



# Bestimmung der Rohdichte von Asphalt mit Wasser

**Détermination de la masse volumique réelle d'un enrobé  
avec de l'eau**

**Determination of the maximum density of asphalt by water  
displacement**

**IMP Baustest AG**  
**Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH**  
**Philip Bürgisser, Dr. rer. nat., dipl. Erdw.**

**Forschungsprojekt VSS 2011/509 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



# Bestimmung der Rohdichte von Asphalt mit Wasser

**Détermination de la masse volumique réelle d'un enrobé  
avec de l'eau**

**Determination of the maximum density of asphalt by water  
displacement**

**IMP Baustest AG**  
**Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH**  
**Philip Bürgisser, Dr. rer. nat., dipl. Erdw.**

**Forschungsprojekt VSS 2011/509 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

# Impressum

## **Forschungsstelle und Projektteam**

### **Projektleitung**

Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH

### **Mitglieder**

Philip Bürgisser, Dr. rer. nat., dipl. Erdw.

## **Federführende Fachkommission**

Fachkommission 3: Baustoffe

## **Begleitkommission**

### **Präsident**

Rémy Gubler

### **Mitglieder**

Michel Pittet

Yvan Ramel

Max Seeberger

Felix Solcà

Wolf-Henrik von Loeben

Guido Frenzer

## **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 Einleitung</b> .....	<b>13</b>
1.1 Ausgangslage .....	13
1.2 Ziele der Forschungsarbeit .....	14
1.3 Stand der Forschung .....	15
1.4 Vorgehensweise .....	15
<b>2 Bestimmung der Rohdichte von Asphalt</b> .....	<b>17</b>
2.1 Prinzip der Bestimmung der Rohdichte .....	17
2.1.1 Unterschiede der Rohdichte Bestimmung mit Toluol und Wasser .....	17
2.1.2 Verfahrensbeschrieb Rohdichte mit Wasser .....	18
<b>3 Parameterstudie</b> .....	<b>21</b>
3.1 Einfluss des Wassers .....	21
3.2 Einfluss der Granulation .....	22
3.3 Einfluss der Vibration .....	24
3.4 Einfluss des Entspannungsmittels .....	25
3.5 Zusammenfassung .....	26
<b>4 Modellversuche Porosität</b> .....	<b>27</b>
4.1 Allgemeines .....	27
4.2 Herstellung der Mischungen .....	27
4.3 Untersuchungen an den Modellmischungen .....	28
4.3.1 Bestimmung der Wasseraufnahme .....	28
4.3.2 Bestimmung der Rohdichte .....	28
<b>5 Baustellenmischungen Walzasphalt</b> .....	<b>31</b>
5.1 Rohdichte mit Toluol .....	31
5.2 Rohdichte mit Wasser .....	32
5.3 Vergleich der verschiedenen Rohdichten .....	33
5.4 Zusammenfassung und Folgerungen .....	33
<b>6 Gussasphalt</b> .....	<b>35</b>
<b>7 Ringversuch</b> .....	<b>37</b>
7.1 Vorversuch mit AC 11 L .....	38
7.2 Ringversuch SMA 8 .....	42
7.2.1 SMA 8 – Rohdichte mit Wasser .....	42
7.2.2 SMA 8 – Rohdichte mit organischen Lösemittel .....	43
7.2.3 SMA 8 – Vergleich der Rohdichten .....	43
7.3 Ringversuch AC T 32 S .....	45
7.3.1 AC T 32 S Rohdichtebestimmung mit Wasser .....	45
7.3.2 AC T 32 S Rohdichtebestimmung mit organischen Lösemittel .....	46
7.3.3 AC T 32 S – Vergleich der Rohdichten .....	47
7.4 Statistische Analyse .....	48
7.4.1 Rohdichte des SMA 8 mit Wasser .....	49
7.4.2 Rohdichte des AC T 32S mit Wasser .....	55
7.4.3 Rohdichte des AC T 32S mit organischem Lösemittel .....	58
7.5 Zusammenfassung der Ringversuche .....	61

<b>8</b>	<b>Vergleichende Betrachtungen</b> .....	<b>63</b>
8.1	Vergleich der Rohdichten «Lösemittel» und «Wasser».....	63
8.2	Vergleich der Rohdichten «Lösemittel» und «berechnet».....	64
8.3	Vergleich der Rohdichten «Wasser» und «berechnet».....	65
8.4	Einfluss Bestimmung der Rohdichte der Gesteinskörnung auf die berechnete Mischgutrohdsichte.....	66
8.5	Schlüsse aus der Synthesebetrachtung.....	67
<b>9</b>	<b>Folgerungen</b> .....	<b>69</b>
9.1	Folgerungen aus den Untersuchungen.....	69
9.2	Bewertung der Unterschiede.....	69
9.3	Hinweise für das Nationale Vorwort.....	70
9.4	Anforderungen an das nationale Vorwort.....	71
9.5	Nationaler Anhang.....	71
	<b>Anhänge</b> .....	<b>73</b>
	<b>Glossar</b> .....	<b>89</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>91</b>
	<b>Projektabschluss</b> .....	<b>93</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen</b> .....	<b>97</b>

## Zusammenfassung

Der Hohlraumgehalt verdichteter bituminöser Mischungen ist eines der Hauptmerkmale zur Beurteilung der Qualität von Asphaltbelägen. Die Berechnung dieses Kennwertes basiert auf der prüftechnischen Bestimmung der Raumdichte und der Rohdichte. Somit erhält die Bestimmung der Rohdichte eine zentrale Bedeutung. Bei der in der Schweiz gültigen prüftechnischen, volumetrischen Bestimmung mit einem Pyknometer wird das Volumen der Probe anhand der verdrängten Flüssigkeit gemessen; als Flüssigkeit kann entweder Wasser oder ein organisches Lösungsmittel verwendet werden. In der Schweizer Norm sind beide Flüssigkeiten erlaubt; das Verfahren mit Lösungsmittel ist jedoch das Referenzverfahren (SN 640 431-20-NA „Erstprüfungen“).

Die neue europäische Norm EN 13108-20 schliesst die Verwendung von Lösungsmittel aus ökologischen und arbeitshygienischen Gründen aus. Somit ist die Schweiz verpflichtet, das bisherige Referenzverfahren aufzugeben und ein neues einzuführen. Aufgrund der zentralen Bedeutung der Bestimmung der Rohdichte für die Beurteilung der Qualität eingebauter Asphaltbeläge kann nicht einfach eine Prüfmethode geändert werden, ohne die Auswirkung der Änderung auf den wichtigen Kennwert „Hohlraumgehalt“ zu überprüfen.

### Parameterstudie

Die Bestimmung der Rohdichte mit Wasser leitet sich von der Rohdichtebestimmung mit Toluol her. Die Prüfung mit Wasser weicht jedoch in einigen, wesentlichen Punkten von der bisherigen Methode mit Toluol ab. So sieht die Prüfvorschrift vor, dass die Mischgutprobe vor der Prüfung zerkleinert wird und dass anschliessend die eingeschlossene Luft mit einem Teilvakuum von mindestens 40mbar während  $(15 \pm 1)$  min ausgetrieben wird.

Anhand einer Parameterstudie wurde untersucht, ob die Qualität des Wassers, die Methode zur Granulation, die Art und Intensität der Vibration sowie die Verwendung eines Tensides (zur Reduktion der Oberflächenspannung) einen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Es zeigte sich, dass es notwendig ist die Mischgutprobe maschinell zu granulieren und entionisiertes Wasser ohne Entspannungsmittel zu verwenden; auch wurden Hinweise zum Vibrieren/Rütteln während des Vakuums beschrieben

### Modellversuche

Da ein organisches Lösemittel nebst der Verdrängung der Luft aus der Probe auch das Bindemittel auflöst, entsteht ein direkter Kontakt zwischen der Gesteinsoberfläche und der Flüssigkeit. Damit werden die Poren der Gesteinskörnungen zum Hohlraumgehalt des Mischgutes hinzugeschlagen. Da dies bei der Verwendung von Wasser nicht geschieht, wurde untersucht, ob dieser Einfluss vernachlässigbar sei. Es wurden Modellmischungen AC 16 mit einem typischen Mittellandkies und einer EOS (Elektro Ofen Schlacke) als poröse Gesteinskörnung in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen hergestellt. Es zeigte sich, dabei der Einfluss der Porosität einer Gesteinskörnung für die in der Schweiz verwendeten Gesteinskörnungen zu vernachlässigen ist.

### Baustellenmischungen

An 10 Mischungen aus Baustellen (AC MR 8, SDA 8 A, SMA8, SMA 11, PA 11, AC Rail 16, AC EME 22 C1, AC EME 22 C2, MA 8 H und MA 12 H) wurde jeweils die Rohdichte mit Lösemittel und mit Wasser bestimmt. Es zeigte sich, dass die Rohdichten mit Wasser generell etwas tiefer lagen als diejenigen mit Lösemittel. Zudem war die Streuung der Einzelwerte bei Verwendung von Wasser niedriger. Die maximal festgestellte Differenz zwischen der Rohdichte mit Wasser und derjenigen mit Lösemittel betrug  $0.014 \text{ Mg/m}^3$ , was einem Unterschied im Hohlraumgehalt von etwa 0.5 Vol.-% entspricht.

### Ringversuch

In einem Ringversuch mit 10 Labors wurde ein SMA 8 und AC T 32 untersucht. Auch hier zeigte sich, dass die Rohdichte mit Wasser einen tieferen Wert aufweist, als derjenige mit Lösemittel. Dank einer Mehrfachbestimmung durch jedes einzelne Labor, konnten sowohl die Wiederholpräzision (r) als auch die Vergleichspräzision (R) bestimmt werden. Erstaunlicherweise lagen beide Werte (r und R) bei der Verwendung von Wasser schlechter, was vermutlich auf die mangelnde Erfahrung vieler Prüfstellen zurückzuführen ist.

### Folgerungen für die Praxis

Bei allen untersuchten Mischgutsorten liegt die mit Wasser bestimmte Rohdichte tiefer als diejenige mit Toluol. Dies deckt sich mit den Beobachtungen eines deutschen Ringversuchs.

Die grössten Schwankungen der Rohdichten waren bei den Mischgutsorten mit einem Grösstkorn von 22 und 32 mm festzustellen. Es ist plausibel, dass bei grobkörnigem Mischgut die Inhomogenitäten innerhalb der Proben grösser sind. Obwohl die Masse der Laborprobe in Abhängigkeit zum Grösstkorn festgelegt ist, kann bereits bei der Homogenisierung und Probenteilung eine entsprechende Streuung auftreten.

Um die festgestellten Unterschiede zu evaluieren, wurden die daraus entstehenden Unterschiede im Hohlraumgehalt abgeschätzt. Bei den grobkörnigen Mischungen (Grösstkorn 22 und 32 mm) entspricht der maximale Rohdichte-Unterschied einer Differenz im Hohlraumgehalt von ca. 0.5 Vol.-%. Bei allen übrigen Mischgutsorten liegt die Differenz im Hohlraumgehalt unterhalb von 0.2 Vol.-%.

Es kann festgehalten werden, dass das angewendete Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte eines Mischgutes mit Wasser problemlos in die Praxis eingeführt werden kann. Die zu erwartende Differenz der Rohdichten zum bisherigen Verfahren mit Lösemittel kann als vernachlässigbar betrachtet werden; sie liegt im Mittel der 12 untersuchten Mischgutsorten bei  $0.006 \text{ Mg/m}^3$ .



## Résumé

La teneur en vides des enrobés bitumineux compactés est un des critères déterminants pour évaluer la qualité des revêtements routiers. Le calcul de cette grandeur se base sur la détermination en laboratoire de la masse volumique apparente et de la masse volumique réelle. La détermination de la masse volumique réelle joue donc une importance centrale. En Suisse, la détermination volumétrique normée en laboratoire à l'aide du pycnomètre mesure le volume d'un liquide déplacé par un échantillon. Comme liquide, on utilise soit de l'eau, soit un solvant organique. Dans la norme suisse, l'utilisation des deux liquides est permise. La méthode avec le solvant est néanmoins la méthode de référence (SN 640 431-20-NA „Epreuve de formulation“).

La nouvelle norme européenne EN 13108-20 exclut l'utilisation de solvant pour des raisons écologiques et d'hygiène sur le lieu de travail. Ainsi, la Suisse est tenue d'abandonner la méthode actuelle et d'adopter la nouvelle. A cause de l'importance centrale qu'a la détermination de la masse volumique réelle pour l'évaluation de la qualité des revêtements bitumineux mis en œuvre, cette méthode d'essai ne peut pas être simplement modifiée, sans étudier l'effet du changement sur la „teneur en vides“.

### Paramètres d'étude

La détermination de la masse volumique réelle avec de l'eau découle de la détermination de la masse volumique avec le toluène. L'essai avec de l'eau s'écarte toutefois de la méthode avec le toluène sur quelques points essentiels. Ainsi, la prescription de l'essai indique que l'échantillon d'enrobé doit être préalablement réduit avant l'essai et qu'ensuite l'air occlus doit être évacué sous un vide partiel d'au moins 40mbar pendant  $15 \pm 1$  minutes.

Parmi les paramètres d'étude, il a été analysé si la qualité de l'eau, la méthode de désagrégation, le type et l'intensité de la vibration, ainsi que l'utilisation d'un agent tensio-actif (pour réduire la tension superficielle) ont une influence sur le résultat.

Il a été démontré qu'il est nécessaire de désagréger mécaniquement les échantillons d'enrobé et d'utiliser de l'eau désionisée sans agent tensio-actif. Des indications ont aussi été formulées concernant la vibration / agitation sous vide.

### Modèle expérimental

Comme un solvant organique dilue le liant en plus de pousser l'air hors de l'échantillon, il y a un contact direct entre la surface des granulats et le liquide. Ainsi, les pores des granulats s'ajoutent à la teneur en vides de l'enrobé. Comme ce phénomène ne se produit pas en utilisant de l'eau, il a été étudié si cette influence est négligeable. Des mélanges avec différents dosages de granulats typiques du Plateau de scories de hauts-fourneaux comme granulats poreux ont été confectionnés. Il a été démontré que l'influence de la porosité des granulats utilisés en Suisse est négligeable.

### Mélanges de chantier

La masse volumique réelle a été déterminée sur 10 mélanges prélevés sur chantier (AC MR 8, SDA 8 A, SMA 8, SMA 11, PA 11, AC Rail 16, AC EME 22 C1, AC EME 22 C2, ACT 22 et MA) en utilisant en parallèle un solvant organique et de l'eau. Les résultats montrent que les masses volumiques réelles déterminées avec de l'eau sont généralement un peu inférieures à celles déterminées avec le solvant organique. De plus, la dispersion des valeurs individuelles était plus petite en utilisant de l'eau. La différence maximale relevée entre les masses volumiques réelles déterminées avec de l'eau et celles déterminées avec le solvant s'élève à  $0.014 \text{ Mg/m}^3$ , ce qui correspond à une différence d'environ 0.5 %-volume sur la teneur en vides.

### Essai croisé

Lors d'un essai croisé entre 10 laboratoires, un SMA 8 et un AC T 32 S ont été analysés. Les résultats ont également montré que les masses volumiques réelles déterminées avec l'eau sont un peu inférieures à celles déterminées avec le solvant. Grâce à une détermination multiple de chaque laboratoire individuel, la répétabilité (r), ainsi que la reproductibilité (R) ont pu être déterminées. Étonnamment, les deux valeurs (r et R) sont plus mauvaises en utilisant la méthode avec de l'eau, ceci provient probablement de l'expérience incomplète de beaucoup de laboratoires.

### Perspectives pour la pratique

Pour toutes les sortes d'enrobés analysées, les masses volumiques réelles déterminées avec de l'eau sont un peu inférieures à celles déterminées avec le solvant. Ceci est corroboré avec les observations faites par un essai croisé en Allemagne.

Les plus grands écarts dans la détermination des masses volumiques réelles ont été relevés pour les sortes d'enrobés avec un granulats de maximal de 22 et 32mm. Il est plausible que l'inhomogénéité dans les échantillons soit plus grande avec des enrobés grossiers. Malgré le fait que la masse des échantillons de laboratoire soit déterminée en fonction du granulats le plus grand, il se peut qu'une dispersion apparaisse lors de l'homogénéisation et du fractionnement de l'échantillon.

Afin d'évaluer l'effet de cette différence constatée, l'écart sur la teneur en vides a été estimée. Pour les enrobés grossiers (granulats maximal 22mm), la différence maximale de la masse volumique réelle correspond à un écart d'environ 0.5 %-volume de la teneur en vides. Pour toutes les autres sortes d'enrobés, la différence de teneur en vide se situe en dessous de 0.2 %-volume.

Il peut être admis que la méthode de la détermination de la masse volumique réelle avec de l'eau peut être introduite dans la pratique sans problème. L'écart attendu sur la masse volumique réelle par rapport à la méthode actuelle avec le solvant peut être considéré comme négligeable. Il se situe en moyenne à 0.006 Mg/m<sup>3</sup> pour les 13 sortes d'enrobés analysés.

## Summary

The void content of compacted bituminous mixtures is one of the main characteristics for the evaluation of the quality of pavements. For the calculation of the void content you need to know the bulk density and maximum density. In Switzerland the maximum density necessary to calculate the volume of the samples measured with a pycnometer. The Swiss standard (SN 640 431-20-NA) allows the use of water or organic solvent as test medium, however the organic solvent is the reference liquid for the type testing (SN 660 431-20-NA "type testing"). The new European standard EN 13108-20 excludes the use of solvents for environmental and occupational hygiene reasons. Therefore, Switzerland must review the present standard. Due to the central importance of determining the bulk density it must be investigated if there is a difference between the two test mediums on the voids content characteristic.

### parameter study

The determination of the bulk density with water is derived from the bulk density determination with toluene. However, the test with water varies in some significant points from the to date used method with toluene. Thus, the test procedure stipulates that the mixture sample is granulated before the test. Subsequently the trapped air of the sample is expelled with a partial vacuum of at least 40 mbar for  $(15 \pm 1)$  min. Based on a parameter study, it was examined whether the quality of the water, the method of granulation, the type and intensity of the vibration as well as the use of a surfactant (to reduce the surface tension) has an influence on the result.

The tests showed that it is necessary to machine granulate sample and use deionized water without relaxant; Also, notes on vibrating / shaking during vacuum have been described.

### model testing

An organic solvent displaces the air from the sample additionally dissolves the binder, therefore creates a direct contact between the rock surface and the liquid. Thus, the pores of the aggregates are added to the void content of the mix. Since this does not happen when using water, it was investigated whether this influence was negligible. Model mixtures were made with a typical midland gravel and an EOS (electric furnace slag) as a porous aggregate in different mixing ratios. It was found that the influence of the porosity of an aggregate used in Switzerland is negligible.

### Construction site mixtures

On 10 construction sites mixtures (AC MR 8, SDA 8A, SMA8, SMA 11, PA 11, AC Rail 16, AC EME 22 C1, AC EME 22 C2, ACT 22 and MA), the bulk density was determined in each case with solvent and with water. It was found that the bulk densities with water were generally somewhat lower than those with solvents. In addition, the scattering of individual values using water was lower. The maximum difference between the bulk density with water and that with solvent was  $0.014 \text{ Mg / m}^3$ , which corresponds to a difference in void content of about 0.5% by volume.

### Round Robin test

An SMA 8 and AC T32 were tested in a Round Robin test with 10 laboratories. Again, it was found that the bulk density with water has a lower value than that with solvent. Thanks to multiple measurements by each individual laboratory, both the repeatability ( $r$ ) and the reproducibility ( $R$ ) were determined. Surprisingly, both values ( $r$  and  $R$ ) were worse when using water, which is probably due to the lack of experience of many Laboratories.

### Conclusions

The bulk density determined with water is lower than that with toluene for all types of test mixtures investigated. This coincides with the observations of a German round robin test. The largest fluctuations of the bulk densities were observed for the mixed product types with a maximum grain size of 22 and 32 mm. It is plausible that with coarse-grained mixtures the inhomogeneities within the samples are greater. Although the mass of the laboratory sample is determined as a function of the largest grain, a corresponding scattering can already occur during the homogenization and sample division. To evaluate the observed differences, the resulting differences in void content were estimated. In the case of the coarse-grained mixtures (largest particle size 22 mm), the maximum density difference corresponds to a difference in void content of about 0.5% by volume. For all other types of mixed material, the difference in void content is below 0.2% by volume.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Der Hohlraumgehalt verdichteter bituminöser Mischungen (Asphalt) ist eines der Hauptmerkmale zur Beurteilung der Qualität und Dauerhaftigkeit von eingebauten Strassenbelägen. Die Berechnung dieses Kennwertes basiert auf den prüftechnischen Bestimmungen der Raumdichte und der Rohdichte. Somit erhält die Bestimmung der Rohdichte eines Mischgutes eine zentrale Rolle.

