



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Forschungspaket PLANET EP-6: Anforderungen und Qualitäts- kontrolle**

**Paquet de recherche PLANET EP-6: Exigences et contrôle  
qualité**

**Research package PLANET EP-6: Requirements and quality  
control**

**IMP Bautest AG**  
**Dr. Ch. Angst**

**Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)**  
**Laboratoire des voies de circulation (LAVOC)**  
**Dr. N. Bueche**

**Forschungsprojekt VSS 2010/546 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**Dezember 2016**

**1589**

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>11</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>17</b>
1.1	Ausgangslage .....	17
1.2	Zielsetzung des EP6 .....	17
1.3	Abgrenzungen .....	18
<b>2</b>	<b>Q-Kontrollen von NT-Mischgut</b> .....	<b>19</b>
2.1	Anlieferungskontrollen .....	19
2.1.1	Anlieferungskontrollen bei Wachsmodifizierung .....	19
2.1.2	Anlieferungskontrollen bei chemischen Additiven .....	22
2.1.3	Anlieferungskontrollen bei Zeotlihe .....	23
2.1.4	Anlieferungskontrollen bei Schaumbitumen .....	24
2.2	Kontrollen der Aufbereitung (Mischgutkontrollen) .....	24
2.2.1	Zusammensetzung des Mischgutes .....	24
2.2.2	Nachweis der Zusätze im Mischgut .....	25
2.2.3	Verdichtung im Labor .....	26
2.3	Einbaukontrollen .....	26
<b>3</b>	<b>Versuchsfelder</b> .....	<b>27</b>
3.1	Konzept .....	27
3.2	Planung .....	30
3.3	Realisierung .....	32
3.3.1	Einbau .....	32
3.3.2	Einbaukontrollen .....	33
3.3.3	Mischgutkontrollen .....	40
3.3.4	Bohrkern-Untersuchungen .....	44
3.4	Monitoring .....	45
3.4.1	Zielsetzung und Konzept .....	45
3.4.2	Instrumentalisierung und Messkampagne .....	45
3.4.3	Ergebnisse .....	48
3.5	Deflektionsmessungen .....	53
<b>4</b>	<b>Verarbeitbarkeit</b> .....	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>Mechanische Eigenschaften</b> .....	<b>63</b>
5.1	Wasserempfindlichkeit .....	63
5.2	Verformungswiderstand .....	64
5.2.1	Spurrinntest .....	64
5.2.2	Einaxialer Druck-Schwellversuch .....	65
5.2.3	Triaxialer Druck-Schwellversuch .....	66
5.2.4	Zusammenfassung Verformungswiderstand .....	68
5.3	Steifigkeit .....	69
5.4	Ermüdungswiderstand .....	71
5.5	Kälteeigenschaften .....	73
5.5.1	Direkter Zugversuch bei + 5°C .....	73
5.5.2	Indirekter Zugversuch bei – 10°C .....	74
5.6	Schichtenverbund .....	75

<b>6</b>	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>79</b>
6.1	Normen .....	79
6.1.1	Prüfnormen (EN 12697-xx) .....	79
6.1.2	Normen für Asphaltmischgut.....	79
6.1.3	Ausführungsnormen (nationale Elemente) .....	80
6.2	Anforderungen .....	80
6.3	„Hinweise für die Praxis“ .....	80
<b>7</b>	<b>Folgerungen .....</b>	<b>83</b>
	<b>Glossar.....</b>	<b>105</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>107</b>
	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>109</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen .....</b>	<b>113</b>

## Zusammenfassung

Aus der durchgeführten Forschungsarbeit konnten wertvolle Erkenntnisse im Umgang mit den verschiedenen Techniken zur Herstellung, Einbau und Verdichtung von Niedertemperatur-Asphalt (NT-Asphalt) gewonnen werden. Da bei der konzeptionellen Planung der Teststrecken die Variante der wachsmodifizierten NT-Asphalte ausgeschlossen wurde, liegt das Schwergewicht der Untersuchungen bei den NT-Asphalten, welche mit chemischen Additiven, Zeolithen und geschäumtem Bitumen aufbereitet wurden. Es wurde kein Testfeld mit wachsmodifiziertem NT-Asphalt eingebaut, da mit dieser Technologie bereits viele Objekte und Erfahrungen vorlagen; somit wurde und diese Technik als bekannt vorausgesetzt.

