

strasse und verkehr

route et trafic

10 / 2006



Schnittstellenprobleme zwischen Bahn und Veloverkehr

Bahnhofplätze: Eine Bühne für den Fussverkehr

Vermeidung von Kälterissen in Asphaltstrassen

Rail et cyclistes: problème d'interface

Places de gares: des plates-formes pour le trafic piétonnier

Prévention de la fissuration des chaussées bitumineuses par basses températures

Die Beurteilung des Verformungswiderstandes bituminöser Schichten mittels Druckschwell-Versuch

Die Beurteilung des Verformungsverhaltens bituminöser Schichten bei hohen Gebrauchstemperaturen ist ein zentrales Anliegen der Erstprüfung. Dazu stehen gemäss der heute geltenden SN-Norm [1] sowohl der Spurrinntest [2], als auch der Druckschwellversuch (DSV) [3] [4] zur Verfügung.

Von Christian Angst *

Die erwähnte SN [1] basiert auf dem Entwurf prEN 13108-1 [5], welcher zwischenzeitlich überarbeitet und in Brüssel definitiv als EN in Kraft gesetzt wurde [6]. Zwischen der prEN und der EN erfolgte eine Bereinigung, die unter dem Stichwort «Single test method per property» erfolgte. Diese Bereinigung betraf sämtliche 13108-xx Normen und hatte zum Ziel Doppelspurigkeiten zu eliminieren. Das definitive Normenpaket der 13108-Reihe soll in der Schweiz bis spätestens zum 1. Januar 2008 in Kraft gesetzt werden.

Die von der Europäischen Kommission erteilten Mandate für harmonisierte CEN-Normen, verlangen, dass wesentliche Merkmale mit einem einzigen Prüfverfahren zu charakterisieren sind. Allerdings ist diese Forderung nicht absolut aufzufassen, denn die EN-Norm für Asphaltmischgut 13108-1 enthält verschiedene Ansätze um die Anforderungen an Asphaltmischgut festzulegen, den «empirischen» und den «fundamentalen» Ansatz.

Jedes europäische Land muss sich entscheiden, welche der beiden untenstehenden Lösungen, umgesetzt werden:

- Empirische Anforderungen:
Beschreibende und leistungsorientierte Anforderungen

- Fundamentale Anforderungen:
Beschreibende und leistungsorientierte Anforderungen

Leistungsorientierte Anforderungen

Anforderung an eine fundamentale, physikalische Eigenschaft (z. B. Steifigkeit, Ermüdungsverhalten) die das Leistungsverhalten des Asphaltes in der Fahrbahnbefestigung beschreibt und mit welchem das Verhalten der Strasse abgeschätzt werden kann.

Leistungsorientierte Anforderungen:

Anforderung an einen Kennwert (z. B. Spurrinntiefe, Marshall-Werte usw.) der in gewisser Weise mit physikalischen Eigenschaften korreliert, mit denen das Verhalten der Strasse abgeschätzt werden kann.

Beschreibende Anforderungen

Anforderungen für die Zusammensetzung des Mischgutes und den Eigenschaften der Bestandteile.

Wie aus der Tabelle 1 zu sehen ist, sind diese Möglichkeiten in ihrer Aussagekraft nicht zu vergleichen. Es ist daher ein strategisches Ziel der VSS für hochbelastete Strassen von den empirischen zu den fundamentalen An-

* Christian Angst, dipl. Ing. ETH, Dr. sc. techn., IMP-Bautest AG, Oberbuchsitzen

Evaluation de la résistance à la déformation des couches bitumineuses au moyen d'essai de fluage dynamique

L'évaluation du processus de déformation des couches bitumineuses à des températures de service élevées est un point essentiel de l'essai. Pour ce faire, on peut, selon la norme SN [1], aussi bien faire appel au test de l'orniérage qu'à l'essai de fluage dynamique.