In der Schweiz wird zurzeit die Rohdichte durch eine volumetrische Bestimmung mit einem Pyknometer gemessen. Dabei wird das Volumen der Probe in einem Pyknometer anhand des von der Probe verdrängten Volumens der Flüssigkeit gemessen. In der SN 670 405 [1] sind als Flüssigkeit sowohl organisches Lösemittel als auch Wasser zugelassen. Die europäische Norm EN 13108-20 [2] liess in früheren Versionen – analog der SN-Norm - ebenfalls sowohl Lösemittel als auch Wasser zu; seit 2006 schliesst die EN jedoch die Verwendung von organischen Lösemittel aus ökologischen und arbeitshygienischen Gründen aus. Die arbeitshygienischen Gründe leiten sich aus der gesundheitlichen Gefährdung im Umgang mit organischen Lösemittel ab. Die im Strassenbaulabor am meisten verwendeten Lösemittel sind Trichlorethan, Perchlorethylen und Toluol. So erwähnt beispielsweise das Sicherheitsmerkbblatt für Toluol [3] folgende mögliche gesundheitsschädliche Gefahren:

- Kann zu Hautreizungen führen
- Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen
- Kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen
- Kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen
- Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen

Aufgrund der zentralen Bedeutung der Bestimmung der Rohdichte für die Beurteilung der Qualität eingebauter Asphaltbeläge kann keine Prüfmethode geändert werden, ohne die Auswirkung der Änderung auf das Ergebnis zu überprüfen. Die Flüssigkeiten Wasser und Lösungsmittel wirken sich – als Prüfmittel verwendet - unterschiedlich aus:

- Das Lösemittel löst das Bitumen um die Gesteinskörner auf, so dass das Volumen der oberflächlich zugänglichen Poren der Gesteinskörnungen bei der Bestimmung der Rohdichte mitberücksichtigt wird.
- Beim Wasser hingegen bleibt die Gesteinskörnung mit Bitumen umhüllt; die oberflächlichen Poren der Gesteinskörnungen bleiben verschlossen und werden somit nicht erfasst.

Der Einfluss der verwendeten Flüssigkeit auf das Prüfergebnis wird somit massgeblich von der Porosität der Gesteinskörnungen bestimmt. Die Geologie der Schweiz ist nicht nur sehr heterogen sondern auch sehr kleinräumig. So verändern sich beispielsweise die Eigenschaften der Gesteinskörnungen in den Kieswerken entlang der Aare innerhalb weniger Kilometer. Aus diesem Grund ist es wichtig bei der Einführung einer fundamentalen Änderung einer Prüfmethode die Auswirkungen auf die schweizerischen Verhältnisse zu überprüfen, obwohl diese Prüfnorm in Europa angewendet wird. Erfahrungsgemäss können die Ergebnisse ausländischer Untersuchungen nur sehr beschränkt unbesehen auf die schweizerischen Verhältnisse übertragen werden. So sind beispielsweise die im Ausland verwendeten Prüfungen zur Beurteilung der Alkali-Aggregat-Reaktion AAR (in Frankreich der Microbartest, in Deutschland die Mörtelschnellprüfungen) in der Schweiz sehr beschränkt aussagefähig.

Der Hohlraumgehalt einer Asphaltschicht ist einer der wesentlichen Qualitätsmerkmale zur Beurteilung der eingebauten Schicht. Wird das Verfahren zur Bestimmung dieses Wertes in wesentlichen Punkten geändert, so kann auch das Ergebnis deutlich beeinflusst werden. Die Wahl einer anderen Flüssigkeit zur Durchführung der Prüfung (Wasser anstatt Lösemittel) ist eine wesentliche Änderung des Prüfverfahrens. Nach Meinung der zuständigen VSS-Kommissionen kann das Prüfverfahren nicht „klammheimlich“ abgeändert werden, indem einfach im Rahmen einer Normenrevision das neue Prüfverfahren eingeführt wird. In der Schweiz fehlen Erfahrungen bei den Prüflabors in der Durchführung der Prüfung, die Asphaltproduzenten, Unternehmer und Bauherren haben keine Erfahrungen bezüglich des Einflusses auf den bestimmten Wert und den Fachleuten der VSS-Kommissionen fehlen Informationen und Grundlagen um die Normen entsprechend anzupassen. Insbesondere die Anforderungen an die eingebauten Beläge müssen überprüft werden. Der erwartete Einfluss der Änderung der Prüfnorm kann den Hohlraumgehalt um bis zu 0.7 Vol.-% beeinflussen. Wendet man die Weisung des ASTRA „Qualitätsanforderungen bitumenhaltiger Schichten; Massnahmen bei Abweichungen“ [4] an, so bedeutet eine Überschreitung der Sollwerte beim Hohlraumgehalt um 0.7 Vol.-% einen finanziellen Abzug von 10% des Einheitspreises! Dieses Beispiel zeigt die Tragweite einer Änderung des Prüfverfahrens auf.

Aus all den oben erwähnten Gründen ist es sinnvoll, das bisherige Prüfverfahren aufzugeben und durch ein neues zu ersetzen. Allerdings ist dabei sicherzustellen, dass die bisherigen Erfahrungen in der Bewertung verdichteter bituminöser Mischungen nicht verloren gehen.

## 1.2 Ziele der Forschungsarbeit

Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es zu klären, ob für das bisherige Referenzverfahren für die Rohdichtebestimmung von Asphalt das gesundheitsschädliche organische Lösemittel durch Wasser ersetzt werden kann. Unter anderem soll auch abgeklärt werden, welchen Einfluss die Porosität der Gesteinskörnung auf das Prüfergebnis hat. Auch muss abgeklärt werden, ob allenfalls bei der Einführung der neuen Prüfmethode «Bestimmung der Rohdichte mit Wasser» Hinweise zur weiteren Verwendung der bisherigen Erfahrungen publiziert werden sollten. Im Weiteren ist auch zur Präzision des Verfahrens Stellung zu beziehen.

Das Forschungsvorhaben soll die entsprechenden Erfahrungen in der Schweiz erarbeiten und dadurch auch die Fachleute auf die Problematik sensibilisieren. Das Forschungsprojekt liefert den VSS-Kommissionen die erforderlichen Entscheidungsgrundlagen, um in den Anforderungsnormen den Wechsel vorzunehmen und Übergangsfristen festzulegen. Die Arbeit soll auch Hinweise zur Umrechnung der Prüfergebnisse der einen in die andere Norm liefern. Es ist zu erwarten, dass diese Umrechnung einerseits von den verwendeten Gesteinskörnungen und andererseits von der Mischgutrezeptur abhängig ist.

### 1.3 Stand der Forschung

Im Jahre 1999 wurde in der Schweiz ein Forschungsprojekt [5] abgeschlossen, welches sich mit der Rohdichtebestimmung von Asphalt mit Wasser befasste. Es wurde dabei eine neue Methode entwickelt, bei welcher die Rohdichtebestimmung bei 90°C mittels Vakuum und einem heissen Wasserbad erfolgte. Die Forschungsarbeit konnte zeigen, dass für die meisten Asphaltmischgutsorten die neuentwickelte Methode präzise und zuverlässige Ergebnisse lieferte mit Ausnahme von bindemittelreichen Mischgutsorten wie MA und SMA sowie hohlraumreichen Mischgutsorten. Aufgrund der aufwändigen Handhabung der neuen Methode, der damals fehlenden, marktüblich erhältlichen Prüfgeräte sowie der Einschränkung in der Anwendung, wurde auf die Einführung der neuen Methode verzichtet.

In Deutschland wurde im Jahr 2006 ein Ringversuch [6] mit 30 Labors an einer Mischgutsorte des Typs SMA 8, mit PmB 45 A, einem Gesamtbindemittelgehalt von 7.2 M.-% und einem Hohlraumgehalt (Marshall) von 3.8 Vol.-% durchgeführt. Die Rohdichtebestimmung mit Wasser als Prüfmittel wurde dabei nach einer Arbeitsanleitung der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV) [7] durchgeführt. Dabei wurde das zu untersuchende Mischgut in einem mit Wasser gefüllten Pyknometer unter präzise festgelegten Bedingungen einem Vakuum ausgesetzt, um die Luft auszutreiben. Zusätzlich wurde die Rohdichte des SMA 8 mit einem organischen Lösemittel (Trichlorethan) bestimmt. Der Vergleich der beiden Methoden (Wasser bzw. Lösemittel) zeigte, dass sich die Ergebnisse im Mittel um lediglich 3 Mg/m<sup>3</sup> unterschieden. Die Autoren zogen den Schluss aus dem Ringversuch, dass die Bestimmung der Rohdichte mit Wasser auch auf andere Mischgutsorten angewendet werden kann, ohne dass dies jedoch durch weitere Untersuchungen verifiziert wurde.

Auch in Ländern ausserhalb Europas, wie Australien und Neuseeland wurde das Verfahren mit Wasser als Prüfflüssigkeit normiert [8,9] und erfolgreich eingeführt

### 1.4 Vorgehensweise

Um die unter 1.2 definierten Ziele zu erreichen wurde folgendes Vorgehen gewählt:

In einem ersten Schritt wurde im Rahmen einer Parameterstudie untersucht, welche Einflussgrössen tatsächlich eine Rolle spielen und in welchem Ausmass diese das Ergebnis beeinflussen. Die Qualität des Wassers (Härte, Ionengehalt, mit/ohne Entspannungsmittel), die Art der Granulation (manuell/maschinell), sowie die Vibration während der Vakuumphase wurden untersucht.

In einem zweiten Schritt wurde der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die Porosität der Gesteinskörnungen auf die Bestimmung der Rohdichte mit Wasser hat. Hierzu wurden drei verschiedene Rezepturen mit zwei Gesteinskörnungen hergestellt, welche unterschiedliche Porositäten aufwiesen. Anschliessend wurden jeweils die Rohdichten mit Toluol und Wasser bestimmt.

In einem dritten Schritt wurden an 7 verschiedenen Mischgutsorten aus diversen Baustellen (im Bericht als «Baustellenmischungen» bezeichnet) die Rohdichten mit Wasser und Toluol bestimmt. Dadurch konnten beide Prüfmethoden an einer breiten Auswahl an Mischgutsorten verglichen werden.

Im vierten und letzten Schritt wurde mit einem Ringversuch die Vergleichspräzision beider Prüfmethoden (Wasser und Lösemittel) bestimmt und miteinander verglichen. 10 Labors aus der Schweiz, führten an zwei verschiedenen Mischgutsorten die Rohdichtebestimmung mit Wasser und Toluol durch. Gleichzeitig wurde auch die Wiederholpräzision bestimmt.





## 2 Bestimmung der Rohdichte von Asphalt

### 2.1 Prinzip der Bestimmung der Rohdichte

Für die Bestimmung der Rohdichte wird im Strassenbaulabor standardmässig das sogenannte Pyknometer-Verfahren verwendet. Das Pyknometer selbst ist ein präzise tarierter Glaskolben zur Bestimmung des Volumens von Festkörpern oder Flüssigkeiten. Das Messprinzip beruht dabei auf der Verdrängung der im Gefäss befindlichen Flüssigkeit durch die zu untersuchende Probe. Aus der Differenz der Masse des mit einer Prüfflüssigkeit gefüllten Pyknometers zum Pyknometer, welcher mit der Probe und der Prüfflüssigkeit gefüllt ist, kann das Volumen der luftfreien Probe bestimmt werden. Wesentlich dabei ist, dass alle Poren der Probe mit der Prüfflüssigkeit gefüllt sind und das gesamte Luftvolumen aus der Probe getrieben wurde. Aus dem im Pyknometer bestimmten Volumen und der Masse der Probe kann die Rohdichte berechnet werden.

#### 2.1.1 Unterschiede der Rohdichte Bestimmung mit Toluol und Wasser

Die beiden Flüssigkeiten Wasser und Lösungsmittel wirken sich auf das bituminöse Mischgut völlig unterschiedlich aus:

Das Lösungsmittel löst das Bitumen um die Gesteinskörner auf und schliesst somit das Mischgut völlig auf. Die in den Poren des Mischgutes eingeschlossene Luft kann problemlos entweichen und das Lösemittel dringt sogar in die oberflächennahen Poren der Gesteinskörnungen ein. Auf diese Weise wird das Volumen des luftfreien Mischgutes bestimmt. Durch die Miterfassung der oberflächennahen Poren wird letztlich bei der Berechnung des Hohlraumgehaltes die Porosität der Gesteinskörnungen mitberücksichtigt.

Beim Wasser hingegen bleiben die Gesteinskörnungen mehrheitlich mit Bitumen umhüllt; die oberflächennahen Poren der Gesteinskörnungen bleiben unerreicht und werden somit bei der Berechnung des Hohlraumgehaltes nicht erfasst. Um das Entweichen der in den Poren des Mischgutes eingeschlossenen Luft zu gewährleisten, muss das Mischgut vorgängig mit geeignetem Verfahren aufgeschlossen werden.

Die Bestimmung der Rohdichte mit Wasser beruht im Wesentlichen auf dem Verfahren der Rohdichtebestimmung mit Toluol, welches in der SN 670 405 [1] beschrieben ist. Die Prüfung weicht aber in folgenden, wesentlichen Punkten von der in der Schweiz zur Zeit standardmässig verwendeten Methode mit Toluol ab:

##### **Prüfmittel (SN 670 405; Pkt 5.1):**

- Luftfrei gekochtes Wasser

##### **Prüfeinrichtung**

- (SN 670 405; Pkt 6.3): Granulator zum Zerkleinern der Mischgutprobe
- (SN 670 405; Pkt 6.9): Vakuum-Anlage mit einem Druckmessgerät oder kalibriertem Vakuum-Messgerät zur Evakuierung des Pyknometers auf einen Restdruck von 40 mbar oder weniger

##### **Prüfverfahren (SN 670 405; Pkt 9.2):**

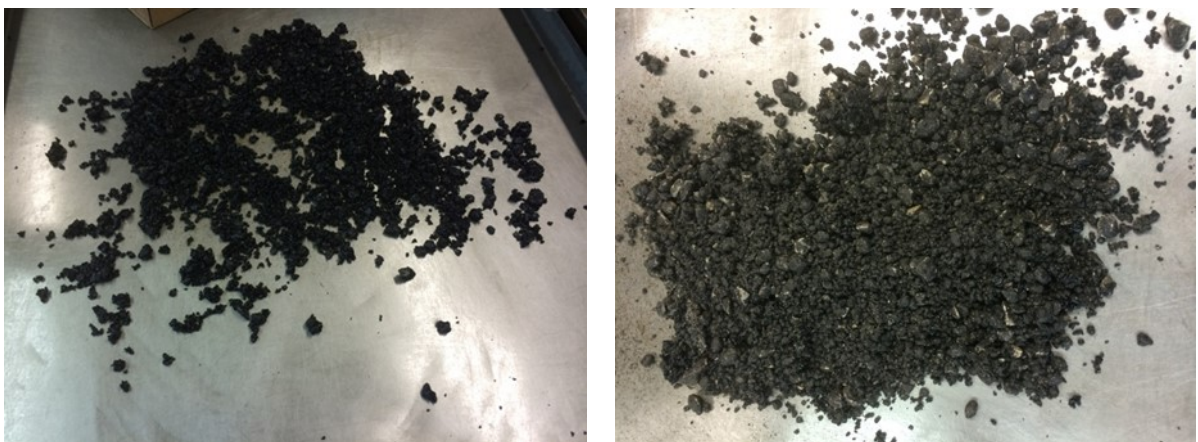
- Die eingeschlossene Luft wird durch die Anwendung eines Teilvakuums von 40 mbar oder weniger über eine Zeitspanne von  $(15 \pm 1)$  min ausgetrieben

### 2.1.2 Verfahrensbeschreibung Rohdichte mit Wasser

Die Rohdichtebestimmung von Asphaltmischgut mit Wasser erfolgte gemäss dem in der Norm EN 12697-5 [10] beschriebenen Versuchsablauf. Dabei wird eine Asphaltprobe, deren Masse vom Grösstkorn abhängt (800g – 2000g), auf eine Temperatur von 90°C gebracht. Anschliessend wird die Probe mit einem Spachtel manuell zerkleinert und danach in einem speziell dafür entwickelten Gerät (siehe *Abb.1*) während 40 Sekunden maschinell granuliert (siehe *Abb.2*). Wie aus *Abb.2* zu sehen ist, wird bei der maschinellen Granulation das Mischgut schonend zerkleinert, ohne dass eine Zertrümmerung die Körner erkennbar war.



*Abb.1* Gerät zur Granulation der Mischgutprobe



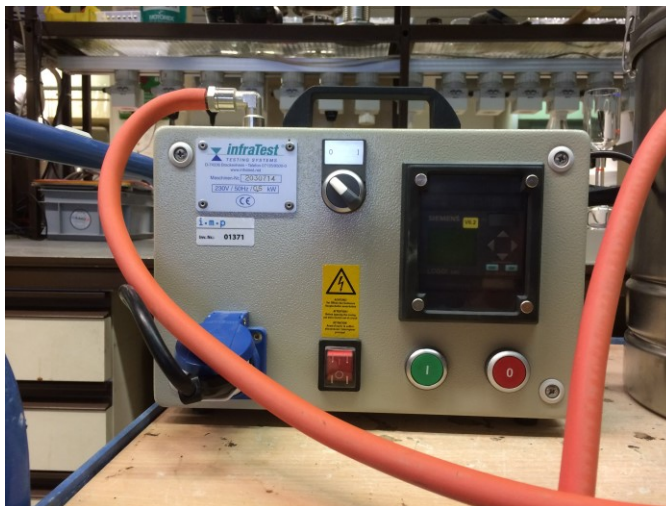
*Abb.2* Mischgutprobe vor (links) und nach der maschinellen Granulation (rechts)

Anschliessend wird die so granulierten Probe in ein Pyknometer, dessen Volumen und Masse bekannt ist, überführt. Das Pyknometer mit der Probe wird mit dem zuvor luftfrei gekochten und auf Raumtemperatur abgekühlten Wasser vorsichtig bis ca. 30 mm unter den Kernschliff gefüllt. Für das spätere Austreiben der Luft wird der wassergefüllte Pyknometer mit der Probe in einen Edelstahl-Vakuumbehälter (siehe *Abb.3*) gelagert.



*Abb.3* Vakuumbehälter verschlossen (links) und Vakuumbehälter mit der Probe (rechts)

Die im Pyknometer eingeschlossene Luft wird durch ein Teilvakuum wie folgt ausgetrieben: Der Luftdruck wird im Vakuumbehälter durch einen Vakuumcontroller (siehe *Abb.4*), kontinuierlich auf ein Vakuum von höchstens 40 mbar abgesenkt und anschliessend während  $15 \pm 1$  Minuten konstant gehalten.



*Abb.4* Vakuumcontroller

Nach der Vakuumlagerung wird der Behälter vorsichtig belüftet bis wieder der Umgebungsdruck erreicht wird. Anschliessend wird der Pyknometer in einem Wasserbad bei  $25^\circ\text{C}$  gelagert. Die weiteren Schritte zur Bestimmung der Rohdichte erfolgen anschliessend in gleicher Art und Weise, wie dies mit einem Lösemittel der Fall ist.



### 3 Parameterstudie

Mit dem Mischgut AC 11 L, welches für die Ringversuche vorgesehen war, wurde der Einfluss untenstehender Parameter auf das Prüfergebnis untersucht.

- Einfluss der Art des Wassers
- Einfluss der Granulation
- Einfluss der Vibration
- Einfluss des Entspannungsmittels

Die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Mischgutes AC 11 L sind im Anhang 1 aufgeführt.

#### 3.1 Einfluss des Wassers

In der Norm SN 670 405 (Pkt 5.1) ist festgelegt, dass das für die Bestimmung der Rohdichte verwendete Wasser frisch gekocht und gekühlt sein sollte. In der Schweiz kann die Zusammensetzung des Leitungswassers regional stark variieren. Beispielsweise liegt der Härtegrad in den Alpen deutlich tiefer als im Mittelland. Um mit kleinem Aufwand eine Vorstellung des möglichen Einflusses des Härtegrades des Wassers auf das Prüfergebnis zu erhalten, wurden Parallel-Untersuchungen mit zwei verschiedenen Wässern durchgeführt. Neben dem Leitungswasser aus Oberbuchsitzen (chemische Analysen dazu siehe Anhang 2) wurde deionisiertes Wasser verwendet. Am gleichen Mischgut wurden je 3 Einzelwerte bestimmt, deren Ergebnisse in der *Tab. 1* zusammengestellt sind.

Die Differenz der Mittelwerte beträgt  $0.004 \text{ Mg/m}^3$ . Dieser Unterschied in der Rohdichte entspricht beim daraus errechneten Hohlraumgehalt einer Differenz von 0.16 Vol.-%. Dies ist einerseits eine kleine Differenz, andererseits kann mit geringem Aufwand die Methode verbessert werden. Da der Hohlraumgehalt ein zentraler Kennwert eines verdichteten Mischgutes ist und er von einer Vielzahl weiterer Parameter abhängt, ist es angebracht alles daran zu setzen, um verfahrensbedingte Unterschiede zu eliminieren.