Es wurde untersucht, wie Eingangskontrollen der angelieferten Produkte/Zusätze am einfachsten durchgeführt werden könnten. Bei den chemischen Additiven eignet sich die Durchführung einer FTIR-Spektralanalyse am besten. Diese Prüfung kann mit sehr wenig Material rasch durchgeführt werden und liefert zuverlässige Ergebnisse. Sie liefert allerdings keine Informationen über die Eigenschaft des Produktes, sondern kann lediglich bestätigen, dass die untersuchte Probe einer Referenzprobe entspricht. Bei den im gebrauchsfertigen Zustand angelieferten, wachsmodifizierten Bindemitteln kann mit dem dynamischen Scherrheometer DSR geprüft werden, ob das angelieferte Bindemittel die gewünschten Eigenschaften aufweist. Bei den Zeolithen ist die Messung des Gewichtsverlustes nach einer Lagerung im Wärmeschrank am einfachsten.

Die Durchführung von Kontroll-Prüfungen des NT-Mischgutes und der Bohrkerns erfolgt mit den üblichen Laborprüfmethoden. Einzig bei der Bindemittelrückgewinnung wachsmodifizierter Bindemittel ist darauf zu achten, dass anstelle des üblicherweise verwendeten Lösungsmittels Toluol ein Trichlorethen verwendet wird. Der Nachweis der chemischen Additive in einer Mischgutprobe ist aufgrund der sehr niedrigen Dosierung mit vernünftigem Aufwand nicht möglich. Es wurde nicht untersucht, ob hochauflösende Methoden der Spurenanalytik zum Erfolg führen könnten.

Die Begleitung der Aufbereitung, des Einbaus und der Verdichtung von 5 Testfelder mit einem Referenz-Heissmischgut AC B 16 S (REF), einem chemischen Additiv (PACK), einem Zeolith (ZEO), sowie zweier geschäumter NT-Mischgüter mit und ohne Asphaltgranulat (WATER und WATER+RAP) ermöglichte es, auch anderen Forschungsprojekten im Rahmen eines Forschungspaketes ihre Ziele zu verfolgen. Auf einer Länge von insgesamt 850 m wurden auf 5 Testfelder je 180 t des entsprechenden NT-Mischgutes eingebaut.

Ausgehend von einer Soll-Zusammensetzung des Referenz-Mischgutes, wurden die 4 verschiedenen NT-Mischgut-Typen derart rezeptiert, dass eine möglichst gleiche Zusammensetzung resultierte. Die durchgeführten Mischgutuntersuchungen zeigten, dass alle 5 Mischgutsorten innerhalb der tolerierbaren Abweichungen gemäss SN 640 431-21 „Werkseigene Qualitätskontrolle“ [22] lagen; mit Ausnahme des Füllergehaltes bei der Mischung „WATER“. Aus den Untersuchungen der rückgewonnenen Bindemittel konnte gefolgert werden, dass die Alterung des Bindemittels aus dem Heissmischgut merklich grösser war, als die Alterung aller Warm-Mischgutttypen. Dies ist auf die niedrigeren Aufbereitungstemperaturen des NT-Mischgutes zurückzuführen, bei welchen eine geringere oxidative und destillative Alterung stattfinden kann.

Der Schichtenverbund – 5 Monate nach dem Einbau – lag ausser beim Testfeld WATER+RAP bei allen 4 übrigen Feldern zu tief. Bei NT-Mischgut ist dem Schichtenverbund grundsätzlich eine erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken, da die Verklebung der Schichten infolge der niedrigeren Einbautemperatur erschwert ist. Da jedoch auch mit dem Heissmischgut (REF) die Anforderungen bei weitem nicht erfüllt wurden, war eine vertiefte Untersuchung des Schichtenverbundes erforderlich. Da sich die Teststrecke auf einer öffentlichen Strasse befindet, war es nicht möglich eine genügend grosse Anzahl Bohrkerns in periodischen Abständen zu entnehmen, um eine allfällige Zunahme des Schichtenverbundes fundiert zu dokumentieren. Daher wurden in

einer Laboruntersuchung verschiedene NT-Mischgutsorten und ein Heissmischgut auf eine Tragschicht eingebaut und der Schichtenverbund wurde nach 3 Tagen, 3 Wochen und 3 Monaten gemessen. Bei allen Prüfkörpern konnte eine Zunahme des Schichtenverbundes festgestellt werden; bereits nach 3 Tagen erfüllten alle Prüfkörper die in der Norm [7] festgelegte Anforderung für Binderschichten auf Tragschichten, wobei das Heissmischgut mit Abstand die höchsten Werte erreichte.

