



# **Einfluss der Verdichtungsenergie auf die Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Mischgut**

**Influence du changement de l'énergie de compactage sur la  
sensibilité à l'eau d'enrobés bitumineux**

**The influence of change in compaction energy on water  
sensitivity of asphalt mixes**

**IMP Bautest AG  
Dr. Christian Angst**

**Forschungsprojekt VSS 2010/501 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**Oktober 2016**

**1578**



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**

# **Einfluss der Verdichtungsenergie auf die Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Mischgut**

**Influence du changement de l'énergie de compactage sur la  
sensibilité à l'eau d'enrobés bitumineux**

**The influence of change in compaction energy on water  
sensitivity of asphalt mixes**

**IMP Bautest AG  
Dr. Christian Angst**

**Forschungsprojekt VSS 2010/501 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute**

# Impressum

## **Forschungsstelle und Projektteam**

### **Projektleitung**

Dr. Christian Angst

## **Federführende Fachkommission**

Fachkommission 3: Baustoffe

## **Begleitkommission**

### **Präsident**

Rémy Gubler

### **Mitglieder**

Hans-Peter Beyeler

Michel Pittet

Christine Raab

Yvan Ramel

Felix Solcà

## **Antragsteller**

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

## **Bezugsquelle**

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>9</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>13</b>
1.1	Ausgangslage .....	13
1.1.1	Normenrevision .....	13
1.1.2	Schweizerische co-normative Forschung .....	13
1.1.3	Bedeutung der Wasserempfindlichkeit .....	14
1.2	Zielsetzungen .....	15
1.3	Methodik .....	15
<b>2</b>	<b>Prüfmethoden, Geräte und Anforderungen</b> .....	<b>17</b>
2.1	Prüfmethode .....	17
2.2	Probekörper .....	17
2.3	Prüfgeräte .....	18
2.4	Klimatisierung .....	19
2.5	Anforderungen .....	19
<b>3</b>	<b>Einfluss des Hohlraumgehaltes</b> .....	<b>21</b>
3.1	Vorgehen .....	21
3.2	Ergebnisse .....	21
3.3	Interpretation .....	23
<b>4</b>	<b>Einfluss der Verdichtungsenergie</b> .....	<b>27</b>
4.1	Marshall PK .....	27
4.1.1	Mischgut .....	27
4.1.2	Ergebnisse .....	27
4.1.3	Interpretation .....	29
4.2	Gyrator Prüfkörper .....	29
4.2.1	Mischgut .....	29
4.2.2	Ergebnisse .....	30
4.3	Zusammenfassung .....	32
<b>5</b>	<b>Erhöhte thermische Beanspruchung</b> .....	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>Auswertung der Ergebnisse über mehrere Jahre</b> .....	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Dank</b> .....	<b>39</b>
	<b>Anhänge</b> .....	<b>41</b>
	<b>Glossar</b> .....	<b>71</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>73</b>
	<b>Projektabschluss</b> .....	<b>75</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen</b> .....	<b>79</b>

## Zusammenfassung

Asphaltschichten, insbesondere Deckschichten, sind neben der Beanspruchung durch den Verkehr auch den Witterungseinflüssen (Temperatur-Schwankungen, UV-Strahlung, Regen/Schnee) ausgesetzt. In der vorliegenden Arbeit steht die Dauerhaftigkeit des Mischgutes gegenüber der Einwirkung von Wasser im Fokus. Bei der Prüfung der Wasserempfindlichkeit wird das gesamte Mischgut beansprucht, so soll eine Gesamtbeurteilung des Mischgutkonzeptes ermöglicht werden. Im Unterschied dazu wird bei der Prüfung der Affinität lediglich das Verhalten eines Bindemittels mit einer Korngruppe einer Gesteinskörnung untersucht. Die Wasserempfindlichkeit ist eine wichtige Mischgut-Eigenschaft im Hinblick auf das Langzeitverhalten eines Asphaltbelages.