Kritische Eigenschaft	Beschreibende Anforderungen	Leistungsorientierte Anforderungen (empirisch)	Leistungsbasierte Anforderungen (fundamental)
Adhäsion des Bindemittels am Gestein	Hohlraum (HR)- und Bindemittelgehalt (BM), Mischguttemperatur (MGT)	Wasserempfindlichkeit [8]	(Wasserempfindlichkeit [8])
Steifigkeit	Korngrößenverteilung (KGV), HR, BM, MGT	– [9]	Steifigkeit [9]
Verformungswiderstand	KGV, HR, BM, MGT, Bindemittelausfüllungsgrad VFB, Hohlräume im Mineralstoffgemisch	Marshall oder Spurrinntest [2]	DSV [3]
Ermüdung	HR, BM, MGT	–	Ermüdungsverhalten [10]
Griffigkeit	KGV, HR, BM	–	–
Abriebwiderstand	KGV, BM	Kein Prüfverfahren in der Schweiz	

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Möglichkeiten die kritischen Eigenschaften von Asphalten zu beschreiben; in Anlehnung [7].

Tableau 1: Comparaison des différentes possibilités de description des propriétés critiques des mélanges bitumineux [7].

forderungen zu wechseln; auch die EN formuliert dieses Ziel in Ihrem Vorwort. Es ist heute schon möglich für verschiedene Asphaltarten Anforderungen für den empirischen Spurrinntest oder für den fundamentalen DSV festzulegen. Ein erster Schritt in diese Richtung wird mit den EME-Belägen erfolgen, bei denen fundamentale Anforderungen (Steifigkeit, Ermüdung) festgelegt werden. CE-Zeichen zu verwenden, ist die Wahl der Prüfmethode eingeschränkt (keine Handelshemmnisse). Ob das CE-Zeichen für Asphalte überhaupt Sinn macht, sei an dieser Stelle nicht besprochen.

Für eine Asphaltart dürfen Prüfmethode aus dem «empirischen Paket» nicht mit Prüfmethode aus dem «fundamentalen Paket» ergänzt werden. Allerdings besteht die Möglichkeit ausserhalb der Regelung für das CE-Zeichen, baustellenbezogene Lösungen zu finden. Dies soll auch der künftige Weg sein, auf welchem Erfahrungen mit den fundamentalen Prüfungen gesammelt werden können, um diese zur gegebenen Zeit einzuführen.

Vergleich Spurrinntest – Druckschwellversuch (DSV)

Im Folgenden wird unter «Spurrinntest» die Prüfung gemäss [2], verstanden. Beim DSV ist die Prüfung gem. [4] gemeint. Um eine Prüfmethode im Hinblick auf ihre Gebrauchstauglichkeit zu bewerten, sind meines Erachtens folgende Kriterien massgebend:

Primäre Kriterien

Praxisbezug

Die Ergebnisse müssen in einem Zusammenhang mit dem Leistungsverhalten in der Praxis stehen; sie sollen dazu dienen, das Verhalten des Belages unter Verkehrsbeanspruchung abzuschätzen.

Differenzierung

Für verschiedene Mischgutsorten sind die Unterschiede der Eigenschaften möglichst klar und signifikant aufzuzeigen.

Erfahrungen/Anforderungen:

Der Anwendungsbereich der Prüfmethode soll klar abgegrenzt und festgelegt sein; es sind Anforderungen bekannt.

Reproduzierbarkeit/Vergleichbarkeit:

Die Prüfmethode soll reproduzierbare (innerhalb eines Labors) und vergleichbare (verschiedene Labors) Ergebnisse liefern.

Sekundäre Kriterien

Probenmenge

Prüfmethode die (bei gleicher Aussagekraft) mit weniger Probenmaterial auskommen, weisen klare Vorteile auf. Dies gilt insbesondere bei der Prüfung von bereits eingebauten Schichten.

Zeitbedarf

Die Prüfergebnisse sollen so rasch als möglich zur Verfügung stehen.