Während des Einbaus wurden Sensoren für die Messung der Verformung und der Temperatur verlegt, mit welchen punktuelle Messungen realisiert werden konnten. Nach dem Einbau der Teststrecke und der Durchführung der Einbaukontrollen wurde ein mehrjähriges Monitoring der Tragfähigkeit des Oberbaus aufgebaut. Zu diesem Zweck wurden Messungen unmittelbar nach dem Einbau, nach 5 Wochen und nach 5 Monaten durchgeführt. Zudem wurden Messungen der Tragfähigkeit mit dem Falling Weight Deflectometer FWD durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen den zu erwartenden Einfluss der Belags-Temperatur und der Fahrgeschwindigkeit beim Überrollen der Sensoren sehr deutlich, was das zuverlässige Funktionieren der Sensoren nachweist. Innerhalb des relativ kurzen Zeitraumes zwischen Einbau und Messung konnten weder Unterschiede zwischen den Testfeldern, noch eine beginnende Schädigung des Oberbaus festgestellt werden. Dies ist sowohl auf die hinreichende Dimensionierung des Oberbaus mit einer Gesamtschichtdicke von 320 mm zurückzuführen, als auch dadurch bedingt, dass die untersuchte Binderschicht mit unterschiedlichen NT-Asphaltsorten und einer Dicke von 65 mm lediglich ca. 20 % des Gesamtaufbaus ausmacht.

Bezüglich der Wasserempfindlichkeit zeigen die Untersuchungen, dass die Warm-Asphalte die Werte des Heissmischgutes nicht erreichen. Zwar erfüllt nur das Mischgut WATER die Anforderung (> 70%) nicht, doch liegen auch die übrigen NT-Mischgüter PACK, ZEO und WATER+RAP tiefer als das Heissmischgut, wobei WATER+RAP am besten abschneidet.

Die Untersuchung des Verformungswiderstandes bei hohen Temperaturen erfolgte auf der Basis dynamischer Druck-Schwell-Prüfungen (einaxial und tri-axial) sowie auf der Basis des Spurrinntestes. Das Heissmischgut weist bei allen drei Prüfungen den grössten Verformungswiderstand auf, teilweise bedingt durch das etwas härtere Bindemittel. Das Schaumbitumen-Mischgut WATER hat – trotz vergleichbarer Bindemittelleigenschaften – global gesehen den niedrigsten Verformungswiderstand. Generell kann auch festgehalten werden, dass Druck-Schwellversuche (ein- und triaxial) eine grössere Spreizung der Ergebnisse als der Spurrinntest erzeugen.

Die Beurteilung des Verhaltens der unterschiedlichen Mischgut-Typen bei mittleren Gebrauchstemperaturen (10 bzw 15°C) erfolgte mittels Bestimmung der Steifigkeit sowie des Ermüdungsverhalten in der 2-Punkt-Biegeprüfung an prismatischen Prüfkörpern. Bei der Steifigkeit weisen REF und PACK etwas höhere Werte als ZEO, WATER und WATER+RAP auf, wobei WATER am niedrigsten liegt. Die Unterschiede sind relativ klein und werden zudem auch durch die unterschiedliche Bindemittelalterung (Verhärtung) beeinflusst. Berücksichtigt man die Penetrationswerte der aus dem Mischgut rückgewonnenen Bindemittel, so können folgende Vergleiche angestellt werden: Obwohl PACK und WATER+RAP analoge Penetrationswerte aufweisen, hat das Mischgut PACK einen deutlich grösseren E-Modul. Auch beim Vergleich ZEO und WATER (analoge Penetrationswerte) hat das Mischgut ZEO einen höheren E-Modul.