Die Prüfung der Wasserempfindlichkeit von verdichtetem Asphaltmischgut ist in der Norm EN 12697-12 [9] beschrieben und das Verfahren A wurde 2005 als SN 670 412 [20] in der Schweiz eingeführt. Die Prüfung beruht auf dem Vergleich der Spaltzugfestigkeit von Asphaltprüfkörpern welche einerseits an der Luft und andererseits im Wasser gelagert wurden. Als Ergebnis wird der ITS<sub>R</sub> (Indirect Tension Strength Ratio) angegeben, welcher der verbleibenden Spaltzugfestigkeit nach Wasserlagerung in % entspricht. Um den Einfluss der Wasserlagerung optimal anzusprechen, werden Prüfkörper mit einem relativ hohen Hohlraumgehalt hergestellt. Somit kann Wasser in die Prüfkörper eindringen, was zu einer sehr grossen Kontaktfläche Wasser-Bindemittel führt. Der Einfluss des Hohlraumgehaltes auf das Prüfergebnis wird als entsprechend gross erwartet. Um diese hohen Hohlraumgehalte zu erreichen, legt die EN 12697-12 eine Verdichtungsenergie fest, welche wesentlich tiefer liegt als dies bei der Marshallverdichtung üblich ist. Auf dieser Basis wurden die Anforderungen an die Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Mischgut in der Norm SN 640 431-1b [19] mit der Wahl der Anforderungskategorie *ITS<sub>R70</sub>* festgelegt.

In der späteren Version der EN 12697-12 wurde dann die Verdichtungsenergie von 2x25 auf 2x35 Schlägen oder von 40 auf 50 Umdrehungen erhöht. Da der Einfluss dieser Änderung auf das Untersuchungsergebnis damals nicht bekannt war, hatte die VSS Expertenkommission EK 5.09 „Mischgut, Prüfverfahren“ beschlossen, die revidierte EN 12697-12 nicht einzuführen, solange keine Erfahrungswerte über den Einfluss der erhöhten Verdichtungsenergie vorliegen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin abzuklären, ob die Veränderung der Verdichtungsenergie bei der Herstellung der Prüfkörper einen Einfluss auf das Prüfergebnis hat und ob dementsprechend die Anforderungen anzupassen seien.

Die Untersuchungsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- An einem AC 11 N mit einem relativ weichen Bitumen B70/100 wurde die Anzahl der Umdrehungen in der Gyrator-Verdichtung – und somit die Verdichtungsenergie – derart verändert, dass Hohlraumgehalte zwischen 3.8 und 9.0 Vol.-% erreicht wurden. Es wurde festgestellt, dass die Wasserempfindlichkeit, ausgedrückt durch den Wert ITS<sub>R</sub>, sich kaum veränderte (Werte zwischen 97 und 102 %). Die indirekte Zugfestigkeit nahm zwar mit abnehmendem Hohlraumgehalt zu, jedoch geschah dies für die trockenen und nassen Prüfkörper in gleichem Ausmasse, sodass die Verhältniszahl ITS<sub>R</sub> ( $ITS_w / IST_d$ ) in etwa konstant blieb.
- Der Einfluss der Verdichtungsenergie auf den Kennwert *ITS<sub>R</sub>* wurde anhand mehrerer Mischgutsorten untersucht. Dabei beschränkte sich die Untersuchung auf die beiden in den verschiedenen Versionen der Norm EN 12697:2003 und EN 12697:2008 festgelegten Energien zur Verdichtung der Labor-Prüfkörper:  
Eine Zunahme der Verdichtungsenergie um 2 x 10 Schläge verursacht eine deutliche Zunahme des Verdichtungsgrades, sowie eine Zunahme der Zugfestigkeit, und daher auch eine Veränderung des Asphaltgefüges. Der Kennwert für die Wasserempfindlichkeit *ITS<sub>R</sub>* scheint zufällig zu schwanken.