**Tab. 1** Vergleich der Rohdichten, ermittelt mit gekochtem Leitungswasser und mit gekochtem, deionisiertem Wasser

Prüfmittel	Wert 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 3 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta EW [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta MW [Mg/m <sup>3</sup> ]
gekochtes Leitungswasser	2.430	2.428	2.427	<b>2.428</b>	0.003	-0.004
gekochtes deion. Wasser	2.425	2.424	2.424	<b>2.424</b>	0.001	

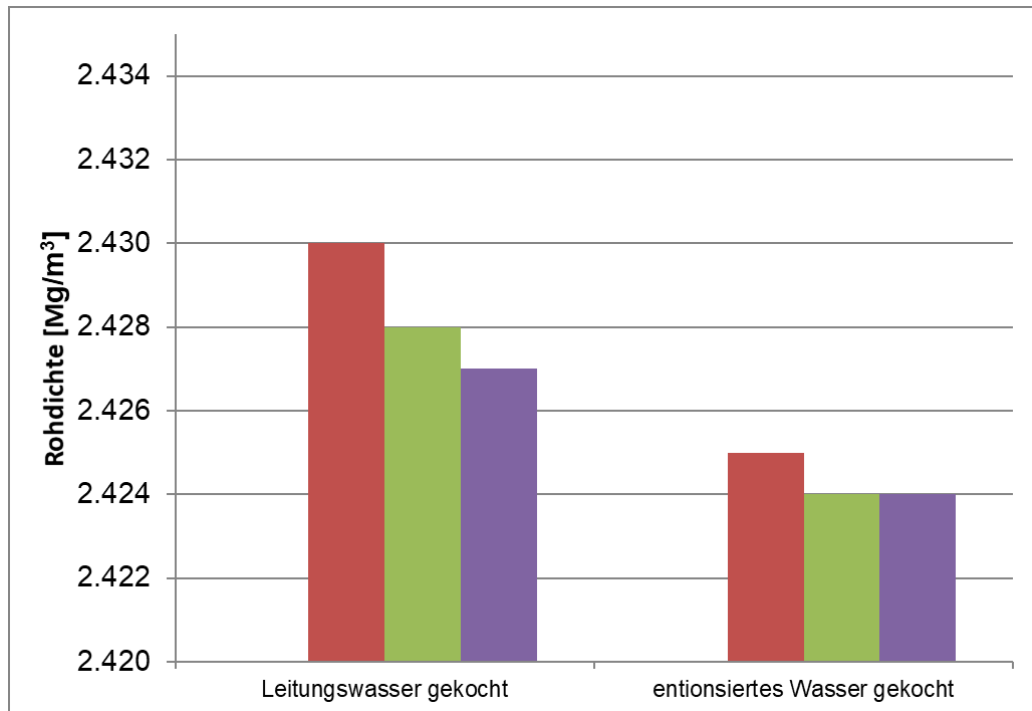


Abb.5 Vergleich der Rohdichten, ermittelt mit gekochtem Leitungswasser und mit gekochtem, deionisiertem Wasser

**Fazit:**

Unter Berücksichtigung der kleineren Streuung der Einzelwerte (delta EW) bei den Ergebnissen mit deionisiertem Wasser, wurde für die anschliessende Durchführung der Ringversuche die Verwendung von deionisiertem Wasser vorgeschrieben. Der Unterschied der beiden Mittelwerte ( $0.004 \text{ Mg/m}^3$ ) entspricht etwa einer Differenz im Hohlraumgehalt von 0.15 Vol.-%, was als vernachlässigbar betrachtet wurde.

## 3.2 Einfluss der Granulation

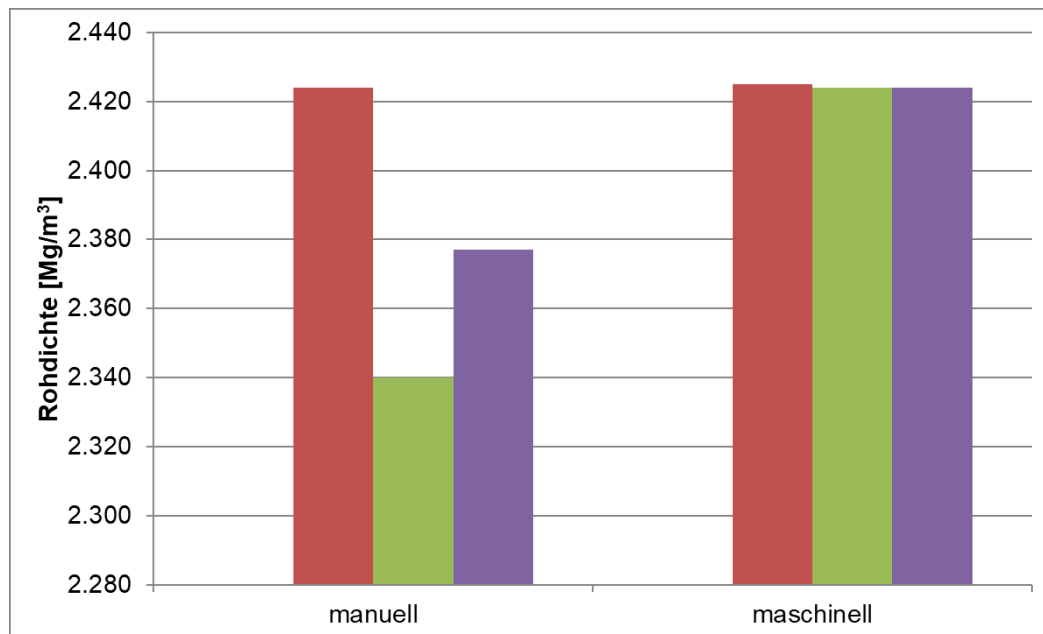
Betreffend der Granulation ist in der Norm SN 670 405 (Pkt 6.2) lediglich folgender Text festgehalten: „Geeignete Werkzeuge, um die Proben zu zerbröckeln und zu zerlegen, z.B.Spachtel.“

In der deutschen Technischen Prüfvorschrift für Asphalt (TP Asphalt-StB) Teil 5 „Rohdichte mit Asphalt“ der FGSV [11] wird darauf hingewiesen, dass die Granulation auch maschinell erfolgen kann. Daher wurde im Folgenden untersucht, wie sich die Art der Granulation auf die Rohdichtebestimmung mit Wasser auswirkt. Hierzu wurde eine Mischgutprobe händisch und eine weitere Probe maschinell granuliert.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Art der Granulation einen wesentlichen Einfluss auf das Prüfergebnis hat. Der Mittelwert der drei Einzelwerte liegt bei der maschinellen Granulation um  $0.044 \text{ Mg/m}^3$  höher als bei der manuellen (siehe Tab. 2 und Abb.6). Auffallend ist auch die deutlich grössere Streuung der Einzelwerte bei der manuellen Granulation. Der maximale Unterschied der drei Einzelwerte liegt bei  $0.084 \text{ Mg/m}^3$ , was einem Unterschied im berechneten Hohlraumgehalt von ca. 3.4 Vol.-% entsprechen würde. Derart grosse Unterschiede sind für die Baupraxis völlig inakzeptabel. Es erstaunt auch nicht, dass der Wert nach der maschinellen Granulation deutlich höher liegt als bei der manuellen. Es ist plausibel, dass die maschinelle Vorbereitung des Mischgutes einen besseren Aufschluss ermöglicht und somit die Luft besser aus der Probe entweichen kann, als es bei der manuellen Granulation der Fall ist.

**Tab. 2** Vergleich der Rohdichten nach manueller und maschineller Granulation des Mischgutes

Granulation	Wert 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 3 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta EW [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta MW [Mg/m <sup>3</sup> ]
manuell	2.424	2.340	2.377	<b>2.380</b>	0.084	0.044
maschinell	2.425	2.424	2.424	<b>2.424</b>	0.001	

**Abb.6** Vergleich der Rohdichten nach manueller und maschineller Granulation des Mischguts**Fazit:**

Im Hinblick auf die Ausarbeitung des Schweizer Vorwortes zur EN 12697-5 [10] wird es erforderlich sein, eine maschinelle Granulation der Asphaltprobe zu fordern. Für die Durchführung des Ringversuches wurde dies angeordnet.

### 3.3 Einfluss der Vibration

In der Norm SN 670 405 (Pkt. 9.2.4) ist in einer Anmerkung festgehalten, dass es während des Anlegens des Teilvakuums wichtig sei, auch die Luft aus den zugänglichen Poren auszutreiben. Es wird dabei vorgeschlagen, dies beispielsweise durch Rühren, Rotation oder Vibration auf einem Vibrationstisch zu bewerkstelligen. In der folgenden Untersuchung wurden drei Vorgehensweisen miteinander verglichen:

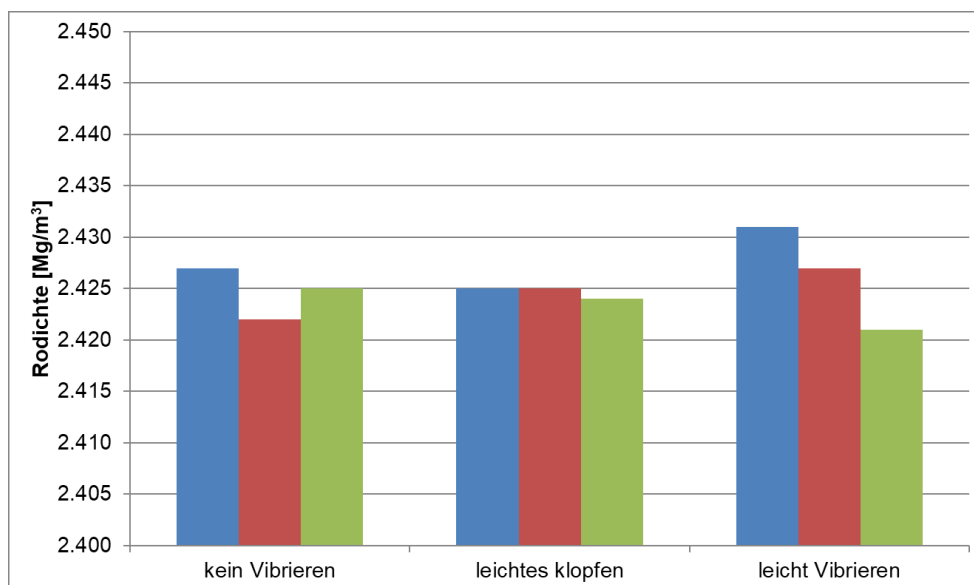
- Keine Vibration des Pyknometers
- Leichtes Vibrieren des Vakuumgefäßes (mit Pyknometer) durch Klopfen an der Aussenwand
- Leichtes Vibrieren des Vakuumgefäßes auf einem Siebrüttler bei sehr geringer Frequenz

Entsprechend den Folgerungen aus den vorangehenden Untersuchungen wurden die Proben maschinell granuliert und es wurde entionisiertes Wasser verwendet.

Die Auswertung der Parameterstudie ergab, dass die Art der Vibration keinen grossen Einfluss auf den Mittelwert der Rohdichte hat (siehe *Tab. 3* und *Abb.7*). Die Mittelwerte der Rohdichte nach den drei verschiedenen Arten der Vibration liegen um lediglich 0.001 Mg/m<sup>3</sup> auseinander. Bemerkenswert ist, dass bei der leichten Vibration auf dem Siebrüttler die Einzelwerte stärker streuten als bei den beiden anderen Verfahren (ohne Vibration und mit leichtem Klopfen des Vakuumbehälters).

**Tab. 3** Vergleich der Rohdichten nach unterschiedlichen Verfahren zur Entlüftung der Probe

Vibration	Wert 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 3 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta EW [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta MW [Mg/m <sup>3</sup> ]
kein Vibrieren	2.427	2.422	2.425	<b>2.425</b>	0.005	0.009
leichtes klopfen	2.425	2.425	2.424	<b>2.425</b>	0.001	
leicht Vibrieren	2.431	2.427	2.421	<b>2.426</b>	0.010	



**Abb.7** Vergleich der Rohdichten die nach unterschiedlichen Verfahren zur Entlüftung der Probe bestimmt wurden

#### Fazit:

Die Art der Vibration hat einen sehr geringen Einfluss auf den Mittelwert der Bestimmung der Rohdichte. Für die Durchführung des Ringversuches wurde festgelegt, dass die verbleibende Luft durch leichtes Klopfen am Vakuumgerät ausgetrieben wird.



### 3.4 Einfluss des Entspannungsmittels

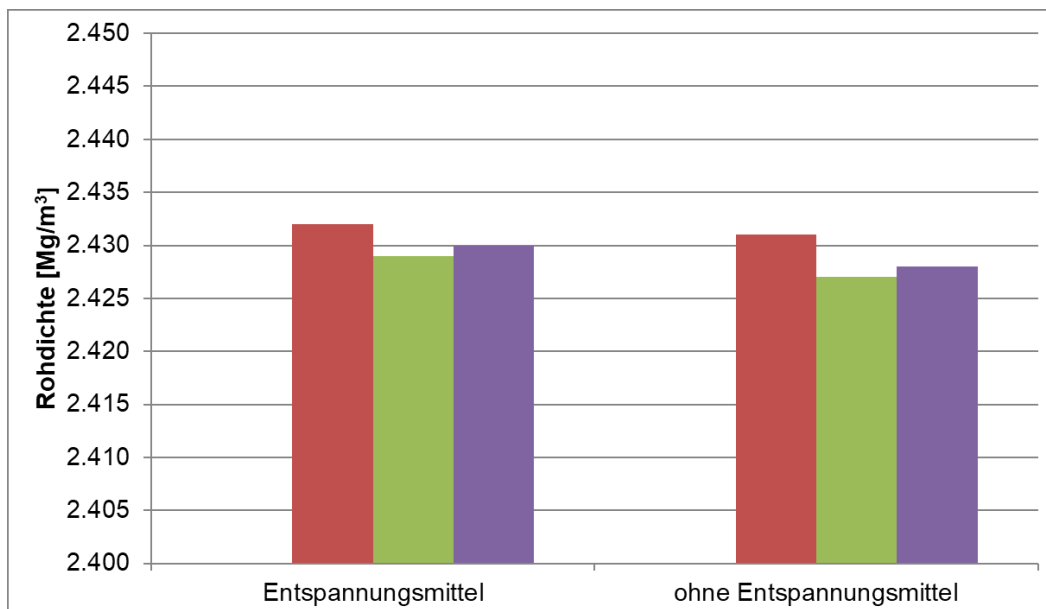
Bei der Bestimmung der Rohdichte eines Mischgutes in einer Flüssigkeit ist die Benetzung der Gesteinskörner ein entscheidender Erfolgsfaktor. Die Flüssigkeit – beim Wasser durch das Vakuum unterstützt - muss in der Lage sein in die Probe einzudringen um jeden Hohlraum auszufüllen und die Luft vollständig zu verdrängen. Die Benetzung der Oberfläche der Probe ist theoretisch von der Oberflächenspannung der Flüssigkeit abhängig. Aus diesem Grunde wurde im Folgenden untersucht, ob Entspannungsmittel - wie beispielsweise Tenside – einen Einfluss auf das Prüfergebnis haben.

In der Norm SN 670 405 (Pkt 5.2) ist festgehalten, dass als Mittel zur Entspannung von Wasser beispielsweise eine 7%-ige Lösung von Nonylphenolpolyglycoether verwendet werden kann. Generell können weitere Tenside zur Reduktion der Oberflächenspannung verwendet werden. Unsere Wahl fiel auf das Natriumhexametaphosphat, da dieses Entspannungsmittel in den meisten Labors bereits vorhanden ist. Dieses Mittel wird zur Reduktion der Oberflächenspannung bei der Durchführung einer Schlämmanalyse standardmässig verwendet. Die Dosierung des Natriumhexametaphosphat betrug 7%.

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen mit/ohne Entspannungsmittel (siehe *Tab. 4* und *Abb.8* ) zeigen, dass in beiden Fällen sehr ähnliche Rohdichten bestimmt wurden. Dies mag auf den ersten Blick erstaunen, doch ist zu bedenken, dass das Wasser durch den Kontakt mit der Probe rasch «verschmutzt» wird und dadurch die Oberflächenspannung ebenfalls sinkt. Die «Verschmutzung» des entionisierten Wassers führt zu einer Reduktion der Van-der-Waals-Kräfte und reduziert somit die Oberflächenspannung, was wiederum die Benetzung der Probe begünstigt.

**Tab. 4** Vergleich der Rohdichten, ermittelt mit und ohne Entspannungsmittel

Entspannungsmittel	Wert 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 3 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta EW [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta MW [Mg/m <sup>3</sup> ]
x	2.432	2.429	2.43	<b>2.430</b>	0.003	0.001
	2.431	2.427	2.428	<b>2.429</b>	0.004	



**Abb.8** Vergleich der Rohdichten, ermittelt mit und ohne Entspannungsmittel

#### Fazit:

Die Verwendung eines Mittels zur Reduktion der Oberflächenspannung ist nicht erforderlich.

### 3.5 Zusammenfassung

Aus der kleinen Parameterstudie wurden wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf die Einführung der Prüfmethode gewonnen. Bei der Erarbeitung des nationalen Anhangs zur EN 12697-5 [10] werden folgende Punkte zu berücksichtigen sein. Diese Punkte wurden bei der Durchführung des Ringversuches (siehe Kapitel 6) berücksichtigt:

- Es ist deionisiertes (entmineralisiert) Wasser zu verwenden.
- Bei der Vorbereitung der Mischgutprobe genügt ein manuelles Granulieren nicht; die Probe muss zwingend maschinell granuliert werden.
- Während der Vakuumphase ist kein intensives, maschinelles Vibrieren erforderlich; ein gelegentliches Klopfen am Vakuumgefäß reicht aus.
- Die Verwendung von Tensiden zur Reduktion der Oberflächenspannung ist nicht erforderlich.

## 4 Modellversuche Porosität

### 4.1 Allgemeines

Beim Vergleich der beiden Flüssigkeiten, welche zur Bestimmung der Rohdichte verwendet werden fällt auf, dass das Lösemittel neben der reinen Verdrängung der Luft aus der Probe auch eine andere Wirkung hat, nämlich das Auflösen des Bindemittels. Dadurch werden die einzelnen Gesteinskörnungen des Mischgutes vom Bindemittelfilm befreit; es entsteht ein direkter Kontakt zwischen der Oberfläche der Gesteinskörnungen und der Flüssigkeit. Im Unterschied zur Verwendung von Wasser kann somit das Lösemittel auch die Poren, welche sich an der Oberfläche der Gesteinskörnungen befinden, erschliessen. Ob die Porosität der Gesteinskörnungen die Bestimmung der Rohdichte beeinflusst, oder ob dies ein vernachlässigbarer Nebeneffekt ist, wird im Folgenden untersucht.

Zur Beurteilung des Einflusses der Porosität der Gesteinskörnungen auf die Bestimmung der Rohdichte wurde deren Wasseraufnahme gemäss SN 670 903-6 [12] als Kriterium gewählt. Die Auswertung der im eigenen Labor zur Verfügung stehenden Daten aus den Routineprüfungen zeigte, dass die Wasseraufnahme der üblicherweise in der Schweiz zur Aufbereitung von Mischgut verwendeten Gesteinskörnungen unterhalb von 1 Masse-% liegt. Beim typischen «Mittelland-Kies» beträgt der Wert ca. 0.5 Masse-%. Da zunehmend auch Recyclingbaustoffe sowie künstlich hergestellte Gesteinskörnungen zur Aufbereitung von Asphaltmischgut verwendet werden, wurden Gesteinskörnungsgemische gewählt, deren Wasseraufnahme deutlich oberhalb des bei natürlichen Gesteinskörnungen üblichen Bereiches liegen. Um dies zu erreichen wurden Mischungen mit EOS (Elektro Ofen Schlacke) erstellt, da bekannt ist, dass die Wasseraufnahme von EOS bis zu ca. 2.5 Masse-% betragen kann (siehe ANHANG 3).

### 4.2 Herstellung der Mischungen

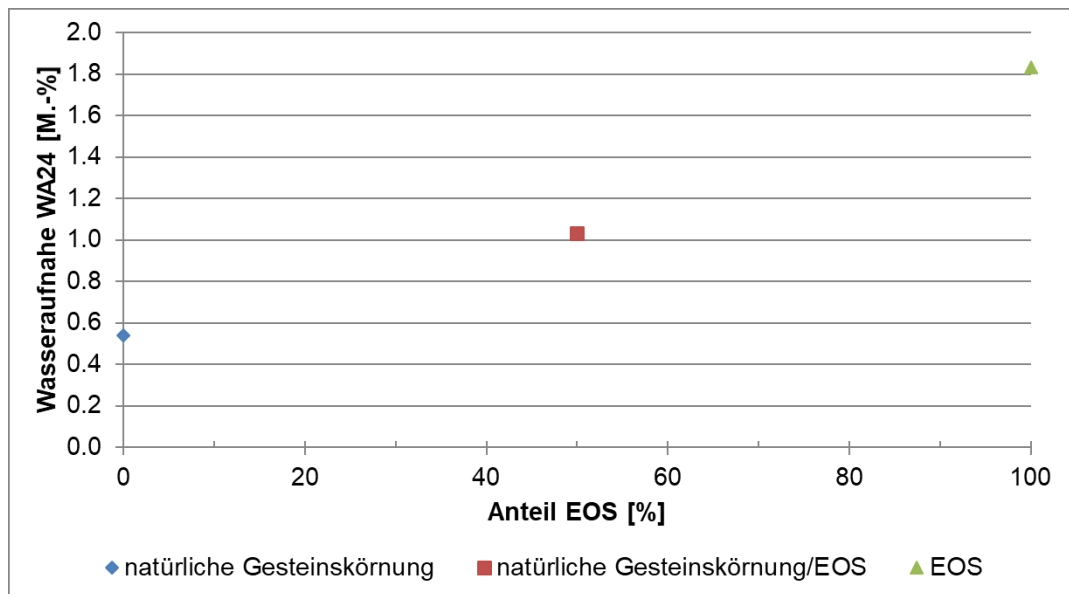
Es wurden drei verschiedene Mischungen AC 16 in einem Labormischer mit beheizter Aussenwand hergestellt, welche sich einzig bezüglich der verwendeten Gesteinskörnungen unterschieden. Als Bindemittel wurde ein B 50/70 gewählt. Da das EOS eine deutlich höhere Rohdichte als die natürlichen Gesteinskörnungen aufweist, musste der Bindemittelgehalt bei den EOS-haltigen Modellmischungen derart angepasst werden, dass alle Mischungen ein vergleichbares Volumen an Bitumen enthalten. Die Mischungen sind im Weiteren wie folgt bezeichnet:

- Mischung NN:  
Natürliche Gesteinskörnung; Bindemittelgehalt 4.8 Masse-%
- Mischung NE:  
50% natürliche Gesteinskörnung / 50 % EOS; Bindemittelgehalt 4.3 Masse-%
- Mischung EE:  
100 % EOS; Bindemittelgehalt 3.9 Masse-%

## 4.3 Untersuchungen an den Modellmischungen

### 4.3.1 Bestimmung der Wasseraufnahme

Als Hinweis auf die Porosität der Gesteinskörnungsgemische wurde an den trockenen Gesteinskörnungen der Mischungen NN, NE und EE die Wasseraufnahme nach 24 Stunden gemäss SN 670 903-6 [12] bestimmt. Dabei konnte die erwartete Reihenfolge der drei Mischungen aufgezeigt werden. Wie der *Abb.9* zu entnehmen ist, besteht eine lineare Abhängigkeit der Wasseraufnahme vom Anteil EOS in der Mischung.