Kosten-Nutzen-Verhältnis

Verfügbarkeit

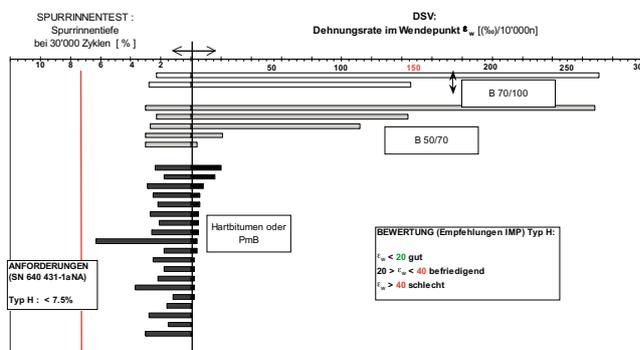
Die Prüfmethode soll in einer genügenden Anzahl Prüflaboratorien eingeführt sein, und der Bauwirtschaft zur Verfügung stehen.

Der empirische Spurrinntest vermag als grobe Leitplanke zu dienen. Die praktischen Erfahrungen zeigen, dass Ergebnisse wenig selektiv sind. Die Anforderungen

	Spurrinntest	Druckschwellversuch	Bemerkung
Primäre Kriterien			
Praxisbezug	Befriedigend	gut	1)
Differenzierung/Selektivität	unbefriedigend	gut	2)
Erfahrungen/Anforderungen	Jahrzehntelange Erfahrung normierte Anforderungen	In der Schweiz seit 1997 routinemässig angewendet, publizierte Anforderungen zurzeit nicht normiert	
Reproduzierbarkeit	gut	gut	
Sekundäre Kriterien			
Probenmenge	70 kg Mischgut	20 kg Mischgut	
Zeitbedarf (inkl. Prüfkörperherstellung)	5 Tage	2 Tage	
Kosten/Nutzen		Niedrigere Kosten und raschere Ergebnisse	
Verfügbarkeit	gut	gut	

Tabelle 2: Vergleichende Bewertung der beiden Prüfverfahren Spurrinntest und DSV.

Tableau 2: Evaluation comparative des deux méthodes d'essai test orniérage et fluage dynamique.



1: Vergleich der Ergebnisse des Spurrinntests mit denen des DSV an verschiedenen Tragschichten AC T.

1: Comparaison des résultats des tests d'orniérage et d'essais de fluage dynamique effectués sur différentes couches de base AC T.

werden auch von Asphalten erfüllt, deren Anwendung auf schwer beanspruchten Objekten nicht zu empfehlen ist. Aus der Abbildung 1 wird ersichtlich, dass zwei verschiedene AC T mit einem B 70/100 die Anforderungen an den Spurrinntest für den Mischguttyp H sehr gut erfüllen. Die gleichen Proben erfüllen beim DSV die von IMP vorgeschlagenen Anforderungen nicht. Dass Tragschichten ACT 22 mit einem B 70/100 die Anforderungen an den Mischguttyp H erfüllen, ist unseres Erachtens irreführend.

Ähnliche Beobachtungen können auch anhand der Abbildung 2 gemacht werden:

- Alle drei untersuchten SMA 11 mit B 70/100 und NAF erfüllen beim Spurrinntest die gestellten Anforderungen, während sie beim DSV die empfohlenen Grenzwerte deutlich überschreiten. Einer dieser drei SMA stammte übrigens aus einem Schadenfall mit Spurrinnenbildung.
- Der Verformungswiderstand der SMA mit PmB wird beim Spurrinntest ähnlich beurteilt wie beim SMA mit B 70/100 und NAF. Erfahrungsgemäss verhalten sich jedoch SMA-Beläge mit PmB auf schwer beanspruchten Objekten deutlich vorteilhafter.