Beim Ermüdungswiderstand schneidet das Referenzmischgut REF am schlechtesten ab. Die Mischgüter PACK, ZEO et WATER sind bezüglich der Ermüdungseigenschaften vergleichbar. Das Mischgut in welchem Asphaltgranulat verwendet wurde (WATER+RAP) zeigt das günstigste Verhalten im Ermüdungsversuch. Auch im Vergleich mit dem Mischgut WATER zeigt sich ein deutlicher Unterschied zu Gunsten des Mischgutes WATER+RAP.

Während im direkten Zugversuch bei +5°C keine Unterschiede feststellbar sind, weist der indirekte Zugversuch bei – 10°C auf folgende Unterschiede hin: die geschäumten Asphalte WATER und WATER+RAP haben eine tiefere Bruchspannungen als die übrigen drei Mischgüter, wobei PACK den höchsten Wert erreicht.

Generell kann festgestellt werden, dass teilweise erheblich Unterschiede im mechanischen Verhalten der unterschiedlichen Warm-Asphalte untereinander und im Vergleich zum Referenz-Heissmischgut bestehen. An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass das Mischgut der eingebauten Testfelder untersucht wurde, bei welchen kein wachsmodifiziertes Bindemittel verwendet wurde. Der Vergleich der Eigenschaften erfolgte somit im vorliegenden Bericht unter Ausschluss der wachsmodifizierten Asphalte. Im Rahmen des EP1 wird darauf eingegangen.

Die Arbeit schliesst mit Empfehlungen für die Praxis wobei der aktuelle Stand der CEN-Normen berücksichtigt wurde.

## Résumé

Sur la base des travaux de recherche réalisés, des enseignements précieux relatifs à la fabrication, pose et compactage des différents enrobés tièdes testés ont pu être mis en évidence. Etant donné que lors de la conception des planches d'essais les technologies d'enrobé tiède avec ajout de cire n'ont pas été retenues, les investigations ont été concentrées sur des technologies tièdes avec additif chimique, ajout de zéolithe et processus de moussage du bitume. Aucune planche d'essai avec liant modifié par ajout de cire n'a été réalisée, ceci car de nombreux objets ont déjà été effectués avec cette technologie qui a donc été considérée comme davantage éprouvée.

La procédure de contrôle la plus simple pouvant être mise en place lors de la réception des produits/additifs a été étudiée. Dans le cas d'additifs chimiques, une analyse par spectroscopie FTIR est la plus adaptée. Cet essai qui peut être réalisé très rapidement avec une faible quantité de matériau fournit des résultats fiables. Cet essai ne fournit toutefois pas d'informations relatives aux propriétés du produit testé, mais il permet seulement de confirmer que l'échantillon évalué correspond à un échantillon de référence. Dans le cas de liants avec ajout de cire fourni prêt à l'emploi (déjà additivé), un essai au rhéomètre à cisaillement dynamique (DSR) permet de vérifier que le liant reçu présente bien les caractéristiques attendues. Dans le cas de zéolithe, une mesure de la perte de masse en étuve semble être la méthode la plus adaptée.

La réalisation des essais de contrôle sur les enrobés tièdes et carottes est réalisée avec des méthodes de laboratoire traditionnelles. Seule exception dans le cas de récupération de liant modifié avec cire, il faut alors veiller à utiliser du trichloréthylène comme solvant à la place du toluène généralement utilisé. La preuve de l'utilisation d'un additif chimique dans un échantillon d'enrobé au moyen d'essais raisonnables n'est pas possible étant donné le très faible dosage de ces additifs. L'applicabilité de méthodes d'analyse de trace à haute résolution n'a pas été étudiée dans le cadre de ce projet.

Le suivi de la fabrication, de la pose et du compactage de 5 planches d'essais avec un mélange de référence à chaud AC B 16 S (REF) et quatre enrobés tièdes avec additif chimique (PACK), ajout de zéolithe (ZEO) et deux enrobés avec moussage du bitume avec (WATER+RAP) et sans fraisat d'enrobé (WATER) a également permis aux autres projets de recherche menés dans le cadre du paquet PLANET de poursuivre leurs objectifs. Les 5 planches d'essais représentant chacune 180 t d'enrobé ont été construites sur une longueur totale de 850 m.