*Abb.9 Wasseraufnahme der Gesteinskörnungsgemische der Mischungen NN (100 % natürliches Gestein), NE (50 % natürliches Gestein / 50 % EOS) und E (100 % EOS).*

### 4.3.2 Bestimmung der Rohdichte

An den drei Modellmischungen wurde je eine Doppelbestimmung der Rohdichte mit Toluol und mit Wasser durchgeführt. Die in *Tab. 5* aufgeführten Ergebnisse werden wie folgt kommentiert:

- Generell werden mit Lösemittel höhere Werte für die Rohdichte bestimmt, als mit Wasser.
- Die Unterschiede in den Einzelwerten sind für Toluol und Wasser etwa gleich, d.h. die Streuung der Einzelwerte ist unabhängig von der Art des Prüfmittels
- Die Unterschiede zwischen den mit Wasser oder Toluol bestimmten Rohdichten nehmen mit steigendem Anteil EOS (zunehmender Porosität) zu. Bei der Mischung aus 100 % EOS (Mischung EE) beträgt die Differenz  $0.037 \text{ Mg/m}^3$ , bei der Mischung aus 100 % natürlichen Gesteinskörnungen (Mischung NN)  $0.005 \text{ Mg/m}^3$ . Die Differenz des Wertes der Rohdichten ist an sich für die Beurteilung der Prüfmethode nicht entscheidend, sondern die sich daraus ergebenden Differenzen in der Bestimmung des Hohlraumgehaltes. Zwischen der Bestimmung der Rohdichten mit Wasser bzw. Toluol ergeben sich bei der Mischung NN eine Differenz von 0.2 Vol.-%, der Mischung NE 0.5 Vol.-% und bei der Mischung EE 1.4 Vol.-%.

**Tab. 5** Vergleich der Rohdichten der drei Modellmischungen

Mischung	Verhältnis natürliche GK/EOS	Flüssigkeit	Wert 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	MW [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta EW [Mg/m <sup>3</sup> ]	delta MW [Mg/m <sup>3</sup> ]
natürliche GK	100/0	deion. Wasser	2.488	2.485	<b>2.487</b>	0.003	0.005
natürliche GK	100/0	Toluol	2.494	2.489	<b>2.492</b>	0.005	
natürliche GK + EOS	50/50	deion. Wasser	2.913	2.930	<b>2.922</b>	0.017	0.014
natürliche GK + EOS	50/50	Toluol	2.946	2.926	<b>2.936</b>	0.020	
EOS	0/100	deion. Wasser	3.397	3.403	<b>3.400</b>	0.006	0.037
EOS	0/100	Toluol	3.439	3.434	<b>3.437</b>	0.005	

**Fazit:**

Bei der Bestimmung der Rohdichte von Mischgut aus natürlichen Gesteinskörnungen ist der Einfluss der Porosität der Gesteinskörnungen sehr klein und kann vernachlässigt werden. Falls jedoch künstlich hergestellte Gesteinskörnungen und/oder Recyclingbaustoffe, wie beispielsweise Betongranulat, verwendet werden, müsste dem Einfluss der Porosität Rechnung getragen werden. Dies könnte beispielsweise durch eine Anpassung der Sollwerte für den Hohlraumgehalt erfolgen.



## 5 Baustellenmischungen Walzasphalt

Aus den laufenden Untersuchungen des Baustoffprüflabors wurde eine breite Auswahl unterschiedlicher Mischgutsorten getroffen. Diese Mischgutsorten unterschieden sich bezüglich des Bindemittelgehaltes, der verwendeten Bindemittelsorte, des Grösstkornes sowie des Hohlraumgehaltes. In der Übersichtstabelle (Tab. 6) sind die wesentlichen Charakteristiken dieser Mischgutsorten aufgeführt. Die Bindemittelsorte wurde aufgeführt, denn es ist denkbar, dass bei einem PmB das Wasser die Poren im Mischgut weniger gut erreichen könnte, als bei einem Strassenbaubitumen. Auch könnte man sich vorstellen, dass bei grösseren Bindemittelfilm-Dicken (oft bei PmB der Fall) Unterschiede in der Bestimmung der Rohdichte mit Wasser bzw. mit Toluol festgestellt werden könnten.

**Tab. 6** Verwendete Mischgutsorten für die Vergleichsuntersuchungen

Mischgutsorte	Löslicher Bindemittel-Gehalt [M.-%]	Hohlraumgehalt [Vol.-%]	Bindemittel
AC MR 8	5.78	5.8	PmP-E 45/80-65 Sübit E60
SDA 8 A	5.82	7.8	PmP-E 45/80-65
SMA 11	6.52	3.9	PmP-E 45/80-65 Grisolast E60
PA 11	5.70	22.4	PmP-E 45/80-65 Sübit E60
AC Rail 16	5.47	2.5	B160/220
AC EME 22 C1	4.98	3.0	B 10/20
AC EME 22 C2	5.03	3.2	B 10/20

### 5.1 Rohdichte mit Toluol

In der folgenden Tab. 7 sind die Rohdichten wiedergegeben, welche mit dem Lösemittel Toluol bestimmt wurden.

**Tab. 7** Übersicht der mit Toluol bestimmten Rohdichten (Doppelbestimmung)

Mischgutsorte	1. Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	2. Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\Delta W$	$\Delta W \%$
AC MR 8	2.242	2.445	2.444	0.003	0.74
SDA 8 A	2.424	2.428	2.426	0.004	0.16
SMA 11	2.413	2.412	2.413	0.001	0.04
PA 11	2.440	2.448	2.444	0.008	0.33
AC Rail 16	2.457	2.464	2.461	0.007	0.28
AC EME 22 C1	2.499	2.484	2.492	0.015	0.60
AC EME 22 C2	2.480	2.485	2.483	0.005	0.20

Die Wiederholpräzision der Bestimmung der Rohdichte mit Lösemittel beträgt 0.019 Mg/m<sup>3</sup>. Alle Werte  $\Delta W$  (Unterschied zweier Bestimmungen) liegen unterhalb der Wiederholpräzision. Bei den feinkörnigen Mischgutsorten liegt die Differenz der beiden Bestimmungen ( $\Delta W$ ) mehrheitlich deutlich niedriger (0.001 bis 0.008) als bei den grobkörnigen Mischungen.

## 5.2 Rohdichte mit Wasser

Die Rohdichte mit Wasser wurde gemäss dem im Kapitel 2.1.2. beschriebenen Verfahren bestimmt, dh.

- mit deionisiertem, luftfrei gekochtem Wasser ohne Entspannungsmittel (Tensid oder ähnliches)
- mit maschineller Granulation
- mit leichtem Klopfen am Vakuumbehälter um die Luft auszutreiben

**Tab. 8** Übersicht der mit Wasser bestimmten Rohdichten (Doppelbestimmung)

Mischgutsorte	1. Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	2. Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\Delta W$	$\Delta W\%$
AC MR 8	2.436	2.441	2.439	0.005	0.20
SDA 8 A	2.427	2.419	2.423	0.008	0.33
SMA 11	2.412	2.412	2.412	0.000	0.00
PA 11	2.441	2.435	2.438	0.006	0.25
AC Rail 16	2.461	2.453	2.457	0.008	0.57
AC EME 22 C1	2.472	2.483	2.478	0.011	0.64
AC EME 22 C2	2.475	2.491	2.483	0.016	0.80

Die Wiederholpräzision der Bestimmung der Rohdichte mit Wasser beträgt 0.011 Mg/m<sup>3</sup>. Mit Ausnahme der Werte beim Mischgut AC EME C2 liegen alle Werte unterhalb der Wiederholpräzision.



### 5.3 Vergleich der verschiedenen Rohdichten

Im Kapitel 8 werden die Rohdichten des gesamten Projektes einander gegenübergestellt und miteinander verglichen.; es sind dies:

- 13 verschiedene Mischgutsorten
- Rohdichte mit Wasser bestimmt
- Rohdichte mit Lösemittel bestimmt
- Rohdichte berechnet

### 5.4 Zusammenfassung und Folgerungen

- Bei den untersuchten Mischgutsorten zeigte sich sowohl für die Rohdichtebestimmung mit Toluol als auch mit Wasser keine Abhängigkeiten zur Korngrösse. Die maximale Differenz bei der Bestimmung mit Toluol betrug  $0.015 \text{ Mg/m}^3$ , diejenige mit Wasser betrug  $0.016 \text{ Mg/m}^3$ .
- Bei der Rohdichtebestimmung mit Wasser zeigte sich, dass beiden grobkörnigen Mischgutsorten AC EME 22 C1 und AC EME 22 C2 die Wiederholpräzision teilweise schlechter ist als bei der Bestimmung mit Toluol. Im Fall des AC EME 22 C2 wird sie sogar überschritten.

**Fazit:**

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen kann gefolgert werden, dass sich Wasser als Prüfmittel für die Rohdichtebestimmung von Asphaltmischgut eignet.



## 6 Gussasphalt

Im Unterschied zu Asphaltmischungen, welche nach dem Betonprinzip mit einer Fullerkurve konzipiert sind, enthält Gussasphalt sehr viel mehr Füller, Sand und Bindemittel. Dieser Mastix (Bindemittel und Feinanteile) enthält theoretisch keine Hohlräume, sodass der Mastix zur Bestimmung der Rohdichte nicht vollständig erschlossen werden muss. Trotzdem wurde untersucht, ob der hohe Anteil feinkörniger Gesteinskörnungen sowie der hohe Bindemittelgehalt die Bestimmung der Rohdichte mit Wasser verfälschen könnten. An zwei verschiedenen MA-Mischungen wurde daher die Rohdichte sowohl mit Toluol als auch mit Wasser bestimmt; die Ergebnisse sind in der *Tab. 9* zusammengefasst.

**Tab. 9** Vergleich der Rohdichten von Gussasphalt; bestimmt mit Toluol und mit Wasser

Mischgut-Sorte	Flüssigkeit	1.Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	2.Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	3.Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	4.Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	5.Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	6.Wert [Mg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert [Mg/m <sup>3</sup> ]	Δ Toluol-Wasser [Mg/m <sup>3</sup> ]
MA8 H	Toluol	2.403	2.401	2.400	2.399	2.397	2.395	2.399	0.006
	Wasser	2.399	2.394	2.396	2.391	2.390	2.390	2.393	
MA11 H	Toluol	2.416	2.410	2.411	2.405	2.413	2.405	2.410	0.008
	Wasser	2.406	2.404	2.400	2.399	2.403	2.400	2.402	

**Fazit:**

Auch bei sehr dichten Mischgutsorten kann die Rohdichte problemlos mit Wasser bestimmt werden. Analog zu den bisherigen Feststellungen liegt der Wert der Rohdichte mit Wasser etwas tiefer.



## 7 Ringversuch

Die Durchführung eines Ringversuches wurde aus zwei Gründen vorgesehen. Einerseits ging es darum die Vergleichspräzision (verschiedene Prüfer, verschiedene Prüfeinrichtungen) der Bestimmung der Rohdichte mit Wasser zu bestimmen, andererseits sollte die Prüfmethode bei möglichst vielen Prüfstellen der Schweiz eingeführt werden. Da die meisten Prüfstellen diese Methode noch nicht eingeführt hatten, wurde zu Schulungszwecken ein Vor-Ringversuch durchgeführt. Im Rahmen dieses Vor-Ringversuches wurde sichergestellt, dass die Prüfstellen die detailliert besprochene Arbeitsweise umsetzten und erste Erfahrungen sammelten. Nur so konnte für den anschliessenden Ringversuch davon ausgegangen werden, dass jede beteiligte Prüfstelle auch über entsprechende Erfahrungen in der Anwendung der Methode besass. Der Vor-Ringversuch wurde mit einem AC 11 L, der anschliessende Ringversuch mit einem SMA 8 und einem AC T 32 S durchgeführt. Es nahmen insgesamt 10 Prüfstellen an diesem Ringversuch teil. In der *Tab. 10* sind die Labors, welche am Ringversuch teilgenommen haben aufgeführt. Die Reihenfolge der Labors in *Tab. 11* hat keinen Bezug auf die Liste der Namen in *Tab. 10*.

**Tab. 10** Liste der teilnehmenden Labors in alphabetischer Reihenfolge.

Name	Ort
BSL AG	Uetendorf
Consultest AG	Ohringen
EMPA	Dübendorf
ERTEC SA	Satigny
IMP Bautest AG	Oberbuchsiten
Infralab SA	Servion
Labor ZH	Zürich
Tecnotest AG	Rüschlikon
ViaTec AG	Winterthur
Walo AG	Schlieren

**Tab. 11** Angaben der Labors zur Art der gewählten Methode für die Granulation sowie zum verwendeten Lösemitteln (die Reihenfolge der Labors hat keinen Bezug zur Namensliste in *Tab. 10*)

Labor Nr.	Maschinelle Granulation	Verwendetes organisches Lösemittel	Prüfstelle für akkreditiert	Versuch
1	Ja	Toloul	Ja	
2	k.A.	Toluol	Ja	
3	Ja	k.A.	Ja	
4	Ja	Toluol	Nein	
5	Ja	k.A.	Ja	
6	Ja	Toluol	Ja	
7	Nein	k.A.	Ja	
8	k.A.	Toluol	Ja	
9	Ja	k.A.	Ja	
10	Ja	k.A.	JA	

## 7.1 Vorversuch mit AC 11 L

Die 10 teilnehmenden Labors bestimmten die Rohdichte eines Mischgutes AC 11 L sowohl mit Wasser als auch mit organischen Lösemitteln. Pro Prüflüssigkeit wurden Dreifachbestimmungen durchgeführt (siehe *Tab. 12* und *Tab. 13* und *Abb.10* ). Aus der Dreifachbestimmung wurde jeweils der Mittelwert für die Rohdichten berechnet.

Analog zu den Beobachtungen in Kapitel 5 konnte auch hier festgestellt werden, dass die Bestimmung der Rohdichte mit Wasser niedrigere Werte ergibt. So lag der Mittelwert der Bestimmung mit Wasser bei  $2.421 \text{ Mg/m}^3$ , während er bei der Bestimmung mit organischen Lösemittel  $2.428 \text{ Mg/m}^3$  betrug.

**Tab. 12** Vergleich der Mittelwerte (3-er Serien) der Rohdichten, bestimmt mit organischen Lösemitteln und mit Wasser

Labor	Mittelwerte [ $\text{Mg/m}^3$ ]	
	org. LM	Wasser
1	2.428	2.419
2	2.418	2.417
3	2.437	2.434
4	2.421	2.416
5	2.440	2.430
6	2.436	2.421
7	2.441	2.438
8	2.418	2.409
9	2.416	2.413
10	2.423	2.414

<b>Min</b>	2.416	2.409
<b>Max</b>	2.441	2.438
<b>MW</b>	2.428	2.421
<b>Stabw</b>	0.010	0.010

<b>Vergl-Präz</b>	0.027	0.027
<b>O-G</b>	2.455	2.448
<b>U-G</b>	2.400	2.394

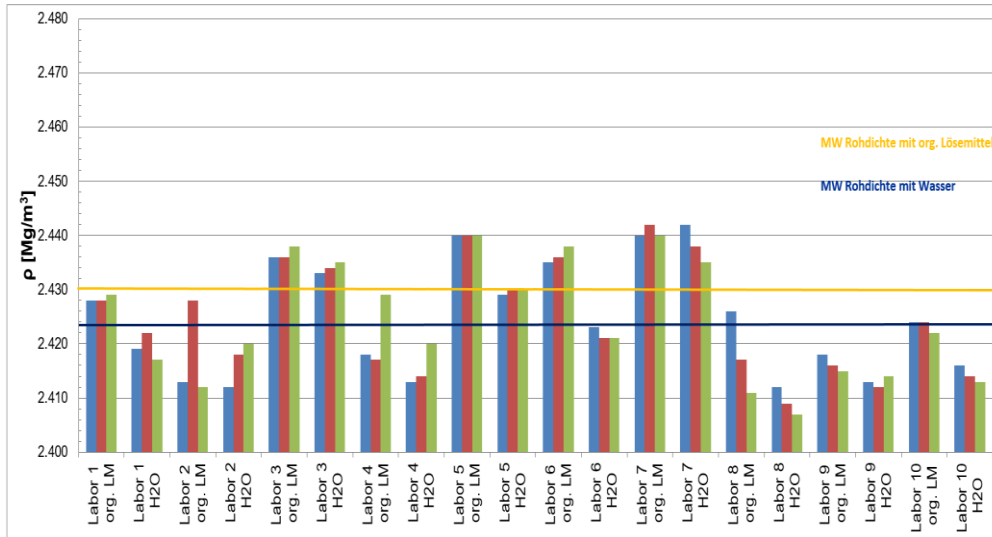


Abb.10 Einzelwerte der Rohdichten aus dem Vor-Ringversuch (AC 11 L)

Generell kann festgestellt werden, dass die Streuung der Einzelwerte bei der Bestimmung mit organischen Lösemittel etwas grösser war als bei der Bestimmung mit Wasser. Berechnet man aus den Angaben der Tab. 13 die mittlere Standardabweichung, so liegt diejenige für die Rohdichte mit Wasser ( $0.002 \text{ Mg/m}^3$ ) etwas tiefer als diejenige mit organischen Lösemitteln ( $0.003 \text{ Mg/m}^3$ ).

Die Vergleichspräzision R wurde an Hand der untenstehenden Formel (G l. 1) berechnet, wobei  $\sigma_R$  die Standardabweichung ist.

$$R=2.77 \times \sigma_R \text{ (Gl. 1)}$$

Beide Verfahren zeigten den gleichen Wert, was etwas erstaunlich ist, liegt doch die in der Norm festgelegte Vergleichspräzision für die Bestimmung mit Wasser tiefer. Es ist anzunehmen, dass die fehlende Praxis der Prüfstellen mit der Bestimmung der Rohdichte mit Wasser hier eine Rolle gespielt hat.

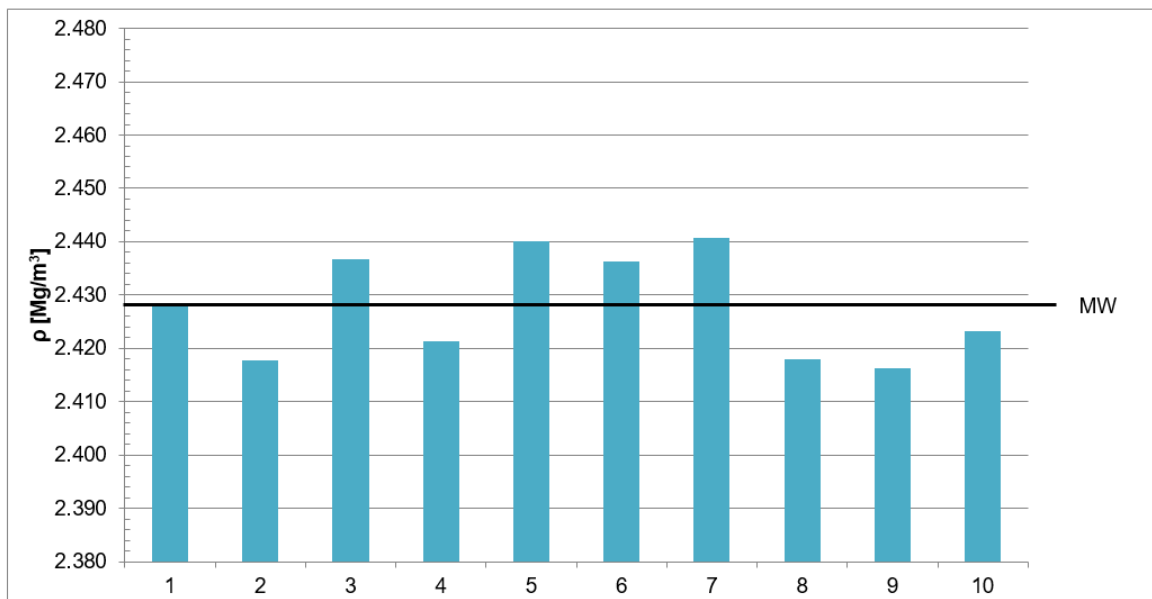


Abb.11 Rohdichte mit organischen Lösemitteln an einem AC 11 L; Einzelwerte des Vor-Ringversuches; alle Labors liegen innerhalb der Vergleichspräzision