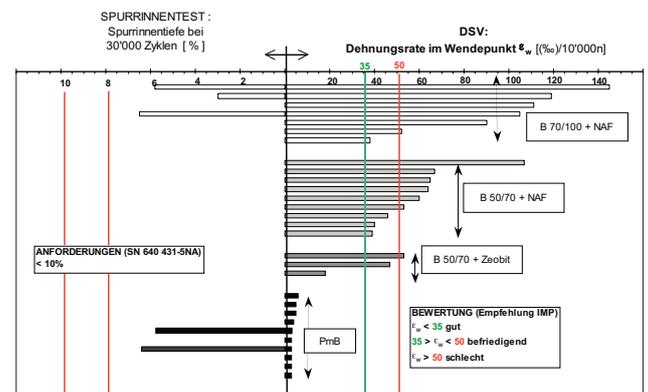
Im Rahmen einer Forschungsarbeit wurden verschiedene Mischgutsorten ACT 22 als obere Tragschichten sowohl auf dem Rundlauf der ETH wie auch auf einer Natio-

nalstrasse eingebaut und es wurde der Verlauf der Spurbildung gemessen [11]. Gleichzeitig wurden umfangreiche Laboruntersuchungen, unter anderem mit dem Spurrinntest durchgeführt. Aus den Folgerungen des Projektes FP 2 [12] sei zitiert: «Der DSV liefert differenzierte Ergebnisse bezüglich bleibender Verformung.» Aus der Abbildung 1 ist ersichtlich, dass die Prüfergebnisse der Tragschichten bei der Spurrinnenprüfung in einem sehr engen, gleichbleibenden Rahmen liegen. Es fällt auch auf, dass beim DSV die Gruppe der Tragschichten mit Spezialhart-Bitumen oder PmB generell tiefere Werte zeigt als die übrigen Tragschichten. Dieser plausible Unterschied vermisst man bei den Ergebnissen des Spurrinntestes, die keinen systematischen Unterschied aufzeigen.

Prüfverfahren

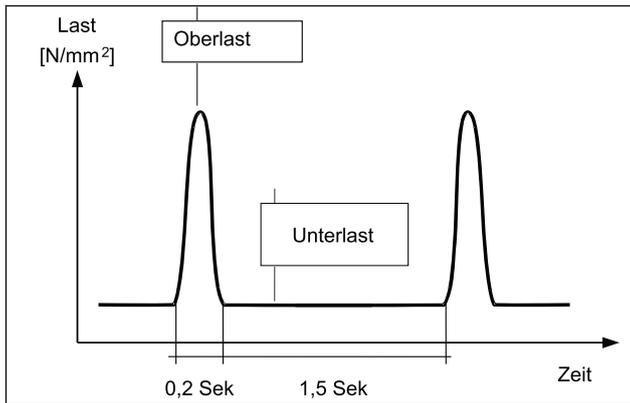
Versuchsdurchführung

Im DSV wird ein zylindrischer Prüfkörper bei 50°C einer haversine-impulsförmigen (sinusförmige Impulse) Druckschwell-Beanspruchung ausgesetzt (siehe Abb. 3). Die Deformation wird als Funktion der Anzahl Impulse aufgenommen. Wie aus der Abbildung 4 ersichtlich, besteht eine typische Verformungskurve aus 3 Phasen.



2: Vergleich der Ergebnisse des Spurrinntest mit denen des DSV an verschiedene SMA 11.

2: Comparaison des résultats des tests d'orniérage et d'essais de fluage dynamique effectués sur différents SMA 11.



3: Spannungsverlauf während des DSV.

3: Evolution de contraintes durant l'essai de fluage dynamique.

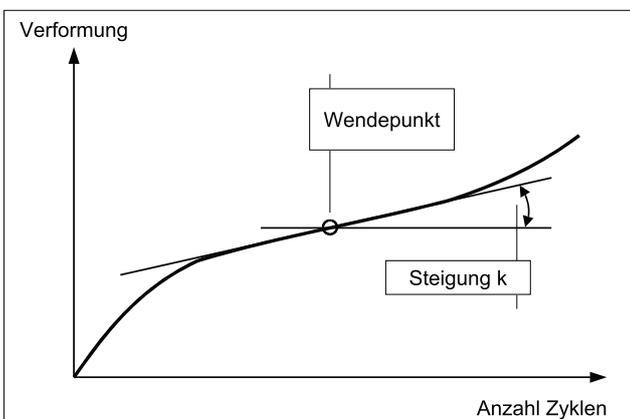
Phase 1: Zu Beginn starke Verformung mit abnehmender Verformungsgeschwindigkeit (Konsolidierung).