Sur la base d'une composition cible du mélange de référence à chaud, les 4 différents enrobés tièdes ont fait l'objet d'essais de réception permettant de les comparer selon une base identique. Les analyses réalisées sur les enrobés montrent que les 5 sortes d'enrobés se situent dans les tolérances normatives admises selon SN 640 431-21 "Maîtrise de la production" [22]; à l'exception de la teneur en filler du mélange "WATER". Il peut être déduit de l'analyse des liants récupérés que le vieillissement du liant dans le cas de l'enrobé à chaud est sensiblement plus important que celui des liants provenant des différents enrobés tièdes. Cela est lié à la température de fabrication plus basse dans le cas d'enrobés tièdes qui conduit à une oxydation moins importante.

A l'exception du champ WATER+RAP, l'adhésion entre les couches, mesurée 5 mois après la pose, est trop basse pour les différentes sections d'essais. De manière générale une attention particulière doit être portée au collage entre les couches dans le cas d'enrobés tièdes, ceci car le collage peut être plus difficile en raison des températures moins élevées. Etant donné que le champ de référence à chaud ne respecte également de loin pas les exigences, une analyse approfondie du collage entre les couches s'est alors avérée nécessaire. Les planches d'essais faisant partie d'une route sous trafic, la réalisation de carottages périodiques afin de documenter suffisamment l'analyse d'une éventuelle augmentation de la liaison inter-couches n'a pas pu être réalisée. Pour cela, une analyse en laboratoire a été menée avec la pose de différents enrobés tièdes et d'un enrobé de référence à chaud sur une couche de base, ceci afin de mesurer l'adhésion

entre les couches après 3 jours, 3 semaines et 3 mois. Pour l'ensemble des enrobés, une augmentation de la liaison entre les couches au cours du temps a été mesurée; les exigences normatives [7] relatives à une couche de liaison sur couche de base étant respectées déjà après 3 jours. Relevons encore que les valeurs les plus élevées ont été obtenues pour l'enrobé à chaud.

Des capteurs permettant des mesures ponctuelles des déformations et des températures au sein de la chaussée ont été installés lors de la construction des planches d'essais. Un large suivi de la portance des chaussées suivant la construction et le contrôle de réception de la a été réalisé. Pour cela, des mesures ont été menées directement après la pose, après 5 semaines ainsi qu'après 5 mois. En outre, des mesures de portance au moyen du déflectomètre à masse tombante FWD ont également été réalisées. Comme attendu, les résultats mettent clairement en évidence l'influence de la température et de la vitesse des véhicules sur le comportement des capteurs, démontrant ainsi leur fiabilité. Les mesures réalisées dans ce laps de temps relativement réduit ne mettent pas en évidence de différence significative de comportement entre les différents champs et aucune amorce de dégradation n'a été identifiée. Cela doit être mis en relation avec le dimensionnement suffisant de la chaussée soit une épaisseur bitumineuse totale de 320 mm, ainsi qu'avec l'épaisseur d'enrobé tiède étudiée de 65 mm qui représente seulement 20% de l'épaisseur bitumineuse totale.

Les analyses relatives à la sensibilité à l'eau montrent que les enrobés tièdes étudiés ne permettent pas d'atteindre les valeurs obtenues pour l'enrobé à chaud. Bien que seul le mélange WATER ne respecte pas les exigences normatives (>70%), les valeurs obtenues pour les mélanges PACK, ZEO et WATER+RAP sont moins élevées que pour l'enrobé de référence à chaud; l'enrobé WATER+RAP étant le plus performant des variantes tièdes.

L'analyse de la résistance aux déformations permanentes à haute température a été réalisée au moyen de l'essai de fluage dynamique (uniaxial et triaxial) ainsi que par des essais d'orniérage. Pour les trois essais réalisés, le mélange à chaud présente la résistance la plus élevée aux déformations permanentes, ceci étant notamment lié au liant plus dur. Malgré des caractéristiques du liant comparables à la référence à chaud, le mélange WATER+RAP avec moussage du bitume présente globalement la résistance la moins élevée aux déformations. De manière générale il peut également être relevé la plus grande dispersion des résultats obtenus avec l'essai de fluage dynamique (uniaxial et triaxial) comparativement à l'essai d'orniérage.

