie Wetterbedingungen und Asphalttemperaturen berücksichtigen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die minimale Zeitspanne zwischen dem Einbau einer Asphalt-schicht und der Verkehrsfreigabe beträgt gemäß ZTV-Asphalt-StB (2007) 24 Stunden. Die Praxiserfahrung zeigt jedoch, dass die Verkehrsfreigabe bei entsprechender Asphaltzusammensetzung beziehungsweise Baustellenmanagement bereits nach kürzerer Zeit schadensfrei möglich ist. Da bislang keine Messgeräte

zur Bestimmung des frühestmöglichen Zeitpunkts einer schadensfreien Verkehrsfreigabe angewendet werden, wurden drei mögliche Messgeräte erprobt: der PVE-Tester, das modifizierte Leichte Fallgewichtsgerät (mod. LFGG) und der Impulshammer. Mit dem PVE-Tester wird durch einen Laststempel von 40 mm Durchmesser eine statische Flächenpressung von 0,8 N/mm² erzeugt, um die irreversible Eindringtiefe zu messen, die nach einer Belastungszeit von fünf Minuten und einer anschließenden Entlastungszeit von drei Minuten entsteht. Bei dem mod. LFGG wird die irreversible Eindringtiefe eines Laststempels mit 50 mm Durchmesser nach fünf Belastungsstößen mit einer Flächenpressung von 3,6 N/mm² gemessen. Mit dem Impulshammer wird der Asphalt zu Schwingungen angeregt (zehn Schläge). Ein Schwingungsaufnehmer misst die Reaktion des Asphalts. Das Integral der gemessenen mechanischen Impedanz bei Frequenzen von 250 bis 750 Hz ist ein Kennwert für die Asphaltsteifigkeit.

Mit dem PVE-Tester und dem mod. LFGG werden sowohl im Labor als auch in situ vergleichbare und plausible Ergebnisse ermittelt. Vor allem die zur Beurteilung verwendeten irreversiblen Eindringtiefen nehmen mit steigender Asphalttemperatur beziehungsweise weniger standfester Asphaltzusammensetzung deutlich zu. Bei der Bestimmung des frühestmöglichen Freigabezeitpunkts differenziert das im Baustellenbetrieb einfacher zu handhabende mod. LFGG durch die kurze, eine schnelle Überrollung simulierende Stoßbelastung stärker zwischen verformungsbeständigem und durch Verkehrsbelastung verformbarem Asphalt. Bei höherer, für die Verkehrsfreigabe prinzipiell ausreichender Verformungsbeständigkeit ist eine Analyse des Asphalts jedoch nur anhand der den langsamen oder den ruhenden Verkehr simulierenden Kriechbelastung des PVE-Testers möglich. Der Impulshammer ist aufgrund teilweise widersprüchlicher Messergebnisse und eingeschränkter Baustellentauglichkeit in der vorliegenden Form kein geeignetes Messgerät zur Beurteilung des Zeitpunkts der Verkehrsfreigabe.

Generell besteht in situ und vor allem bei den Laboruntersuchungen ein Trend zu höherer und weniger temperaturabhängiger Verformungsbeständigkeit bei dem Einsatz viskositätsverändernder Zusätze. Dieser Trend kann jedoch aufgrund der geringen Unterschiede und der relativ großen Streuungen der Messergebnisse nicht quantifiziert werden. Strukturviskoses Verhalten, also eine Erhöhung der Asphaltsteifigkeit durch eine zwischenzeitliche Abkühlung, konnte bei den Laboruntersuchungen ebenfalls als nicht quantifizierbare Tendenz festgestellt werden.

PVE-Tester und mod. LFGG sind zur Bestimmung des frühestmöglichen Zeitpunkts der Verkehrsfreigabe sinnvoll, da aufgrund in- und externer Einflüsse (Asphaltzusammensetzung, Witterungsverhältnisse etc.) die Angabe einer maximalen Oberflächentemperatur oder gar einer Zeitspanne zwischen Asphalteinbau und Verkehrsfreigabe nicht zielführend ist. Erste Anhaltswerte für die frühestmögliche schadensfreie Verkehrsfreigabe wurden daher im Rahmen dieses Forschungsprojekts an zwei Straßen wenige Wochen nach dem Asphalteinbau unter hochsommerlichen Bedingungen ermittelt. Bei Anwendung auf die Baustellenmessungen deuten diese Anhaltswerte darauf hin, dass eine schadensfreie Verkehrsfreigabe in vielen Fällen bereits deutlich früher als nach 24 Stunden möglich ist.

Ausgehend von den bisherigen Erfahrungen sind durch eine ausreichende Zahl an Messungen unter hochsommerlichen Beding-

ungen, begleitet von detaillierten Untersuchungen zum Verhalten des Asphalts unter Verkehrsbelastung, Richt- und damit potenzielle Grenzwerte der irreversiblen Eindringtiefen zu bestimmen. Abgesicherte Freigabekriterien bedürfen zudem einer weiteren Analyse der Streuung von Messergebnissen in situ. Als Resultat weiterer Forschung sollte durch eine Validierung der im Rahmen dieses FE-Projekts hergeleiteten Anhaltswerte ein Freigabekriterium bestimmt werden, das sowohl ein Maximum der irreversiblen Eindringtiefe als auch eine Mindestzahl an Messungen festlegt, die die Unterschreitung dieses Maximums bestätigen.

5 Literatur

- Arand, W.: Einfluss von Temperatur und Temperaturrate auf den Verformungswiderstand frisch verlegter Asphaltdeckschichten während Abkühlung und Wiedererwärmung. Asphalt, 4/1998
- Disynet: Disynet Data Interface Systems and Network GmbH 2008, Sensor-Kompodium, Internetpräsenz: 14.11.2012
- Pawlik, C.: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung des optimalen Zeitpunktes zur Verkehrsfreigabe einer Asphaltdeckschicht nach Einbau, Diplomarbeit, Lehrstuhl für Verkehrswegebau, Ruhr-Universität Bochum, 2009
- TL Asphalt-StB 2007: Technische Lieferbedingungen für Asphaltgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2007
- TP BF-StB Teil B 8.3: Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Teil B 8.3: Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgesetz. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2003
- ZTV Asphalt-StB, 2007: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2007