Phase 2: Bereich mit nahezu konstanter Verformungsgeschwindigkeit mit einem Wendepunkt (linearer Bereich). Phase 3: Die Verformung nimmt zu; beginnende Zerstörung des Prüfkörpers.

Für die Beurteilung des Verformungsverhaltens ist der Kurvenverlauf in der Phase 2 von besonderer Bedeutung. Die Dehnungsrate im Wendepunkt hat sich als sehr aussagekräftig erwiesen; daher werden die Anforderungen an die Ergebnisse des DSV auf diesen Wert bezogen.

Prüfkörper-Herstellung

Die TP A StB beschränkt sich auf die Prüfung von Marshall-Probekörpern oder Bohrkernen, mit den gleichen Abmessungen. Damit würde das Anwendungsgebiet des DSV auf Mischgutsorten ≤ 16 mm beschränkt. Um auch grobkörniges Mischgut zu prüfen, ermöglicht die EN 12697-20 [13] die Verwendung von Gyrator-Prüfkörpern. Um zu verhindern, dass das Mischgut im Gyrator-Verdichtungsgerät zu stark verdichtet wird, ist die Verdichtung beim Erreichen eines Verdichtungsgrades von 10% zu unterbrechen.



4: Typische Verformungskurve im Druckschwellversuch.

4: Courbe de déformation typique de l'essai de fluage dynamique.

Erweiterte Eignungsprüfungen

Der DSV eignet sich sehr gut, um den Einfluss verschiedener Mischgut-Komponenten auf das Verformungsverhalten zu untersuchen:

Bindemittel:

Der Einfluss der Bindemittelsorte auf den Verformungswiderstand geht aus Abbildung 1 und Abbildung 2 klar hervor.

Gesteinskörnungen:

In [14] wurden verschiedene AC 11 mit unterschiedlichen Anteilen an gebrochenen Körner hergestellt. Die Rangfolge der 11 Mischungen bezüglich Anteil gebrochener Körner stimmt sehr gut mit der Rangfolge bezüglich dem Verformungsverhalten überein (siehe Tab. 3). Die Autoren kommen zum Schluss, der DSV sei sehr geeignet, um den Einfluss verschiedener Gesteinskörnungen auf das Verformungsverhalten zu untersuchen.

Rangfolge im DSV	Charakterisierung der Gesteinskörnungen
1	Kalkstein gebrochen
2	Splitt
3	Kies gebr. mit 10% Natursand
4	Kies gebr. mit 20% Natursand
5	Kies gebr. mit 30% Natursand
6	Kies gebr. mit 40% Natursand
7	Grobanteil gebr. 70%, Feinanteil gebr. 100%
8	Grobanteil gebr. 50%, Feinanteil gebr. 100%
9	Grobanteil gebr. 30%, Feinanteil gebr. 100%
10	Grobanteil rund. 100%, Feinanteil gebr. 100%
11	Kies

Tabelle 3: Vergleich der Anteile an gebrochenen Gesteinskörnungen mit der Rangfolge im DSV.

Tableau 3: Comparaison entre le pourcentage de granulats concassés et le classement résultant de l'essai de fluage dynamique.

Zusätze:

In einer IMP-internen Untersuchung haben wir DSV an einer Vielzahl verschiedener Mischgutkonzepte für SMA durchgeführt [15]. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 2 aufgeführt. Die deutliche Unterscheidung zwischen den verschiedenen Mischgutkonzepten fällt auf.

In [16] wurde der Einfluss der Zusätze bzw. des PmB auf das Verformungsverhalten untersucht. Die Reihenfolge der Wirkung der stabilisierenden Zusätze auf das Verformungsverhalten stimmt sehr gut mit den Ergebnissen des DSV überein.