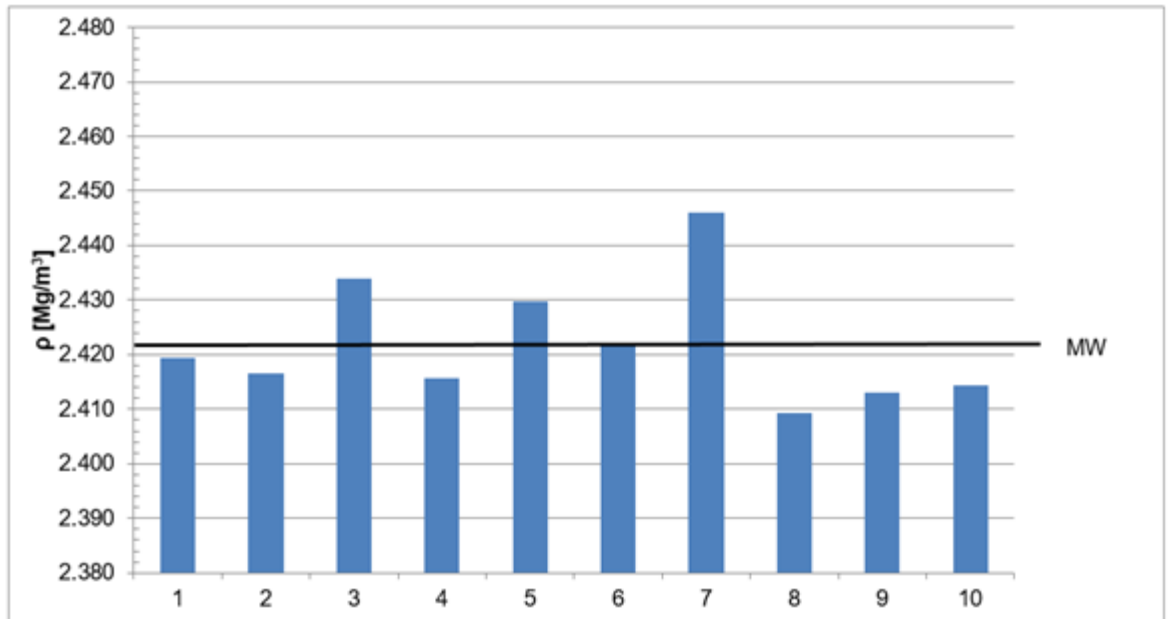


Abb.12 Rohdichte mit Wasser an einem AC 11 L; Einzelwerte des Vor-Ringversuches; alle Labors liegen innerhalb der Vergleichspräzision

#### Zusammenfassung des AC 11 L Vor-Ringversuchs

- Die vorgängige Besprechung der Durchführung des Verfahrens sowie die detaillierte Erläuterung der einzelnen Arbeitsschritte mit allen Labors erwies sich als sehr wertvoll, lag doch die Wiederholpräzision nur bei 2 Labors oberhalb des in der Norm festgelegten Wertes. Einschränkend ist allerdings zu erwähnen, dass die Wiederholpräzisionen nur mit 3 Einzelwerten berechnet wurden.
- Sämtliche Labors liegen innerhalb der Vergleichspräzision.
- Es zeigte sich, dass das Verfahren mit Toluol tendenziell eine grössere Streuung der Einzelwerte aufwies als dasjenige mit Wasser



**Tab. 13** Vergleich der Rohdichten bestimmt mit organischen Lösemittel und Wasser (rot markiert sind die Überschreitungen der in der Norm festgelegten Wiederholpräzision)

Nr	Mischung	Lösungsmittel	Wert 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 3 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert [Mg/m <sup>3</sup> ]	Stabw	delta Toluol - Wasser	Δ EW Toluol	Δ EW H2O	Wiederholpräz
1	1-AC 11 L	org. LM	2.428	2.428	2.429	<b>2.428</b>	0.001	0.009	0.001	0.005	0.002
	1-AC 11 L	H2O	2.419	2.422	2.417	<b>2.419</b>	0.003				0.007
2	2-AC 11 L	org. LM	2.413	2.428	2.412	<b>2.418</b>	0.009	0.001	0.016	0.008	0.025
	2-AC 11 L	H2O	2.412	2.418	2.420	<b>2.417</b>	0.004				0.012
3	3-AC 11 L	org. LM	2.436	2.436	2.438	<b>2.437</b>	0.001	0.003	0.002	0.002	0.003
	3-AC 11 L	H2O	2.433	2.434	2.435	<b>2.434</b>	0.001				0.003
4	4-AC 11 L	org. LM	2.418	2.417	2.429	<b>2.421</b>	0.007	0.006	0.012	0.007	0.018
	4-AC 11 L	H2O	2.413	2.414	2.420	<b>2.416</b>	0.004				0.010
5	5-AC 11 L	org. LM	2.440	2.440	2.440	<b>2.440</b>	0.000	0.010	0.000	0.001	0.000
	5-AC 11 L	H2O	2.429	2.430	2.430	<b>2.430</b>	0.001				0.002
6	6-AC 11 L	org. LM	2.435	2.436	2.438	<b>2.436</b>	0.002	0.015	0.003	0.002	0.004
	6-AC 11 L	H2O	2.423	2.421	2.421	<b>2.422</b>	0.001				0.003
7	7-AC 11 L	org. LM	2.440	2.442	2.440	<b>2.441</b>	0.001	0.002	0.002	0.007	0.003
	7-AC 11 L	H2O	2.442	2.438	2.435	<b>2.438</b>	0.004				0.010
8	8-AC 11 L	org. LM	2.426	2.417	2.411	<b>2.418</b>	0.008	0.009	0.015	0.005	0.021
	8-AC 11 L	H2O	2.412	2.409	2.407	<b>2.409</b>	0.003				0.007
9	9-AC 11 L	org. LM	2.418	2.416	2.415	<b>2.416</b>	<b>0.002</b>	0.003	0.003	0.002	0.004
	9-AC 11 L	H2O	2.413	2.412	2.414	<b>2.413</b>	0.001				0.003
10	10-AC 11 L	org. LM	2.424	2.424	2.422	<b>2.423</b>	0.001	0.009	0.002	0.003	0.003
	10-AC 11 L	H2O	2.416	2.414	2.413	<b>2.414</b>	0.002				0.004

## 7.2 Ringversuch SMA 8

Die 10 am Ringversuch teilnehmenden Labors wurden mit der Aufgabe betraut, an einem SMA 8 mit einem Bindemittelgehalt von 6.69 M.-% mit einer 6-fachen Bestimmung jeweils die Rohdichte mit Wasser und anschliessend mit organischen Lösemittel zu bestimmen. Die 6-fache Bestimmung der Rohdichte hatte zum Ziel die Wiederholpräzision (gleicher Prüfer, gleiche Prüfeinrichtung) zu berechnen. Die Vergleichspräzision (verschiedene Prüfer, verschiedene Prüfeinrichtungen) wurde aus den Daten der 10 Labors berechnet.

### 7.2.1 SMA 8 – Rohdichte mit Wasser

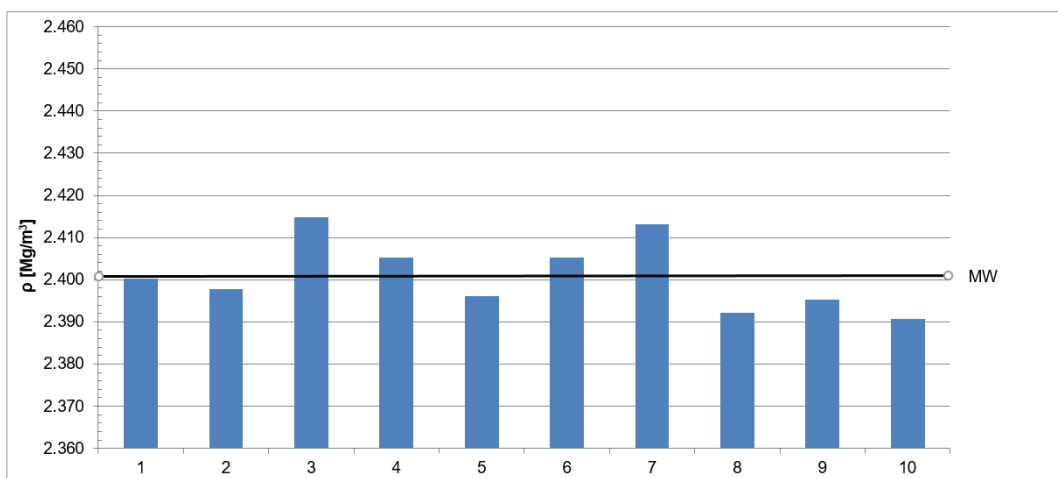
Die Auswertung der Rohdichtebestimmung des SMA 8 mit Wasser ergab einen Mittelwert von 2.401 Mg/m<sup>3</sup> (siehe Tab. 14 und Abb. 14 )

**Tab. 14** Rohdichten SMA 8 bestimmt mit Wasser (rot markiert sind die Überschreitungen der in der Norm festgelegten Wiederholpräzision)

Labor	Mischung	Lösungsmittel	Wert 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 3 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 4 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 5 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 6 [Mg/m <sup>3</sup> ]	MW [Mg/m <sup>3</sup> ]	Δ EW [Mg/m <sup>3</sup> ]	Stabw σ <sub>r</sub> [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wiedpräz r
1	1-SMA 8	H2O	2.398	2.397	2.403	2.401	2.400	2.402	2.400	0.006	0.002	0.006
2	2-SMA 8	H2O	2.397	2.398	2.397	2.399	2.398	2.398	2.398	0.002	0.001	0.002
3	3-SMA 8	H2O	2.417	2.413	2.416	2.415	2.411	2.417	2.415	0.004	0.002	0.007
4	4-SMA 8	H2O	2.408	2.408	2.404	2.398	2.406	2.407	2.405	0.004	0.004	0.011
5	5-SMA 8	H2O	2.393	2.398	2.401	2.391	2.398	2.395	2.396	0.008	0.004	0.010
6	6-SMA 8	H2O	2.395	2.410	2.413	2.403	2.402	2.408	2.405	0.018	0.006	0.018
7	7-SMA 8	H2O	2.418	2.411	2.413	2.416	2.413	2.408	2.413	0.007	0.004	0.010
8	8-SMA 8	H2O	2.394	2.376	2.398	2.393	2.396	2.396	2.392	0.022	0.008	0.022
9	9-SMA 8	H2O	2.399	2.394	2.394	2.396	2.396	2.393	2.395	0.005	0.002	0.006
10	10-SMA 8	H2O	2.394	2.388	2.392	2.391	2.387	2.392	2.391	0.006	0.003	0.007
Mittelwert			2.401	MW <sub>MIN</sub>	2.391							
Standardabweichung σ <sub>R</sub>			0.008	MW <sub>MAX</sub>	2.415							
Vergleichspräzision R			0.022	ΔMW <sub>MAX-MIN</sub>	0.024							

Der Vergleich der Einzelwerte aller Labors zeigte, dass die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Einzelwert bis zu 0.024 Mg/m<sup>3</sup> betragen kann. Die grösste Differenz der Einzelwerte innerhalb eines Labors betrug 0.022 Mg/m<sup>3</sup> (Labor Nr 8). Die Berechnung der Wiederholpräzision r zeigte, dass von den 10 beteiligten Labors deren 2 (Labor 6 und 8) ausserhalb des in der Norm SN 670 405 festgelegten Wertes von 0.011 Mg/m<sup>3</sup> lagen (siehe Tab. 14).

Die Vergleichspräzision R entspricht mit 0.022 Mg/m<sup>3</sup> genau dem Wert, welcher in der Norm festgehalten ist.



**Abb. 13** Rohdichtebestimmung des SMA 8 mit Wasser; Ergebnisse der 10 Prüfstellen

## 7.2.2 SMA 8 – Rohdichte mit organischen Lösemittel

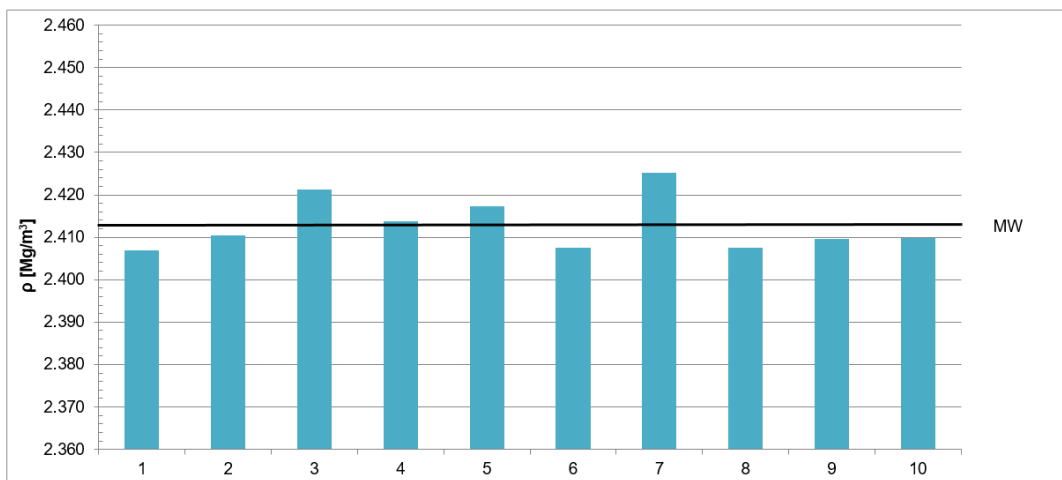
Die Auswertung der Rohdichtebestimmung des SMA 8 mit organischen Lösemittel ergab einen Mittelwert von  $2.413 \text{ Mg/m}^3$  (siehe Tab. 15 und Abb.14 )

**Tab. 15** Rohdichten SMA 8 bestimmt mit organischen Lösemittel

Labor	Mischung	Lösemittel	Wert 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wert 3 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 4 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 5 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 6 [Mg/m <sup>3</sup> ]	MW [Mg/m <sup>3</sup> ]	Δ EW [Mg/m <sup>3</sup> ]	Stabw σ <sub>r</sub> [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wiedpräz r
1	1-SMA 8	org. LM	2.409	2.409	2.412	2.405	2.405	2.402	2.407	0.010	0.004	0.010
2	2-SMA 8	org. LM	2.411	2.412	2.408	2.410	2.411	2.411	2.411	0.004	0.001	0.004
3	3-SMA 8	org. LM	2.423	2.419	2.422	2.422	2.418	2.423	2.421	0.005	0.002	0.006
4	4-SMA 8	org. LM	2.417	2.421	2.414	2.411	2.406	2.413	2.414	0.015	0.005	0.014
5	5-SMA 8	org. LM	2.412	2.421	2.419	2.416	2.417	2.419	2.417	0.009	0.003	0.009
6	6-SMA 8	org. LM	2.400	2.413	2.412	2.408	2.404	2.408	2.408	0.013	0.005	0.014
7	7-SMA 8	org. LM	2.422	2.420	2.421	2.430	2.429	2.429	2.425	0.010	0.005	0.013
8	8-SMA 8	org. LM	2.407	2.408	2.409	2.406	2.406	2.409	2.408	0.003	0.001	0.004
9	9-SMA 8	org. LM	2.412	2.407	2.409	2.410	2.411	2.409	2.410	0.005	0.002	0.005
10	10-SMA 8	org. LM	2.412	2.408	2.409	2.411	2.407	2.412	2.410	0.005	0.002	0.006
Mittelwert			2.413	MW <sub>MIN</sub>	2.407							
Standartabweichung σ <sub>R</sub>			0.006	MW <sub>MAX</sub>	2.425							
Vergleichspräzision R			0.017	ΔMW <sub>MAX-MIN</sub>	0.018							

Der Vergleich der Einzelwerte der einzelnen Labors zeigte, dass die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Einzelwert bis zu  $0.030 \text{ Mg/m}^3$  betragen kann. Die Differenz zwischen den Mittelwerten betrug bis zu  $0.018 \text{ Mg/m}^3$ . Die Berechnung der Wiederholpräzision r zeigte, dass alle 10 beteiligten Labors innerhalb des in der Norm SN 670 405 festgelegten Wertes von  $0.019 \text{ Mg/m}^3$  lagen (siehe **Tab. 15**).

Die Vergleichspräzision R liegt mit  $0.017 \text{ Mg/m}^3$  deutlich unterhalb des in der Norm festgehaltenen Wertes von  $0.042 \text{ Mg/m}^3$ .



**Abb. 14** Rohdichtebestimmung des SMA 8 mit organischen Prüfmittel; Ergebnisse der 10 Prüfstellen

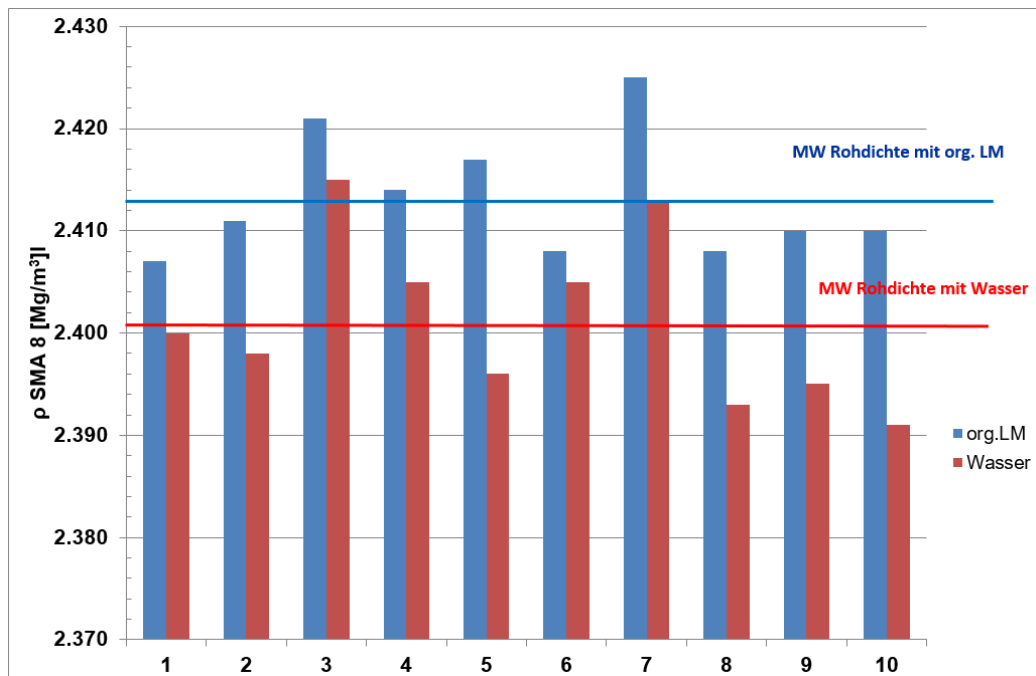
## 7.2.3 SMA 8 – Vergleich der Rohdichten

Beim Vergleich der Daten der beiden Prüfmethoden, zeigte es sich erneut, dass die Rohdichte bestimmt mit Wasser tiefere Rohdichten ergab, als diejenigen bestimmt mit dem organischen Lösemittel (siehe Tab. 16 und Abb.15). Die Differenz der beiden Mittelwerte betrug  $0.012 \text{ Mg/m}^3$ . Beim deutschen SMA 8 – Ringversuch [6] lag die Differenz der beiden Rohdichten (aus Doppelbestimmung) mit  $0.003 \text{ Mg/m}^3$  wesentlich tiefer. Eine mögliche Erklärung für die grössere Differenz im vorliegenden Ringversuch könnte sein, dass nicht alle teilnehmenden Labors über die gleiche Laborausstattung verfügten, so dass die Granulierung des Mischguts und die Erzeugung des Teilvakuums auf unterschiedliche Art und Weise erfolgten. Möglicherweise spielt auch die mangelnde

Erfahrung der Prüfstellen mit der Dichtebestimmung mit Wasser eine Rolle, haben doch die meisten Labors diese Methode im Hinblick auf den Ringversuch eingeführt. Dies könnte auch der Grund sein, weshalb mit Wasser eine grössere Standardabweichung  $\sigma_R$  ( $0.008 \text{ Mg/m}^3$ ) und eine grössere Vergleichspräzision  $R$  ( $0.022 \text{ Mg/m}^3$ ) als mit organischem Lösemittel ( $\sigma_R = 0.006 \text{ Mg/m}^3$  und  $R = 0.017 \text{ Mg/m}^3$ ) erzielt wurde.

**Tab. 16** Vergleich der Rohdichten des SMA 8 bestimmt mit organischem Lösemittel und mit Wasser

Labor	org. LM	Wasser
Nr.	Rohdichte $\text{Mg/m}^3$	
1	2.407	2.400
2	2.411	2.398
3	2.421	2.415
4	2.414	2.405
5	2.417	2.396
6	2.408	2.405
7	2.425	2.413
8	2.408	2.393
9	2.410	2.395
10	2.410	2.391
Mittelwert	2.413	2.401
Stabw. $\sigma_R$	0.006	0.008
Vergleichspräzision $R$	0.017	0.023
$\Delta \text{MW}_{\text{Max-Min}}$	0.018	0.024



**Abb. 15** Vergleich der Rohdichten des SMA 8, bestimmt mit organischem Lösemittel und mit Wasser

## 7.3 Ringversuch AC T 32 S

Der Ringversuch mit einem sehr grobkörnigen Mischgut sollte aufzeigen, ob die Rohdichtebestimmung mit Wasser auch bei diesen Mischgutsorten angewendet werden kann. Analog dem Ringversuch mit SMA 8 beteiligten sich 10 Prüfstellen, welche je eine 6-fach-Bestimmung der Rohdichte mit organischem Lösemittel und mit Wasser durchführten.