Die drei untersuchten Mischgutsorten mit PmB (ACMR 8, SMA 11 und ACB 22 S) zeigen nach nur 40 Umdrehungen viel höhere ITSR Werte als nach 50 Umdrehungen. Dasselbe wurde auch mit den ACMR 8 Marshall-Prüfkörper beobachtet. Umgekehrt zeigen die Mischungen mit Standardbitumen tiefere ITSR Werte mit 40 als mit 50 Umdrehungen. Für dieses unterschiedliche Verhalten gibt es keine plausible Erklärung; die Werte scheinen eher zufällig zu schwanken.

Im Vergleich zur Marshall-Verdichtung ergeben sich bei der Gyrator-Verdichtung tendenziell mehr ITSR-Werte welche grösser als 100 % sind.

Die indirekte Zugfestigkeit der Marshall Prüfkörper ist generell grösser als diejenige der Gyrator Prüfkörper; dies gilt unabhängig von der Lagerung der Prüfkörper (nass oder trocken) und von der Verdichtungsenergie.

- In den meisten Untersuchungen lag der ITSR-Wert oberhalb ca. 90%. Es konnte somit kaum zwischen den sehr unterschiedlichen Mischgutkonzepten unterschieden werden. Um eine bessere Spreizung der Ergebnisse zu erreichen wurde versucht, eine strengere Prüfanordnung anzuwenden, indem die Temperatur der Wasserlagerung von 40°C auf 50°C erhöht wurde. Die Untersuchung an zwei Mischgutsorten mit sehr unterschiedlicher Bindemittelviskosität (B 70/100 und B 10/20) mit zwei unterschiedlichen Verdichtungsenergien (2x25 und 2x35 Marshall-Schlägen) zeigte, dass sich der ITSR-Wert bei beiden Mischgutsorten durch die Erhöhung der Wasserbad-Temperatur nur marginal veränderte. Selbst bei den Proben mit einem Erweichungspunkt RuK unterhalb der Wasserbadtemperatur wurden sehr hohe ITSR-Werte von 98 % (2x25 Schläge) bzw 100 % (2x35 Schläge) erreicht.
- Die Wiederholpräzision r (Präzision unter Wiederholbedingungen; derselbe Laborant mit denselben Prüfgeräten) der indirekten Zugfestigkeit ITS wurde anhand von 12 Prüfserien à 3 Prüfkörper zu 7.7 % bestimmt; die Wiederholpräzision des ITSR-Wertes beträgt 11 %.
- Die Auswertung von insgesamt 489 Prüfergebnissen in einem Zeitraum von 8 Jahren ergab, dass bei 16 % der Prüfungen Werte oberhalb von 100 % gemessen wurden. Diese Werte verteilen sich auf insgesamt 19 verschiedene Mischgutsorten, selbst beim offenporigen PA konnten Werte grösser als 100% gemessen werden. Lediglich in 2 % der Prüfergebnissen wurden die Anforderungen (> 70%) nicht erreicht.

Mit den normierten Prüfbedingungen (Wasserlagerung 72 h / 40°C; Prüftemperatur 22°C) ist die Aussagekraft der Prüfmethode sehr bescheiden. Möglicherweise könnten Verbesserungen durch eine Erhöhung der Beanspruchung bei der Wasserlagerung und/oder anderer Prüfbedingungen bei der Spaltzugprüfung erreicht werden.

## Résumé

Les couches en enrobé, et notamment les couches de roulement, sont soumises non seulement aux sollicitations du trafic routier, mais également à l'influence des agents atmosphériques (variations de température, rayonnement UV, pluie/neige). Le présent travail porte sur la durabilité de l'enrobé par rapport à l'action de l'eau. L'essai de sensibilité à l'eau sollicite l'enrobé dans son ensemble, ce qui permet d'effectuer une évaluation globale du concept d'enrobé. L'essai d'affinité, en revanche, porte uniquement sur le comportement d'un liant avec un granulat. La sensibilité à l'eau est une caractéristique essentielle pour le comportement à long terme d'un revêtement en enrobé.