Bewertungshintergrund

In einer Arbeit der FGSV [17] wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der auf Objekten gemessenen Spurrinnentiefe und den Ergebnissen des DSV besteht. An 9 Strecken wurden die objektspezifischen Daten (Verkehrsbeanspruchung und Spurrinnenbildung) erhoben und die «Spurrinnentiefenrate» berechnet. Dieser Wert beschreibt den Verlauf der Spurrinnenbildung in Abhängigkeit zur Verkehrsbelastung. Die Auswahl der Strecken erfolgte derart, dass Deformationen der unteren Schichten ausgeschlossen werden können.

In der Abbildung 5 wird die Spurbildungsrate mit der Dehnungsrate im DSV verglichen; das Bestimmungsmaß beträgt 91%.

Auch in [14] wurde die Spurbildungsrate in situ mit der Deformationsrate im DSV verglichen. Aufgrund der sehr

Bewertung des Verformungswiderstandes				
Mischgut	Prüfkörper	gut	genügend	ungenügend
Dehnungsrate im Wendepunkt [(‰/10000 Zyklen)]				
SMA	MPK	< 35	35...50	> 50
	BK	< 100	(100–280) ¹⁾	(> 280) ¹⁾
AC MR	MPK	< 35	35...50	> 50
	BK	< 100	– ²⁾	– ²⁾
EME C1	GPK	< 10	10...20	> 20
	BK	< 20	20...40	> 40
EME C2	GPK	< 20	– ²⁾	– ²⁾
	BK	< 30	– ²⁾	– ²⁾
AC S	MPK	< 35	35...50	> 50
	BK	< 80	80...120	> 120
AC H	MPK	< 20	20...40	> 40
	BK	< 60	60...90	> 90
AC B/T S	GPK	< 35	35...50	> 50
	BK	< 40	40...60	> 60
AC B/TH	GPK	< 20	20...40	> 40
	BK	< 30	30...50 ¹⁾	> 50

Tabelle 4: Bewertung des Verformungswiderstandes anhand der Ergebnisse des DSV.

Tableau 4: Evaluation de la résistance à la déformation sur la base des résultats de l'essai de fluage dynamique.

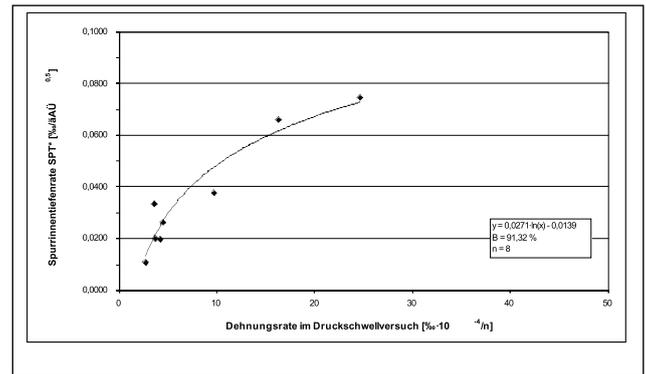
MPK: Marshall-Prüfungen
BK: Bohrkern
GPK: Gyrator-Prüfkörper

1) Anforderungen provisorisch
2) Zurzeit zu wenig Erfahrungen um Anforderungen festzulegen

guten Übereinstimmung ($R^2 = 0.97$) kommen die Autoren zum Schluss, der DSV sei sehr geeignet, um das Potential eines Mischgutes in Bezug auf die Spurbildung zu beurteilen.

Aufgrund unserer langjährigen Erfahrungen mit gegen 2000 DSV haben wir Anforderungswerte formuliert und vorgeschlagen [18]. Da die Verdichtungsart einen sehr grossen Einfluss auf das Ergebnis hat [19], wurden je nach Prüfkörper verschiedene Anforderungen festgelegt. In der Tabelle 4 sind die Vorschläge für Anforderungen aufgeführt.

Die Anforderungen an Deckschichten AC S entsprechen zahlenmässig denjenigen für AC MR- und SMA-Schichten. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass die Versuchsdurchführung anders ist: Die Belastung im DSV ist bei AC



5: Zusammenhang zwischen Spurrinnentiefenrate in situ und der Dehnungsrate aus dem DSV (aus [17]).