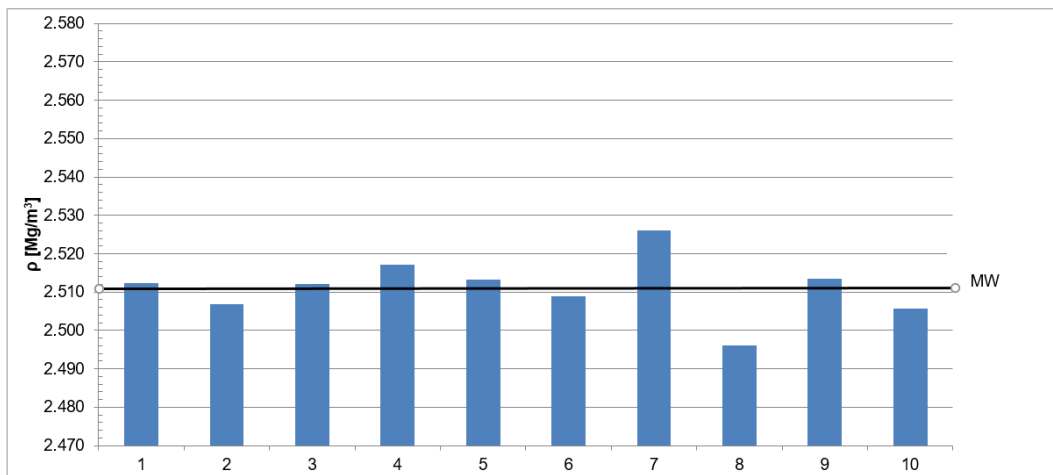
### 7.3.1 AC T 32 S Rohdichtebestimmung mit Wasser

Der Vergleich aller Einzelwerte zeigte, dass die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Einzelwert bis zu  $0.051 \text{ Mg/m}^3$  betragen kann. Bei näherer Betrachtung fällt das Labor Nr 8 auf, bei welchem nicht nur generell tiefere Werte gemessen wurden, sondern auch die mit Abstand grössten Streuungen vorkommen. Schliesst man dieses Labor aus, so beträgt die grösste Differenz zwischen den Einzelwerten  $0.032 \text{ Mg/m}^3$ . Auch die Variation der Werte innerhalb der einzelnen Prüfstellen lag relativ hoch, sie betrug  $0.007$  bis  $0.025 \text{ Mg/m}^3$ . Die maximale Differenz zwischen den Mittelwerten betrug  $0.030 \text{ Mg/m}^3$ . Die Berechnung der Wiederholpräzision  $r$  zeigte, dass von den 10 beteiligten Labors nur deren 3 (Labor 2,3 und 9) innerhalb des in der Norm SN 670 405 festgelegten Wertes von  $0.011 \text{ Mg/m}^3$  lagen (siehe *Tab. 17*).

**Tab. 17** Rohdichten des AC T 32 S bestimmt mit Wasser

Labor	Mischung	Lösungsmittel	Probe 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 3 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 4 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 5 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 6 [Mg/m <sup>3</sup> ]	MW [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\Delta\text{EW}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Stabw $\sigma_f$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wiedpräz $r$
1	1-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.509	2.511	2.504	2.525	2.506	2.519	2.512	0.021	0.008	0.022
2	2-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.513	2.505	2.504	2.503	2.507	2.509	2.507	0.009	0.004	0.010
3	3-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.515	2.510	2.508	2.513	2.513	2.514	2.512	0.007	0.003	0.007
4	4-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.517	2.521	2.514	2.516	2.524	2.511	2.517	0.010	0.005	0.013
5	5-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.509	2.512	2.512	2.517	2.508	2.521	2.513	0.012	0.005	0.014
6	6-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.514	2.498	2.506	2.518	2.503	2.514	2.509	0.020	0.008	0.021
7	7-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.530	2.522	2.515	2.529	2.526	2.535	2.526	0.020	0.007	0.019
8	8-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.508	2.499	2.485	2.496	2.510	2.479	2.496	0.025	0.012	0.034
9	9-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.515	2.510	2.515	2.517	2.512	2.512	2.514	0.007	0.003	0.007
10	10-AC T 32 S	H <sub>2</sub> O	2.512	2.504	2.498	2.505	2.512	2.503	2.506	0.014	0.005	0.015
Mittelwert			2.511	MW <sub>MIN</sub>	2.496							
Standardabweichung $\sigma_R$			0.008	MW <sub>MAX</sub>	2.526							
Vergleichspräzision R			0.022	$\Delta\text{MW}_{\text{MAX-MIN}}$	0.030							

Die Vergleichspräzision  $R$  entspricht mit  $0.022 \text{ Mg/m}^3$  genau dem Wert, welcher in der Norm festgehalten ist. Aus der Vergleichspräzision wurde die untere und obere Vergleichsgrenze berechnet. Es zeigte sich dabei, dass alle teilnehmenden Labors bei der Rohdichtebestimmung mit Wasser innerhalb der Vergleichsgrenze lagen (s. *Abb. 16*).



**Abb. 16.** Rohdichtebestimmung mit Wasser des AC T 32 S; Ergebnisse der 10 Prüfstellen

### 7.3.2 AC T 32 S Rohdichtebestimmung mit organischen Lösemittel

Der Vergleich aller Einzelwerte zeigte, dass die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Einzelwert bis zu  $0.047 \text{ Mg/m}^3$  betragen kann. Auch die Variation der Werte innerhalb der einzelnen Prüfstellen lag relativ hoch, sie betrug  $0.005$  bis  $0.026 \text{ Mg/m}^3$ . Die Berechnung der Wiederholpräzision  $r$  zeigte, dass von den 10 beteiligten Labors deren 4 (Labor 1,5,6 und 8) oberhalb des in der Norm SN 670 405 festgelegten Wertes von  $0.019 \text{ Mg/m}^3$  lagen (siehe Tab. 18).

**Tab. 18** Rohdichten AC T 32 S bestimmt mit organischen Lösemittel (rot markiert sind die Überschreitungen der in der Norm festgelegten Wiederholpräzision)

Labor	Mischung	Lösemittel	Probe 1 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 3 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 4 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 5 [Mg/m <sup>3</sup> ]	Probe 6 [Mg/m <sup>3</sup> ]	MW [Mg/m <sup>3</sup> ]	ΔEW [Mg/m <sup>3</sup> ]	Stabw $\sigma_r$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wiedpräz r
1	1-AC T 32 S	org. LM	2.519	2.523	2.518	2.541	2.514	2.521	2.523	0.023	0.009	0.024
2	2-AC T 32 S	org. LM	2.522	2.512	2.513	2.511	2.518	2.522	2.516	0.010	0.005	0.013
3	3-AC T 32 S	org. LM	2.518	2.515	2.513	2.516	2.517	2.518	2.516	0.005	0.002	0.005
4	4-AC T 32 S	org. LM	2.522	2.521	2.516	2.516	2.533	2.525	2.522	0.017	0.006	0.016
5	5-AC T 32 S	org. LM	2.518	2.518	2.519	2.536	2.523	2.538	2.525	0.020	0.008	0.023
6	6-AC T 32 S	org. LM	2.515	2.500	2.503	2.520	2.510	2.515	2.511	0.020	0.007	0.020
7	7-AC T 32 S	org. LM	2.545	2.537	2.527	2.538	2.540	2.543	2.538	0.018	0.006	0.016
8	8-AC T 32 S	org. LM	2.519	2.512	2.498	2.510	2.524	2.516	2.513	0.026	0.008	0.023
9	9-AC T 32 S	org. LM	2.523	2.519	2.523	2.525	2.521	2.523	2.522	0.006	0.002	0.005
10	10-AC T 32 S	org. LM	2.530	2.523	2.515	2.524	2.530	2.521	2.524	0.015	0.005	0.014
Mittelwert			2.521	MIN	2.511							
Standartabweichung $\sigma_R$			0.008	MAX	2.538							
Vergleichspräzision R			0.022	$\Delta MV_{MAX-MIN}$	0.028							

Die Vergleichspräzision  $R$  liegt mit  $0.022 \text{ Mg/m}^3$  deutlich unterhalb des in der Norm für die Bestimmung der Rohdichte mit einem organischen Lösemittel festgelegten Wertes von  $0.042 \text{ Mg/m}^3$ . Offenbar kommt hier die jahrelange Erfahrung der Labors mit dieser Prüfmethode zum Ausdruck. Wie der Abb.17 zu entnehmen ist, lagen alle Prüfstellen innerhalb der Vergleichspräzision.

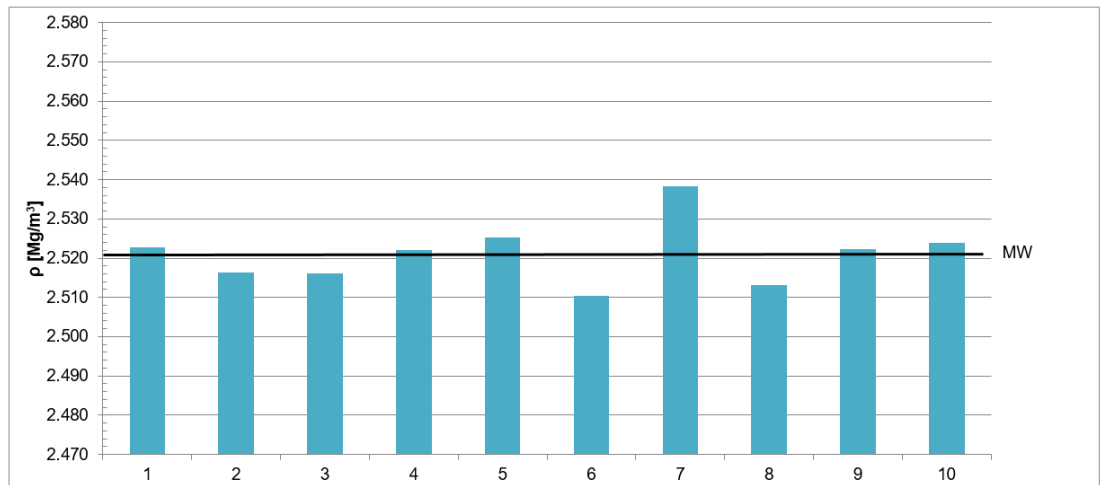


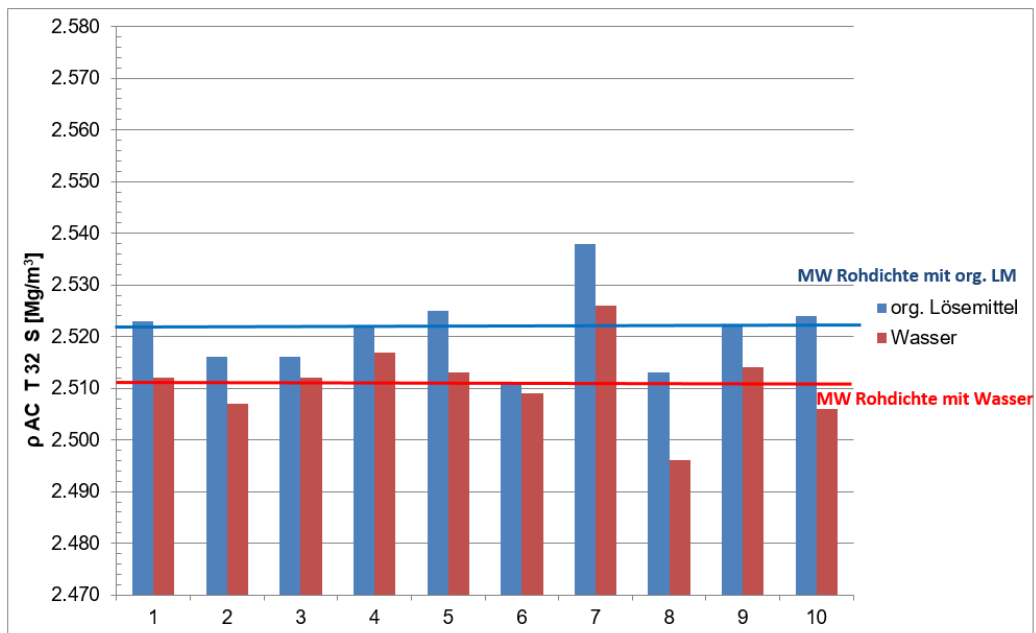
Abb.17 Rohdichtebestimmung mit organischem Lösemittel des AC T 32 S; Ergebnisse der 10 Prüfstellen

### 7.3.3 AC T 32 S – Vergleich der Rohdichten

Beim Vergleich der Daten der beiden Prüfmethode, zeigte es sich erneut, dass die Rohdichte bestimmt mit Wasser tiefere Rohdichten ergab, als diejenigen dem organischen Lösemittel (siehe *Tab. 19* und *Abb.18*). Die Differenz der beiden Mittelwerte betrug  $0.010 \text{ Mg/m}^3$ . Beide Prüfverfahren wiesen praktisch die gleiche Vergleichspräzision  $R$  von  $0.022 \text{ Mg/m}^3$  bzw.  $0.021 \text{ Mg/m}^3$  auf.

**Tab. 19** Vergleich der Rohdichten des AC T 32 S bestimmt mit organischem Lösemittel und mit Wasser

Labor	org. LM	Wasser
Nr	Rohdichte $\text{Mg/m}^3$	
1	2.523	2.512
2	2.516	2.507
3	2.516	2.512
4	2.522	2.517
5	2.525	2.513
6	2.511	2.509
7	2.538	2.526
8	2.513	2.496
9	2.522	2.514
10	2.524	2.506
Mittelwert	2.521	2.511
Stabw. $\sigma_R$	0.008	0.008
Vergleichspräzision $R$	0.021	0.022
$\Delta \text{MW}_{\text{Max-Min}}$	0.027	0.030



**Abb.18** Vergleich der Rohdichten des AC T 32 S, bestimmt mit Wasser und organischem Lösemittel

## 7.4 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der beiden Ringversuche erfolgte mit einer Software, welche vom VAB (Verband der akkreditierten Baustoffprüflaboratorien) auf der Basis der DIN ISO 5725-2 entwickelt wurde. Dabei werden die Daten mit untenstehenden statistischen Verfahren bezüglich Ausreisser (sowohl der Einzel- wie auch der Mittelwerte) untersucht. Als Ausreisser erkannte Datensätze werden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

- Cochran-Test zur Ermittlung von Ausreissern der Einzelwerte: Der Cochran-Test vergleicht die Standardabweichung jedes Labors mit der grössten Standardabweichung aller teilnehmenden Labors am Ringversuch. Die Bewertung erfolgt auf der Basis entsprechender Tabellen auf dem 1%- und 5%-Signifikanzniveau. Werte, welche das 1 %-Niveau überschreiten werden mit einem Stern (\*) gekennzeichnet, jedoch aus der weiteren Auswertung nicht ausgeschlossen. Werte welche das 5 %-Niveau überschreiten gelten als Ausreisser (\*\*) und werden für die weiteren Auswertungen ausgeschlossen
- Mandels k-Statistik zur Ermittlung von Ausreissern der Einzelwerte: Bei der Prüfung der Wiederholstandardabweichung nach der Mandel k-Statistik wird die Standardabweichung jedes einzelnen Labors mit der kombinierten Standardabweichung aller Labors verglichen. Beträgt beispielsweise die Vereinbarkeitsgrösse 1, so bedeutet dies, dass das entsprechende Labor die gleiche Standardabweichung wie die kombinierte Standardabweichung aller Labors hat. Zur Beurteilung dient die Mandel k-Tabelle mit den Indikatoren für die Vereinbarkeitsprüfung auf dem 5%- und 1%-Niveau. Diese sind abhängig von der Anzahl Wiederholbestimmungen. Die Tabellen sind in der ISO 5725-2002 zu finden.
- Grubbs-Test zur Ermittlung von Ausreissern der Mittelwerte: Bei diesem Test werden der höchste und kleinste Mittelwert geprüft. Die Auswertung erfolgt auf der Basis von Tabellenwerten analog der Mandel K-Statistik.
- Mandels h-Statistik zur Ermittlung von Ausreissern der Mittelwerte: Aus dem Mittelwert des untersuchten Labors und dem Gesamtmittelwert wird ein Faktor berechnet, welcher mit Werten aus Tabellen verglichen wird. Die Beurteilung ist analog zur Mandels k-Statistik.



### 7.4.1 Rohdichte des SMA 8 mit Wasser

<b>Cochran Test</b>	
Bestimmung der Ausreisser bezüglich Wiederholungsmessungen für den Messwert	
Labor	S1
L1	
L2	
L3	
L4	0.227
L5	
L6	0.397 **
L7	
L8	0.382 **
L9	
L10	
(* grosse Streuung ** Ausreisser @ Resultate verworfen)	
Zelle L8 / S1 ist ein Ausreisser Cochran Testgrösse $C = 0.38214 > 0.35700$ (99% Vertrauensgrenze) Zelle L6 / S1 ist ein Ausreisser Cochran Testgrösse $C = 0.39655 > 0.38700$ (99% Vertrauensgrenze)	
<b>Grubbs Test</b>	
Bestimmung der Ausreisser bezüglich Vergleichsmessungen für den Messwert	
Labor	S1
L1	
L2	
L3	0.227
L4	
L5	
L6	
L7	0.227
L8	
L9	0.602
L10	0.602
(* grosse Streuung ** Ausreisser @ Resultate verworfen)	
Test für S1 ausgeführt! Keine weiteren Ausreisser festgestellt!	

Abb.19 Ausreissertests nach Cochran und Grubbs (SMA mit Wasser)

In beiden Tests wurde das Signifikanzniveau zu 95 % gewählt. Die beiden Tests zur Elimination von Ausreissern ergaben, dass die Labor Nr 6 und 8 für die weiteren statistischen Auswertungen nicht berücksichtigt werden konnten.

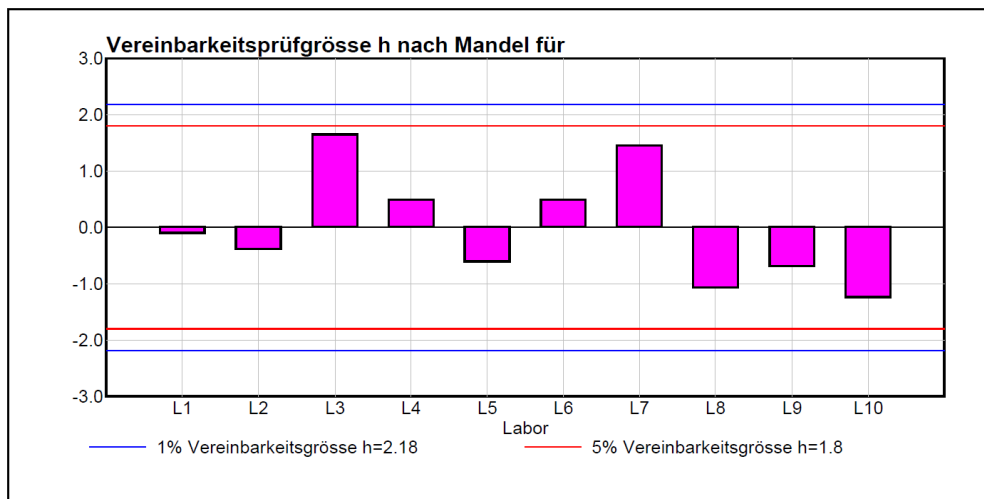
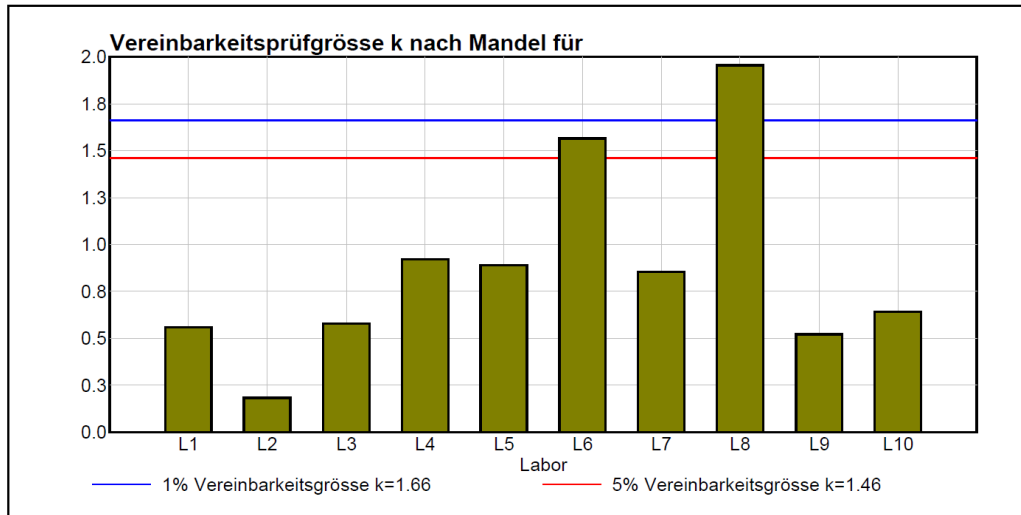


Abb.20 Mandels Tests; Vereinbarkeitsgrößen h und k

Die k-Werte sind in der Abb.20 in einem Balkendiagramm aufgetragen und mit dem Signifikanzniveau von 1 % und demjenigen für 5 % verglichen. Als Ausreisser werden diejenigen Labors betrachtet, welche das Signifikanzniveau von 5 % überschreiten. Die beiden Labors 6 und 8 sind statistisch gesehen Ausreisser.

Die Mandels h-Statistik erkannte keine Ausreisser.