L'essai de sensibilité à l'eau de l'enrobé compacté est décrit dans la norme EN 12697-12 [9], et la méthode A a été introduite en Suisse en 2005 en tant que SN 670 412 [20]. L'essai repose sur la comparaison de la résistance à la compression diamétrale d'éprouvettes en enrobé ayant été stockées d'une part à l'air et d'autre part dans l'eau. Le résultat est donné par le coefficient de résistance à la traction indirecte (ITSR, Indirect Tension Strength Ratio), qui correspond à la résistance à la compression diamétrale demeurant après un stockage dans l'eau en %. Pour réagir de manière optimale à l'influence du stockage dans l'eau, les éprouvettes confectionnées présentent une teneur en vides relativement élevée. L'eau peut ainsi pénétrer dans les éprouvettes, créant une très grande surface de contact eau-liant. On estime que l'influence de la teneur en vides sur le résultat de l'essai est d'autant plus importante. Pour obtenir cette teneur en vides élevée, la norme EN 12697-12 détermine une énergie de compactage nettement plus basse que l'énergie normale pour le compactage Marshall. C'est sur cette base qu'ont été fixées les exigences de la sensibilité à l'eau de l'enrobé dans la norme SN 640 431-1b [19] avec la sélection de la catégorie d'exigence  $ITSR_{70}$ .

Dans la version ultérieure de la norme EN 12697-12, l'énergie de compactage a été augmentée, passant de 2 x 25 à 2 x 35 coups ou de 40 à 50 tours. L'influence de cette modification sur le résultat de l'analyse n'étant pas connue alors, le comité d'experts de la VSS (Association suisse des professionnels de la route et des transports) EK 5.09 « Enrobé, méthode d'essais » a décidé de ne pas introduire la norme révisée EN 12697-12 avant de disposer de valeurs empiriques sur l'influence de l'augmentation de l'énergie de compactage.

Le présent travail a pour objectif de clarifier, d'une part, si la modification de l'énergie de compactage lors de la confection des éprouvettes a une influence sur le résultat de l'essai et, d'autre part, s'il est nécessaire d'adapter les exigences en conséquence.

Les résultats de l'analyse peuvent se résumer comme suit :

- Sur un enrobé AC 11 N avec un bitume relativement tendre B70/100, le nombre de girations dans la PCG (Presse à cisaillement giratoire) – et donc l'énergie de compactage – est modifié de façon à atteindre une teneur en vides comprise entre 3,8 et 9,0 %vol. On a pu constater que la sensibilité à l'eau exprimée par la valeur ITSR a été à peine modifiée (valeurs comprises entre 97 et 102 %). La résistance à la traction indirecte a certes augmenté avec une plus faible teneur en vides. Cela a pu être observé dans une même ampleur aussi bien sur les éprouvettes sèches que sur les éprouvettes humides, le coefficient ITSR ( $ITS_w / IST_d$ ) restant ainsi à peu près constant.
- L'influence de l'énergie de compactage sur la valeur caractéristique  $ITSR$  a été examinée à l'aide de plusieurs types d'enrobé, cet examen se limitant aux deux énergies de compactage des éprouvettes de laboratoire définies dans les différentes versions de la norme EN 12697:2003 et EN 12697:2008 :

Une augmentation de l'énergie de compactage de 2 x 10 coups entraîne une nette augmentation du degré de compactage, une augmentation de la résistance à la

traction, et donc une modification de la structure de l'enrobé. La valeur de sensibilité à l'eau *ITSR* semble varier de manière aléatoire.

Les trois types d'enrobé avec un liant polymère modifié étudiés (ACMR 8, SMA 11 et ACB 22 S) présentent, après seulement 40 girations, des valeurs *ITSR* bien plus élevées qu'après 50 girations. La même chose a été constatée avec l'éprouvette Marshall ACMR 8. À l'inverse, les enrobés à bitume standard affichent des valeurs *ITSR* plus basses avec 40 girations qu'avec 50 girations. Il n'y a pas d'explication plausible pour cette différence de comportement ; les valeurs semblent plutôt varier de manière aléatoire.