Le comportement des différents enrobés dans le domaine de températures intermédiaires (10 resp. 15 °C) a été évalué au moyen d'essais de rigidité et de fatigue en flexion deux points sur éprouvettes trapézoïdales. Pour la mesure de rigidité (module complexe), les enrobés REF et PACK présentent les valeurs légèrement plus élevées que les mélanges ZEO, WATER et WATER+RAP, le mélange WATER obtenant la rigidité la plus basse. Les différences entre mélanges restent relativement faibles et elles peuvent être influencées notamment par le vieillissement du liant (durcissement). En prenant en compte les valeurs de pénétration des liants récupérés sur enrobés, les comparaisons suivantes peuvent être faites: Bien que les mélanges PACK et WATER+RAP présentent des valeurs analogues, le mélange PACK a un module de rigidité significativement plus élevé. Egalement dans le cas des mélanges ZEO et WATER (pénétrations analogues), le mélange ZEO présente un module de rigidité plus élevé.

Le mélange de référence REF présente la résistance à la fatigue la moins élevée des enrobés testés. Les mélanges PACK, ZEO et WATER sont comparables pour leurs performances en fatigue. Le mélange avec ajout de fraisat d'enrobé WATER+RAP présente la résistance en fatigue la plus élevée; la différence étant également marquée comparativement au même enrobé sans ajout de fraisat (WATER).

Alors que l'essai de traction directe à +5°C ne met pas en évidence de différence significative, l'essai de traction indirecte à -10 °C met en évidence les différences suivantes: Les mélanges avec moussage du bitume WATER et WATER+RAP présentent



une contrainte à la rupture plus faible que les trois autres enrobés; l'enrobé PACK présentant les valeurs les plus élevées.

De manière générale, il peut être remarqué que des différences pouvant être considérables entre les enrobés tièdes ainsi qu'en comparaison avec un enrobé de référence à chaud existent. Il doit être à nouveau rappelé que les mélanges testés sur les planches d'essais ne comportent pas de liant modifié avec ajout de cire. La comparaison des performances est donc réalisée sans prise en compte d'enrobés avec ajout de cire. Ceci sera traité dans le cadre du EP3.

Des recommandations pour la pratique avec prise en compte de l'état actuel de la normalisation CEN sont finalement effectuées.

## Summary

The research work carried out provides valuable insights on the application of different techniques for the production, laying and compaction of low-temperature asphalt (LT asphalt). Due to the fact that wax-modified low-temperature asphalts were excluded as a variant during the design of the test section, the tests focus on LT asphalts that have been prepared with chemical additives, zeolites and foamed bitumen. None of the test fields were laid with wax-modified LT asphalt because extensive experience had already been gained from several projects using this technology and it was therefore assumed as known.

There was an investigation to find the easiest way to perform incoming goods inspections on the delivered products/additives. For the chemical additives FTIR spectroscopy was the most suitable analysis method. This test can be carried out quickly using very little material and delivers reliable results. It does not, however, provide information on the property of the tested product and can only confirm that the tested specimen corresponds to a reference sample. With the wax-modified binders that are supplied ready for use, the dynamic shear rheometer DSR can be used to test whether the supplied binder features the desired properties. With the zeolites the easiest form of measurement is to measure the weight loss after storing in an oven.

Inspection checks on the LT mix and drilled cores are carried out using common laboratory test methods. It is merely important during the binder recovery of wax-modified binder to make sure that a trichloroethylene is used instead of the commonly used solvent Toluene. The detection of the chemical additive in a mix sample is not possible with common laboratory equipment, due to the very low dose. It was not investigated as to whether high-resolution trace analysis methods would prove successful.

Studying the preparation, laying and compaction of 5 test fields with a reference hot mix AC B 16 S (REF), a chemical additive (PACK), a zeolite (ZEO), as well as two foamed LT mixes with and without asphalt granulate (WATER and WATER+RAP) also made it possible for other research projects to pursue their goals within the framework of a research package. Over a distance of altogether 850 m, 180 tons of the corresponding LT mix were laid on 5 test fields respectively.

Based on a nominal composition of the reference mix the 4 different LT mix types were designed in such a way to provide a composition that was as uniform as possible. The tests carried out on the mixes showed that all 5 mix types were within the tolerable deviations according to SN 640 431-21 „Factory Production Control“ [22]; with the exception of the filler content in the mix “WATER”. From tests carried out on the recovered binder it was possible to conclude that the aging of the binder from the hot mix was significantly greater than the aging of all warm mix types. This is due to the low temperature conditions when preparing the LT mix, during which less oxidative and evaporative aging can occur.