Aufgrund der statistischen Tests wurden 2 Labors eliminiert; die Berechnung der Wiederhol- und der Vergleichbarkeitsgrenze erfolgte mit den Ergebnissen der verbleibenden 8 Labors:

Generelles Mittel:	2.402 Mg/m <sup>3</sup>
Wiederholgrenze r	0.008 Mg/m <sup>3</sup>
Vergleichsgrenze R	0.025 Mg/m <sup>3</sup>

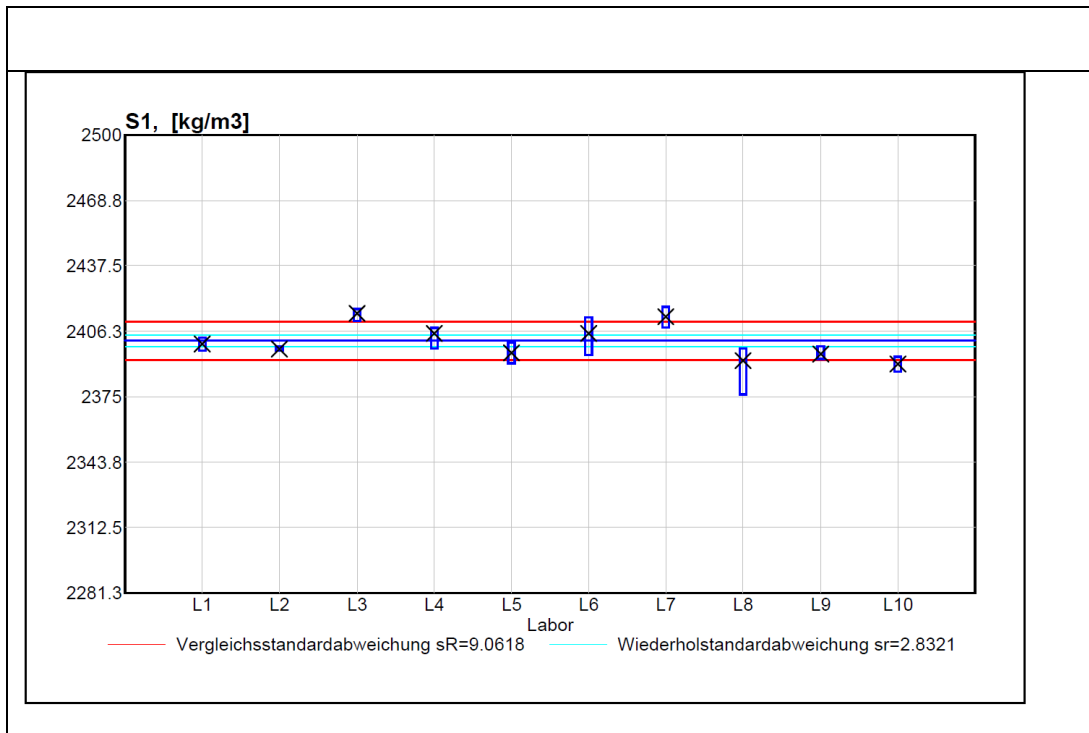


Abb.21 Vergleich der Rohdichten des SMA (Wasser) der einzelnen Labors mit der berechneten Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit

**Rohdichte des SMA 8 mit organischem Lösemittel.**

**Cochran Test**  
Bestimmung der Ausreisser bezüglich Wiederholungsmessungen für den Messwert

Labor	S1
L1	
L2	
L3	
L4	0.237
L5	
L6	
L7	
L8	
L9	
L10	

(\* grosse Streuung \*\* Ausreisser @ Resultate verworfen)

Test für S1 ausgeführt! Keine weiteren Ausreisser festgestellt!

---

**Grubbs Test**  
Bestimmung der Ausreisser bezüglich Vergleichsmessungen für den Messwert

Labor	S1
L1	0.774
L2	
L3	0.246
L4	
L5	
L6	0.774
L7	0.246
L8	
L9	
L10	

(\* grosse Streuung \*\* Ausreisser @ Resultate verworfen)

Test für S1 ausgeführt! Keine weiteren Ausreisser festgestellt!

*Abb.22 Ausreissertests nach Cochran und Grubbs (SMA mit Lösemittel)*

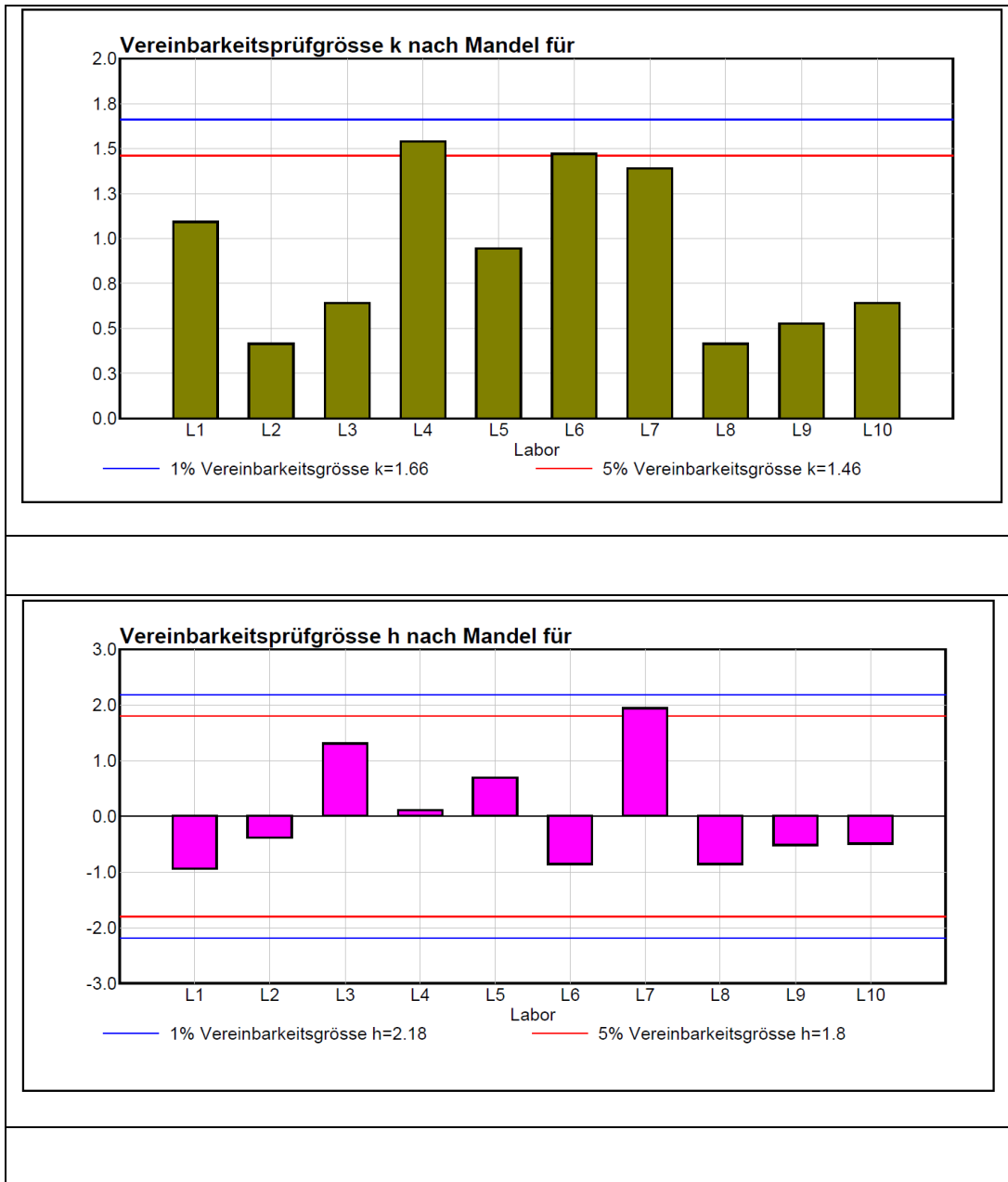


Abb.23 Mandels Tests; Vereinbarkeitsgrössen h und k

Die statistische Analyse für die Bestimmung der Rohdichte des SMA 8 mit organischem Lösemittel zeigte, dass keine Ausreiser beobachtbar waren. Aus den Ergebnissen aller 10 Labors ergaben sich folgende Kenngrössen:

Generelles Mittel:	2.413 Mg/m <sup>3</sup>
Wiederholgrenze r	0.009 Mg/m <sup>3</sup>
Vergleichsgrenze R	0.019 Mg/m <sup>3</sup>

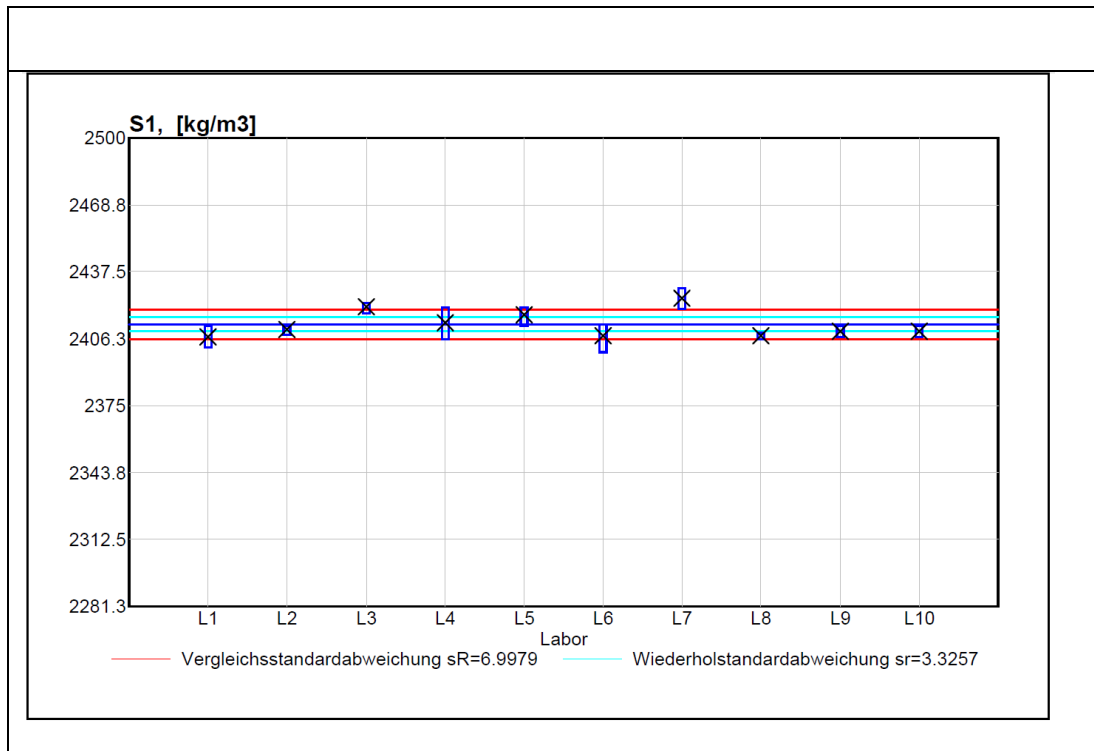


Abb.24 Vergleich der Rohdichten des SMA (Lösemittel) der einzelnen Labors mit der berechneten Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit

## 7.4.2 Rohdichte des AC T 32S mit Wasser

<b>Cochran Test</b>	
Bestimmung der Ausreisser bezüglich Wiederholungsmessungen für den Messwert	
Labor	S1
L1	
L2	
L3	
L4	
L5	
L6	
L7	
L8	0.354 *
L9	
L10	
(* grosse Streuung ** Ausreisser @ Resultate verworfen)	
<p>Zelle L8 / S1 ist ein Ausreisser            Cochran Testgrösse <math>C = 0.41037 &gt; 0.38700</math> (99% Vertrauensgrenze)            Zelle L8 / S1 besitzt eine grosse Streuung! Abklärung empfohlen            Cochran Testgrösse <math>C = 0.35360 &gt; 0.30300</math> (95% Vertrauensgrenze)            Cochran Testgrösse <math>C = 0.35360 \leq 0.35700</math> (99% Vertrauensgrenze)            Test für S1 ausgeführt! Keine weiteren Ausreisser festgestellt!</p>	
<b>Grubbs Test</b>	
Bestimmung der Ausreisser bezüglich Vergleichsmessungen für den Messwert	
Labor	S1
L1	
L2	
L3	
L4	0.431
L5	
L6	
L7	0.431
L8	0.440
L9	
L10	0.440
(* grosse Streuung ** Ausreisser @ Resultate verworfen)	
<p>Test für S1 ausgeführt! Keine weiteren Ausreisser festgestellt!</p>	

Abb.25 Ausreissertests nach Cochran und Grubbs (AC T 32 S mit Wasser)

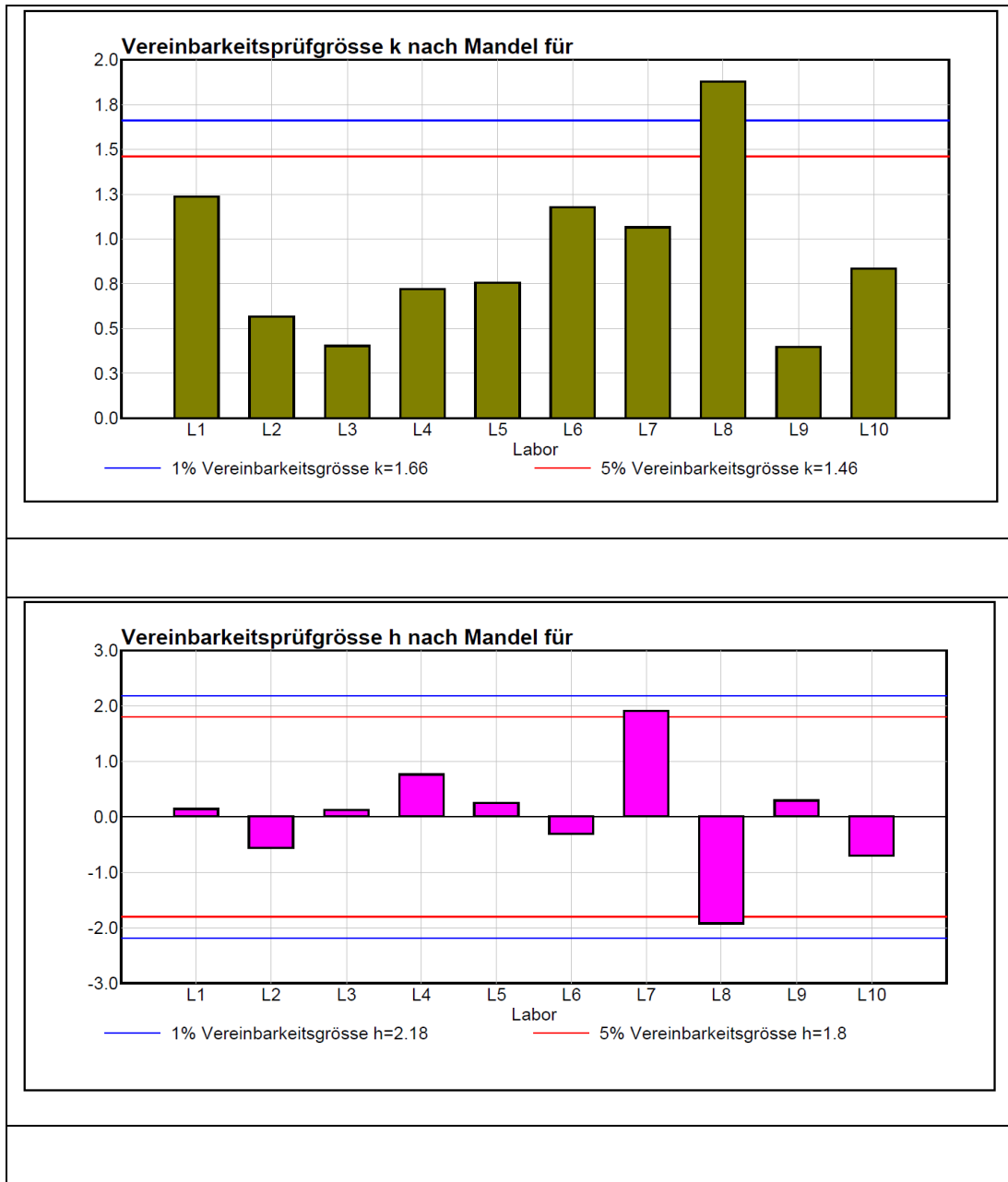


Abb.26 Mandels Tests; Vereinbarkeitsgrössen h und k

Die statistischen Analysen der Ergebnisse des Ringversuches ergaben unterschiedliche Bewertungen. Das Labor Nummer 8 wurde bei einzelnen Test als Ausreisser bewertet, bei anderen Test nicht. Für die weiteren Auswertungen wurden die Ergebnisse aller 10 Labors berücksichtigt.

Generelles Mittel:	2.511 Mg/m <sup>3</sup>
Wiederholgrenze r	0.018 Mg/m <sup>3</sup>
Vergleichsgrenze R	0.027 Mg/m <sup>3</sup>



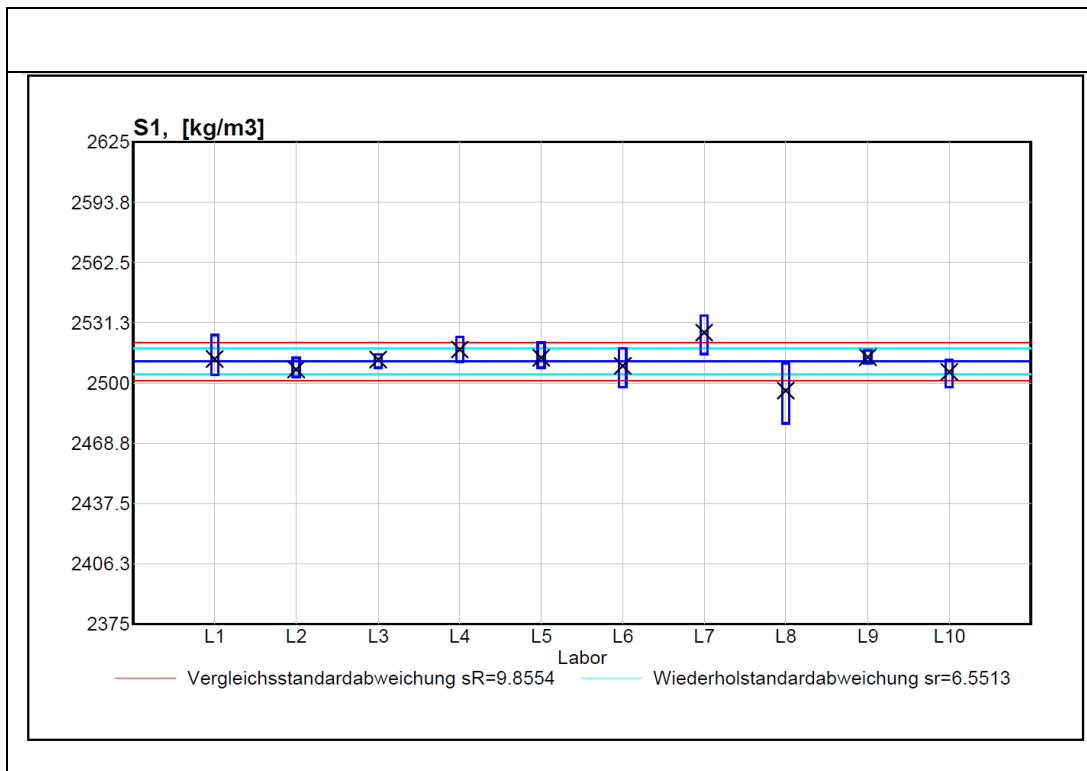


Abb.27 Vergleich der Rohdichten der AC T 32 S (Wasser) der einzelnen Labors mit der berechneten Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit

### 7.4.3 Rohdichte des AC T 32S mit organischem Lösemittel

<b>Cochran Test</b>	
Bestimmung der Ausreisser bezüglich Wiederholungsmessungen für den Messwert	
Labor	S1
L1	0.195
L2	
L3	
L4	
L5	
L6	
L7	
L8	
L9	
L10	
(* grosse Streuung ** Ausreisser @ Resultate verworfen)	
Test für S1 ausgeführt! Keine weiteren Ausreisser festgestellt!	

<b>Grubbs Test</b>	
Bestimmung der Ausreisser bezüglich Vergleichsmessungen für den Messwert	
Labor	S1
L1	
L2	
L3	
L4	
L5	0.321
L6	0.605
L7	0.321
L8	0.605
L9	
L10	
(* grosse Streuung ** Ausreisser @ Resultate verworfen)	
Test für S1 ausgeführt! Keine weiteren Ausreisser festgestellt!	