Par rapport au compactage Marshall, le compactage giratoire semble donner davantage de valeurs *ITSR* supérieures à 100 %.

La résistance à la traction indirecte des éprouvettes Marshall est généralement plus élevée que celle des éprouvettes obtenues par compactage giratoire ; cela est valable indépendamment du stockage des éprouvettes (humides ou sèches) et de l'énergie de compactage.

- Dans la plupart des essais, la valeur *ITSR* était supérieure à env. 90 %. Ainsi, il a été pratiquement impossible de distinguer entre les concepts d'enrobé, pourtant très différents. Pour une meilleure différenciation des résultats, on a essayé d'adopter un dispositif d'essai plus strict en augmentant la température de l'eau de stockage, celle-ci passant de 40°C à 50°C. L'analyse de deux types d'enrobé avec des liants à viscosité très différente (B 70/100 et B 10/20) et avec deux énergies de compactage différentes (2 x 25 et 2 x 35 coups Marshall) a montré que la valeur *ITSR*, pour les deux types d'enrobé, ne se modifiait que de manière marginale sous l'effet de la hausse de température. Même les éprouvettes présentant un point de ramollissement à anneau et bille en dessous de la température de l'eau de stockage ont atteint des valeurs *ITSR* très élevées à savoir 98 % (2 x 25 coups) ou 100 % (2 x 35 coups).
- La répétabilité *r* (précision en conditions de répétition ; même laborantin avec même appareil) de la résistance à la traction indirecte *ITS* (Indirect Tensile Strength) a été déterminée, sur la base de 12 séries d'essais à 3 éprouvettes, à 7,7 % ; la répétabilité de la valeur *ITSR* est de 11 %.
- L'interprétation d'un total de 489 résultats d'essais effectués sur une période de 8 ans a mené à la conclusion suivante : des valeurs supérieures à 100 % ont été mesurées dans 16 % des essais. Ces valeurs se répartissent sur un total de 19 différents types d'enrobé, et même l'enrobé à pores ouverts PA a pu afficher des valeurs supérieures à 100 %. Seulement 2 % des résultats d'essai n'ont pas pu satisfaire aux exigences (> 70 %).

Dans les conditions d'essai normées (stockage dans l'eau 72 h / 40°C ; température d'essai de 22 °C), la pertinence de la méthode d'essai est très limitée. Des améliorations pourraient être obtenues en augmentant la sollicitation lors du stockage dans l'eau et/ou d'autres conditions d'essai lors de l'essai de compression diamétrale.



## Summary

Besides undergoing traffic loading, asphalt pavements, especially wearing courses, are also exposed to the influence of weather conditions (temperature fluctuations, UV radiation, rain/snow). The present study focuses on the effect of water on the durability of the asphalt mixture. When testing water sensitivity the entire mix is subjected to stress in order to thus enable an overall evaluation of the mix design. In contrast to this, when testing the affinity, merely the behaviour of a binder with a aggregate is examined. Water sensitivity is an important mix property with regard to the long-term behaviour of an asphalt pavement.

Testing the water sensitivity of compacted asphalt mixtures is described in the Standard EN 12697-12 [9], whereupon the Method A was introduced in Switzerland in 2005 as SN 670 412 [20]. The test is based on the comparison of the indirect tensile strength of asphalt specimens that have, on the one hand, been stored in contact with air, and on the other hand, in contact with water. The result is given as ITSR (Indirect Tension Strength Ratio) that corresponds to the remaining indirect tensile strength after storage in water in %. In order to gain a maximum response to the impact of water storage, specimens are made with a relatively high void content. In this way, water can enter the test specimens and a very large water-binder contact area is established. The influence of the void content on the test result is therefore anticipated to be high. To achieve this high void content the EN 12697-12 defines a compaction energy that is considerably lower than the energy commonly applied in Marshall compaction. On this basis, the requirements regarding the water sensitivity of asphalt mixtures were defined in the standard SN 640 431-1b [19] with the selection of  $ITSR_{70}$  as requirement category.