With the exception of the test field WATER+RAP the layer bond 5 months after laying was too low in all of the remaining 4 fields. With an LT mix greater attention is generally to be awarded to layer adhesion due to the fact that low-temperature laying makes an adhesion more difficult. As, however, also the hot mix (REF) was far from meeting the requirements, a more in-depth investigation into of the layer bond was required. Because the test section is on a public road it was not possible to take an adequate number of drilled cores at periodic intervals in order to reliably document any possible increase in the layer bond. For this reason, in a laboratory test, different LT mix types and a hot mix type were laid on a base course and the layer adhesion was measured after 3 days, after 3 weeks and after 3 months. In all test specimens an increase in the layer adhesion was determined; already after 3 days all test specimens satisfied the requirement for binder layers on base courses as specified in the standard [7], whereby the hot mix clearly attained the highest values.

During the paving process sensors were also laid to measure the deformation and the temperature, these also enabling the implementation of spot measurements. After the laying of the test section and the implementation of laying inspections a system for monitoring the bearing capacity of the pavement over several years was set up. For this purpose, measurements were taken immediately after laying, after 5 weeks and after 5 months. Measurements of the bearing capacity were also performed using the Falling Weight Deflectometer FWD. The results clearly show the expected influence of the pavement temperature and the vehicle speed when driving over of the sensors, also proving the reliable operation of the sensors. Within the relatively short period between laying and measurement there were no differences determined between the test fields and there were no signs of damage to the pavement. This being due to adequate dimensioning of the pavement with an overall layer thickness of 320 mm and also due to the fact that the examined binder course with different LT asphalt types and a thickness of 65 mm only makes up 20% of the overall pavement.

With regard to water sensitivity the tests show that the warm asphalts do not reach the performance values of the hot mix. Although it was only the mix WATER that failed to meet the requirement (> 70%), also the remaining LT mixes PACK, ZEO and WATER+RAP fell below the performance of the hot mix, whereby the WATER+RAP mix was the best of the three.

Testing of deformation resistance at high temperatures was carried out using dynamic cyclic compression tests (uniaxial and tri-axial), and also on the basis of rutting tests. In all three tests the hot mix has the highest resistance to deformation, partly due to the slightly harder binder. The foamed bitumen mix WATER has, overall, the lowest deformation resistance, in spite of comparable binder properties. Generally it can be said that cyclic compression tests (uniaxial and tri-axial) produce a broader spread of results than the rutting test.

The assessment of the behaviour of different mix types under average temperature conditions (10 and 15°C) was carried out using the determination of stiffness as well as fatigue behaviour in the 2-point bending test on prismatic test specimens. With regard to stiffness, REF and PACK have slightly higher values than ZEO, WATER and WATER+RAP, wherein WATER has the lowest values. The differences are relatively small and are also influenced by varying binder aging (hardening). Taking the penetration values of the binder recovered from the mix into account the following comparisons can be made: although PACK and WATER+RAP have analogous penetration values, the mix PACK has a significantly larger E-modulus. Also when comparing ZEO and WATER (analogous penetration values) the ZEO mix has a higher E-modulus.

In fatigue resistance the reference mix REF shows the worst performance. The mixes PACK, ZEO and WATER are comparable in terms of fatigue properties. The mix that uses asphalt granulate (WATER+RAP) shows the most favourable behaviour in the fatigue test. Also in comparison with the mix WATER there is a marked difference in favour of the mix WATER+RAP.

Whereas in the direct tensile test at +5°C there are no differences determined, the indirect tensile test at – 10°C indicates the following differences: the foamed asphalts WATER and WATER+RAP have a lower tensile stress at break than the other three mixes, whereby PACK attains the highest value.

It can generally be said that there are some considerable differences in the mechanical behaviour of the different warm asphalts amongst each other and in comparison with the reference hot mix. It is pointed out once again at this point that the examined mix of the laid test fields did not use a wax-modified binder. The comparison of properties in this report was therefore carried out under the exclusion of wax-modified asphalts. This is referred to in EP1.

The paper closes with recommendations on the practical application, taking the current status of the CEN standards into account.