5: Relation entre les taux de pro-rinnentiefenrate in situ et le taux d'allongement de l'essai de fluage dynamique [17].

MR- und SMA-Mischgut grösser. Somit sind (trotz gleicher Zahlen) die Anforderungen an AC S-Schichten erwartungsgemäss geringer.

Folgerungen

In letzter Zeit werden immer mehr Zusätze zur Verbesserung der Eigenschaften des Asphaltes verwendet (Gummigranulat, Kalkhydrat, Spezialfüller usw.). Mit den empirischen Prüfmethode (zum Beispiel Spurrinnentest) kann die Wirkung dieser Zusätze ebenso wenig nachgewiesen werden, wie mit der Prüfung der Zusammensetzung des Mischgutes und der einzelnen Komponenten. Einzig die Prüfung des gesamten Asphaltes mit «fundamentalen» Methoden können hier weiter helfen.

Die jahrelangen Erfahrungen mit dem DSV zeigen, dass dieser Versuch sehr geeignet ist das Verformungsverhalten von Asphalten zu beschreiben. Es darf der Hoffnung Ausdruck gegeben werden, dass diese aussagekräftige Prüfmethode Eingang ins Schweizerische Normenwerk finden wird. ■

Literaturverzeichnis

- [1] SN 640 431-1aNA; Asphaltmischgut-Asphaltbeton; Mischgutanforderungen, Ausgabe Januar 2002.
- [2] EN 12697-22; Asphalt-Prüfverfahren für Heissasphalt-Teil 22: Spurbildungstest, Ausgabe Dezember 2003.
- [3] EN 12697-25; Asphalt-Prüfverfahren für Heissasphalt-Teil 25: Druckschwellversuch, Ausgabe April 2005.
- [4] Technische Prüfvorschrift für Asphalt im Strassenbau TP A-StB; Teil: Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalten bei Wärme; Ausgabe 1999; FGSV Köln.
- [5] PrEN13108-1:2002; Version die als Basis zur SN verwendet wurde.
- [6] EN 13108-1; Asphalt-Anforderungen – Teil 1: Asphaltbeton, Ausgabe Mai 2006.
- [7] CEN TC 227/WG1 Document N582.
- [8] 12697-12; Asphalt-Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 12: Wasserempfindlichkeit von Asphalt Probekörpern, Dez. 2003.
- [9] 12697-26; Asphalt-Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 26: Steifigkeit, Ausgabe Juli 2004.
- [10] 12697-24; Asphalt-Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung; Juli 2004.
- [11] Angst Ch., Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse, Unterhalt 2000 FP7, 2006.

- [12] Gubler R., Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten, Unterhalt 2000 FP2, 2006.
- [13] EN 13108-20; Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen – Erstprüfung, Ausgabe Februar 2006.
- [14] Mallick R.B., et al; potential of dynamic creep to predict rutting; Engineering Properties of Asphalt Mixtures & the relationship to their performance; ASTM publication 04-012650-08, Philadelphia 1995.
- [15] Ch. Angst, 20 Jahre Splittmastix in der Schweiz, Strasse und Verkehr 1/2001.
- [16] Hinterwälder U., Suss G., Die Wirkung von stabilisierenden Zusätzen in einem Splittmastixasphalt; Strasse und Autobahn 10/94.
- [17] Roos R., K. Charif, C. Karcher; Schaffung eines Bewertungshintergrundes zur Prognostizierung der Standfestigkeit von Asphalten mit dem Druckschwellversuch; FGSV Heft 868; August 2003.
- [18] IMP-Handbuch «Bituminöser Strassenbau und Brückenabdichtungen»; IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen.
- [19] Angst Ch., Der Einfluss der Verdichtung auf die mechanischen Eigenschaften bituminöser Schichten, ISETH Mitteilung Nr. 46, Zürich, März 1981.
- [20] Karcher C., Prognose und Bewertung des Verformungsverhaltens von Asphalten mit dem Druckschwellversuch am Beispiel des Splittmastixasphalts; Institut für Strassen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe; Heft 54; 2005.