In the later version of the EN 12697-12 the applied compaction energy was then increased from 2x25 to 2x35 blows or from 40 to 50 gyrations. Because the influence of this change on the test result was not known at that time, the VSS Expert Commission EK 5.09 "bituminous mixtures, test methods" decided not to implement the revised EN 12697-12 as long as there were no experience values available concerning the impact of the increased compaction energy.

The aim of the present study is to clarify whether the change in the applied compaction energy when preparing the specimens has an influence on the test result and whether the requirements need to be adjusted accordingly.

The results of the study can be summarised as follows:

- Using AC 11 N with a relatively soft bitumen B70/100 the number of gyrations during gyratory compaction – and thus the compaction energy - was increased to such an extent that void contents of between 3.8 and 9.0 volume % were reached. It was found that the water sensitivity, expressed in ITSR, hardly changed (values between 97 and 102 %).

The indirect tensile strength did actually increase with decreasing void content, however, this occurred to the same extent with both the dry and the wet specimens so that the ratio  $ITSR (ITS_w/IST_d)$  remained approximately constant.

- The impact of the compaction energy on the  $ITSR$  characteristic was studied using several types of mixtures. In doing so, the test was restricted to using the two laboratory specimen compaction energies specified in the different versions of the standard EN 12697:2003 and EN 12697:2008:

An increase in the compaction energy by 2 x 10 blows causes a significant increase in the degree of compaction as well as an increase in the tensile strength, therefore also causing a change in the asphalt structure. The characteristic for water sensitivity  $ITSR$  would appear to be subject to random fluctuation.

The examined three mixture types with PmB (ACMR 8, SMA 11 and ACB 22 S) show, after just 40 gyrations, substantially higher ITSR values than after 50 gyrations. The

same was also observed with the ACMR 8 Marshall specimens. On the other hand, the mixtures with standard bitumen show lower ITSR values with 40 gyrations than with 50 gyrations. There is no plausible explanation for this varying behaviour: rather the values appear to fluctuate randomly.

Compared to Marshall compaction, in gyratory compaction there tend to be more ITSR values greater than 100 %.

The indirect tensile strength of the Marshall specimens is generally greater than that of the gyrator specimens; this applies irrespective of whether the storage of the specimens is wet or dry and irrespective of the compaction energy.

- In most of the tests the ITSR value was higher than approx. 90 %. It was therefore barely possible to differentiate between the very different mix designs. For better spread results a more stringent test arrangement was attempted by increasing the temperature of the water storage from 40°C to 50°C. The test carried out on two mixture types with very different binder viscosity (B 70/100 and B 10/20) using two different compaction energies (2x25 and 2x35 Marshall blows) showed that in both mixture types the ITSR value only changed marginally as a result of the increase in the water bath temperature. Even in the specimens with a ring-and-ball softening point below the water bath temperature, very high ITSR values of 98 % (2x25 blows) and 100 % (2x35 blows) were reached.
- The repeatability  $r$  (precision under repeatable conditions; the same laboratory technician using the same test devices) of the indirect tensile strength ITS was calculated to be 7.7 % using 12 test series of 3 specimens each. The repeatability of the ITSR value is 11 %.
- The evaluation of 489 test results in total, over a period of 8 years, showed that in 16 % of the tests, values of above 100 % were measured. These values are spread over altogether 19 different mix types, and even in open-graded asphalt (PA) values greater than 100% could be measured.  
In just 2 % of the test results the requirements (> 70%) were not reached.

With the standardised test conditions (water storage 72 h / 40°C; test temperature 22°C) the informative value of the testing method is very limited. Improvements could possibly be achieved through an increase in the load during water storage and/or other test conditions during the indirect tensile test.