Abb.28 Ausreissertests nach Cochran und Grubbs (AC T 32 S mit Lösemittel)

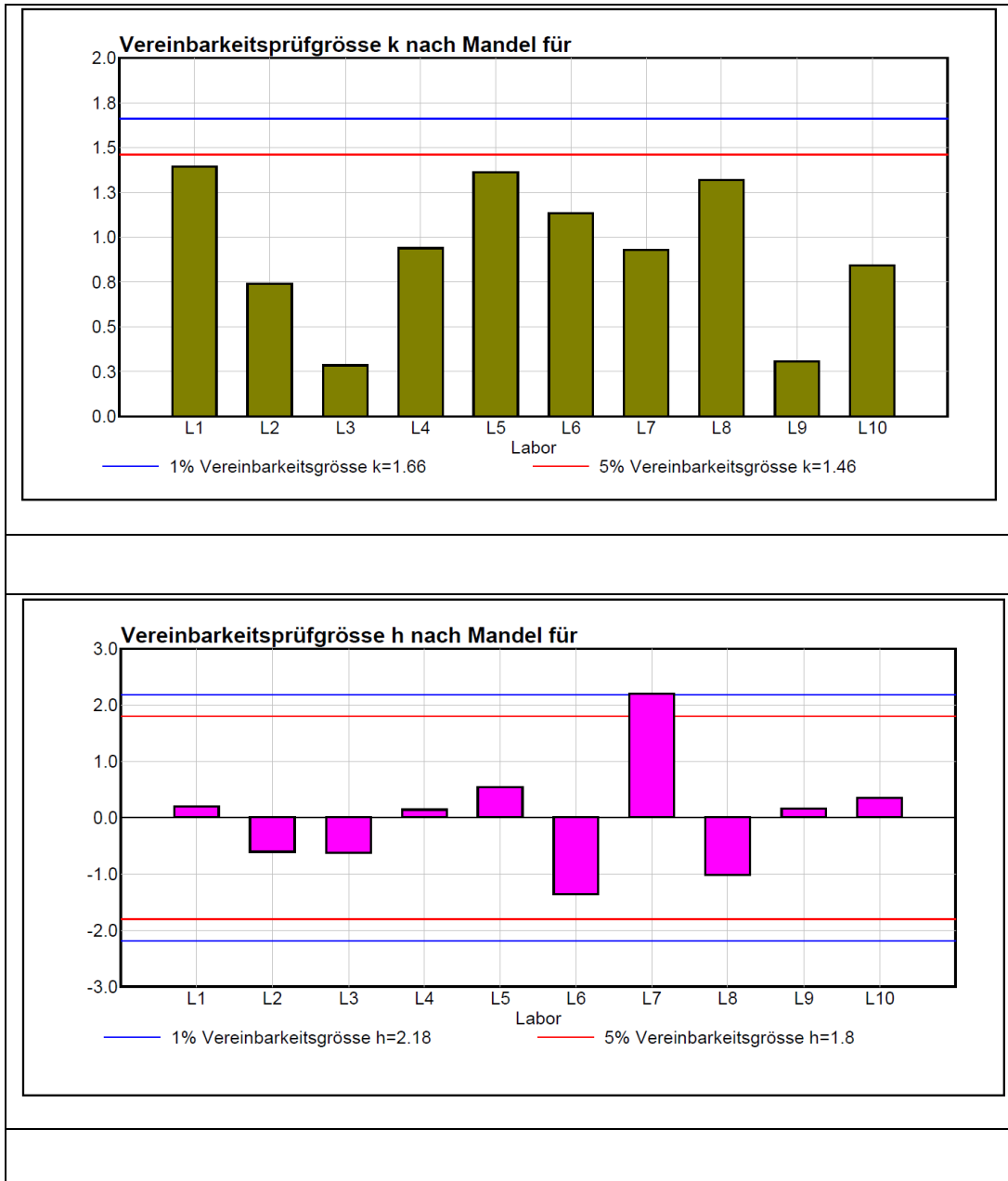


Abb.29 Mandels Tests; Vereinbarkeitsgrössen h und k

Die statistischen Analysen der Ergebnisse des Ringversuches ergaben, dass keine Ausreisser zu eliminieren sind. Für die weiteren Auswertungen wurden die Ergebnisse aller 10 Labors berücksichtigt.

Generelles Mittel: 2.521 Mg/m<sup>3</sup>

Wiederholgrenze r 0.019 Mg/m<sup>3</sup>

Vergleichsgrenze R 0.028 Mg/m<sup>3</sup>

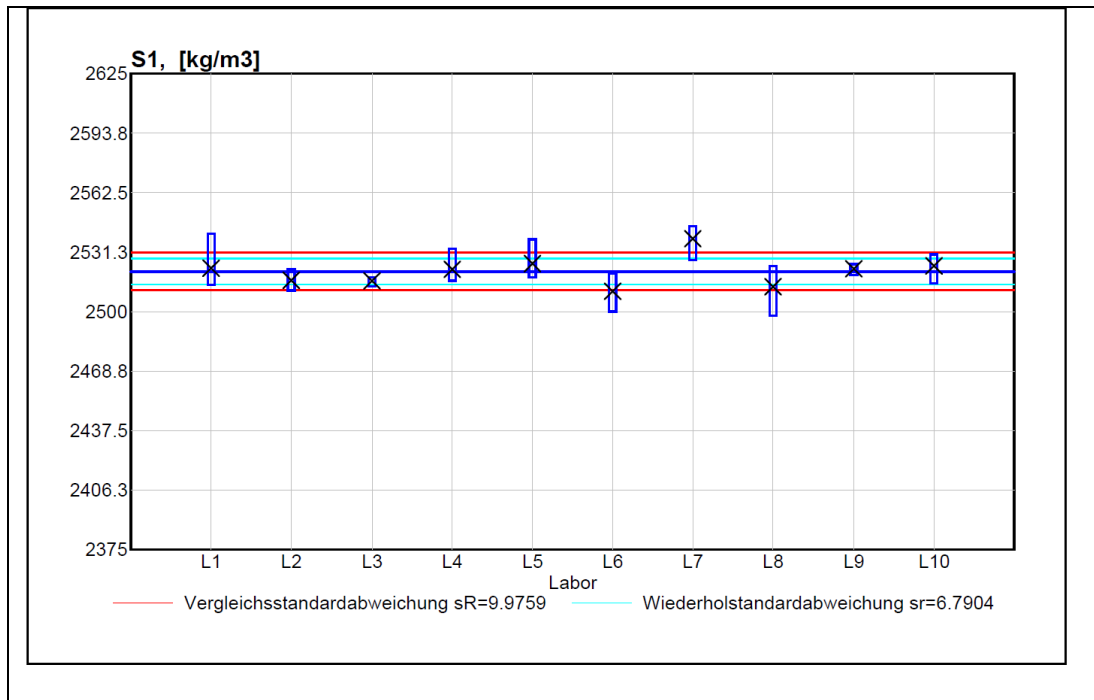


Abb.30 Vergleich der Rohdichten der AC T 32 S (Lösemittel) der einzelnen Labors mit der berechneten Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit

## 7.5 Zusammenfassung der Ringversuche

**Tab. 20** Zusammenfassung der Ergebnisse der Ringversuche

Probe	Prüfmittel	Anzahl Ausreisser	Anzahl berücksichtigter Werte	genereller Mittelwert [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wiederhol-Präzision r [Mg/m <sup>3</sup> ]	Vergleichs-Präzision R [Mg/m <sup>3</sup> ]
SMA 8	Wasser	2	8	2.402	0.008	0.025
SMA 8	Lösemittel	0	10	2.413	0.009	0.019
AC T 32 S	Wasser	0	10	2.511	0.018	0.027
AC T 32 S	Lösemittel	0	10	2.521	0.018	0.028

Aus den durchgeführten 4 Ringversuchen sowie deren statistische Auswertungen können folgende Folgerungen gezogen werden:

- Die Prüfung der Rohdichte mit Wasser liefert generell etwas tiefere Werte als die bisherige Prüfung mit Lösemitteln. Der Unterschied beträgt ca. 0.010 Mg/m<sup>3</sup> was einen Unterschied im Hohlraumgehalt von ca. 0.4 Vol.-% ausmacht.
- Bei der Wiederhol- und Vergleichspräzision konnten die erwarteten, kleineren Werte für die Bestimmung der Rohdichte mit Wasser nicht nachvollzogen werden.
- Die Wiederholpräzision r (gleicher Prüfer, gleiche Geräte) liegt beim grobkörnigen Mischgut (32 mm) deutlich höher als beim 8-er Mischgut; sowohl bei der Prüfung mit Wasser als auch mit Lösemittel
- Die Vergleichspräzision R (unterschiedliche Labors) scheint weniger vom Grösstkorn beeinflusst zu sein.

**Tab. 21** Vergleich der im Ringversuch erzielten Präzisionswerte r und R mit den Werten der Norm (rot markiert Werte über der Norm)

Probe	Prüfmittel	Wiederholpräzision r [Mg/m <sup>3</sup> ]		Vergleichspräzision R [Mg/m <sup>3</sup> ]	
		SN 670 405	Ringversuch	SN 670 405	Ringversuch
SMA 8	Wasser	0.011	0.008	0.022	0.025
SMA 8	Lösemittel	0.019	0.009	0.042	0.019
AC T 32 S	Wasser	0.011	0.018	0.022	0.027
AC T 32 S	Lösemittel	0.019	0.018	0.042	0.028

- Wie der Tab. 21 zu entnehmen ist, lagen die Werte für die Präzision r und R bei den Ringversuchen mit Lösemittel teilweise deutlich unter den Werten der Norm. Bei den Ringversuchen mit Wasser hingegen wurden in Werte der Norm in 3 von 4 Fällen übertroffen. Wir gehen davon aus, dass dies auf die mangelnde Erfahrung der Prüfstellen mit dieser Prüfung zurückzuführen ist.

Im Anhang 4 sind die Vergleiche der Wiederhol- und Vergleichspräzision für jedes einzelne Labor aufgeführt.



## 8 Vergleichende Betrachtungen

Die Norm SN 670 405 [1] lässt auch die Möglichkeit zu, die Rohdichte des Mischgutes aus den Rohdichten des Bindemittels und der Gesteinskörnung sowie der Anteile Bindemittel und Gesteinskörnung zu berechnen. Im Folgenden wurden die mit Toluol und mit Wasser ermittelten Rohdichten aller im Projekt verwendeten Mischgutsorten mit der berechneten Rohdichte verglichen:

- Volumetrisches Verfahren (Verfahren A) mit Wasser
- Volumetrisches Verfahren (Verfahren A) mit organischem Lösemittel
- Mathematisches Verfahren (Verfahren C)

### 8.1 Vergleich der Rohdichten «Lösemittel» und «Wasser»

Die Gegenüberstellung der Mittelwerte der Rohdichten aller in der Forschungsarbeit verwendeten Mischgutsorten, bestimmt mit organischen Lösemitteln und mit Wasser, zeigen eine gute Korrelation ( $R^2 = 0.98$ ).

**Tab. 22** Gegenüberstellung der Mittelwerte der Rohdichten bestimmt mit organischen Lösemittel und Wasser

Mischgutsorte	$\rho$ mit org. LM	$\rho$ mit H <sub>2</sub> O	$\Delta$ org. LM - H <sub>2</sub> O	org. LM/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/org. LM
	[Mg/m <sup>3</sup> ]				
SDA 8 A	2.426	2.423	0.003	1.001	0.999
AC MR 8	2.444	2.439	0.005	1.002	0.998
PA 11	2.444	2.438	0.006	1.002	0.998
SMA 11	2.412	2.412	0.000	1.000	1.000
AC Rail 16	2.460	2.457	0.003	1.001	0.999
AC EME 22 C1	2.492	2.478	0.014	1.006	0.994
AC EME 22 C2	2.483	2.483	0.000	1.000	1.000
AC 11 L	2.428	2.421	0.007	1.003	0.997
SMA 8	2.413	2.401	0.012	1.005	0.995
AC T 32 S	2.521	2.511	0.010	1.004	0.996
MA 8 H	2.395	2.393	0.002	1.001	0.999
MA11 H	2.410	2.403	0.007	1.003	0.997

Der Mittelwert der Abweichung Lösemittel zu Wasser ( $\Delta$  org. LM – H<sub>2</sub>O) beträgt über alle Mischgutsorten gesehen 0.006 Mg/m<sup>3</sup>.

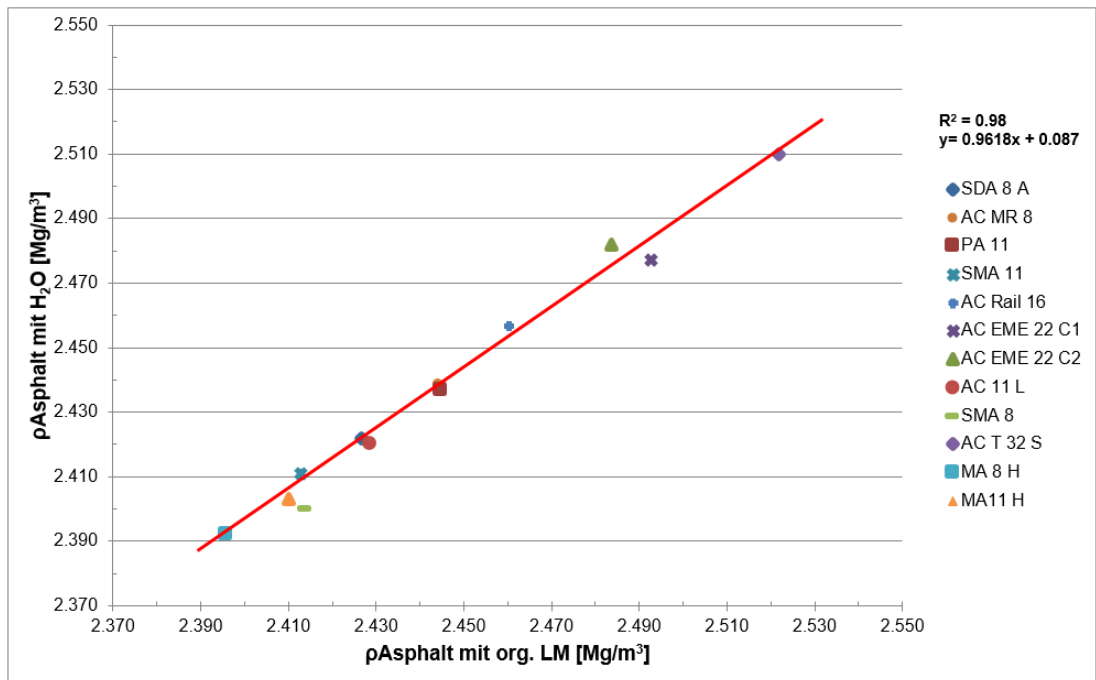


Abb.31 Korrelation der Rohdichten bestimmt mit organischen Lösemittel und Wasser

## 8.2 Vergleich der Rohdichten «Lösemittel» und «berechnet»

Die mit organischem Lösemittel bestimmten Rohdichten wurden den berechneten Rohdichten aller in der Forschungsarbeit verwendeten Mischgutsorten verglichen. Für die Berechnung der Mischgut-Rohdichte wurde eine Rohdichte der Gesteinskörnung von 2.650 Mg/m<sup>3</sup> angenommen. Der Korrelationskoeffizient liegt mit  $R^2 = 0.94$  sehr hoch und weist auf eine ausgezeichnete Übereinstimmung hin.

**Tab. 23** Gegenüberstellung Mittelwerte der Rohdichten bestimmt mit organischen Lösemittel und berechnet

Mischgutsorte	$\rho$ mit org. LM	$\rho$ berechnet	$\Delta$ org. LM -berechnet	org. Lm/berechnet	berechnet/org. LM
	[Mg/m <sup>3</sup> ]				
SDA 8 A	2.426	2.439	-0.013	0.995	1.005
AC MR 8	2.444	2.453	-0.009	0.996	1.004
PA 11	2.444	2.456	-0.012	0.995	1.005
SMA 11	2.412	2.427	-0.015	0.994	1.006
AC Rail 16	2.460	2.464	-0.004	0.998	1.002
AC EME 22 C1	2.492	2.482	0.010	1.004	0.996
AC EME 22 C2	2.483	2.480	0.003	1.001	0.999
AC 11 L	2.428	2.428	0.000	1.000	1.000
SMA 8	2.413	2.413	0.000	1.000	1.000
AC T 32 S	2.521	2.525	-0.004	0.998	1.002
MA 8 H	2.395	2.377	0.018	1.008	0.992
MA11 H	2.410	2.405	0.005	1.002	0.998

Der Mittelwert der Abweichung Lösemittel zu berechnet ( $\Delta$  org. LM – berechnet) beträgt 0.002 Mg/m<sup>3</sup>.



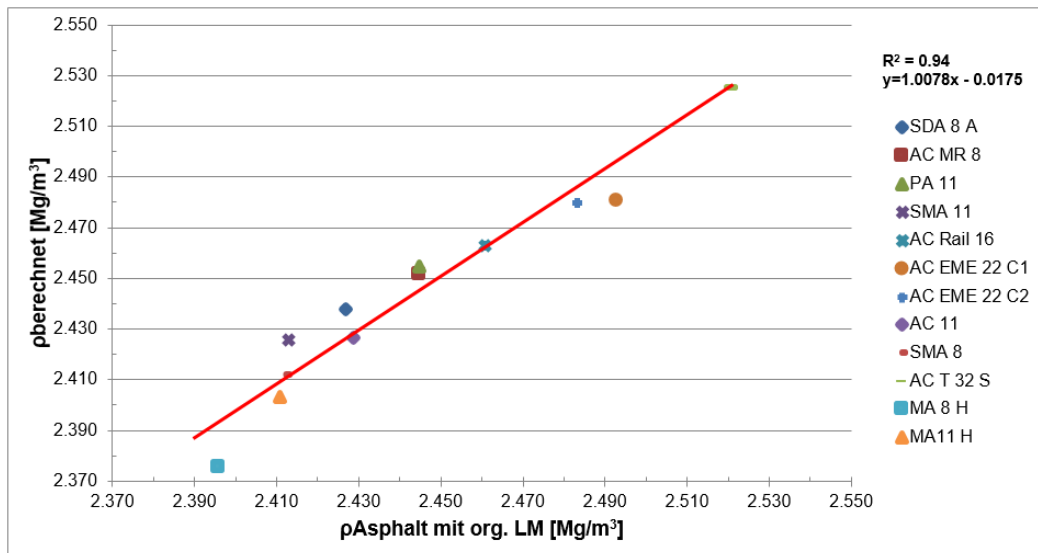


Abb.32 Korrelation der Rohdichten bestimmt mit organischem Lösemittel und berechnet

### 8.3 Vergleich der Rohdichten «Wasser» und «berechnet»

Die mit Wasser bestimmte Rohdichte wurde mit der berechneten Rohdichte verglichen. Für die Berechnung der Mischgut-Rohdichte wurde eine Rohdichte der Gesteinskörnung von  $2.650 \text{ Mg/m}^3$  angenommen. Das Bestimmtheitsmass der linearen Korrelation beträgt 0.95.

Tab. 24 Gegenüberstellung Mittelwerte der Rohdichten bestimmt mit Wasser und berechnet.

Mischgutsorte	$\rho$ mit $\text{H}_2\text{O}$	$\rho$ berechnet	$\Delta\text{H}_2\text{O}$ -berechnet	$\text{H}_2\text{O}$ /berechnet	berechnet/ $\text{H}_2\text{O}$
			[ $\text{Mg/m}^3$ ]		
SDA 8 A	2.423	2.439	-0.016	0.993	1.007
AC MR 8	2.439	2.453	-0.014	0.994	1.006
PA 11	2.438	2.456	-0.018	0.993	1.007
SMA 11	2.412	2.427	-0.015	0.994	1.006
AC Rail 16	2.457	2.464	-0.007	0.997	1.003
AC EME 22 C1	2.478	2.482	-0.004	0.998	1.002
AC EME 22 C2	2.483	2.480	0.003	1.001	0.999
AC 11 L	2.421	2.428	-0.007	0.997	1.003
SMA 8	2.401	2.413	-0.012	0.995	1.005
AC T 32 S	2.511	2.525	-0.014	0.994	1.006
MA 8 H	2.393	2.377	0.016	1.007	0.993
MA11 H	2.403	2.405	-0.002	0.999	1.001

Der Mittelwert der Abweichung Wasser zu berechnet ( $\Delta\text{H}_2\text{O}$  – berechnet) beträgt  $-0.006 \text{ Mg/m}^3$ .

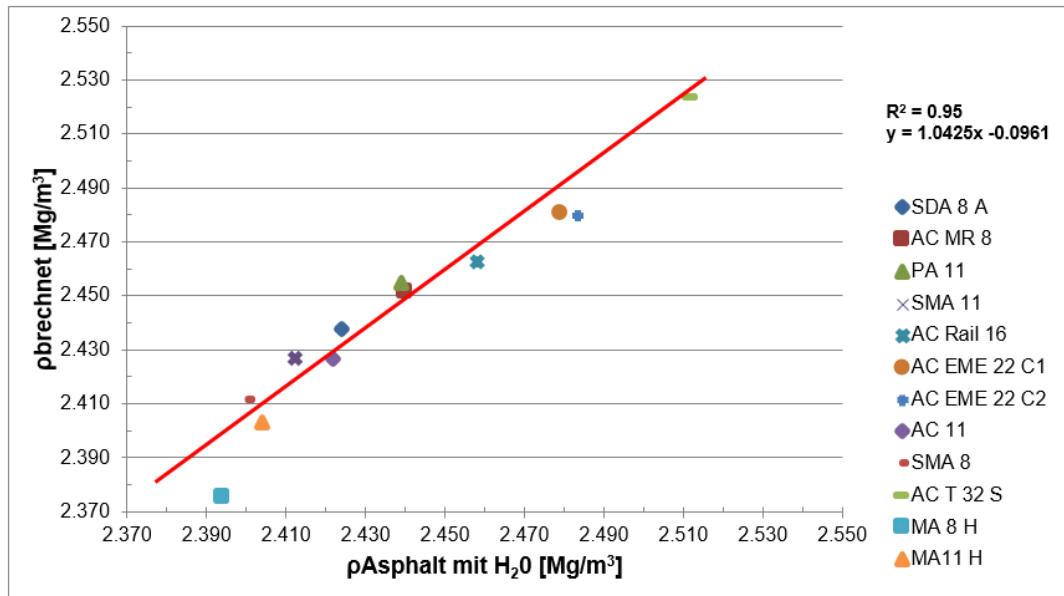


Abb.33 Korrelation der Rohdichten bestimmt mit Wasser und berechnet

## 8.4 Einfluss Bestimmung der Rohdichte der Gesteinskörnung auf die berechnete Mischgutrohddichte

Bei der Berechnung der Rohdichte eines Mischgutes wird die Rohdichte der Gesteinskörnung ( $RD_{GK}$ ) angenommen bzw. bestimmt. Der Einfluss unterschiedlicher Lösemittel auf die Bestimmung die Rohdichte der Gesteinskörnung ( $RD_{GK}$ ) wurde als analog dem Unterschied der Rohdichte des Mischgutes ( $RD_{MG}$ ) angenommen. In der Tab. 25 wird der Einfluss dieser Unterschiede auf die berechnete Rohdichte  $RD_{MG}$  dargestellt. Zudem wurde der Unterschied im Hohlraumgehaltes ( $\Delta Vol.-%$ ) berechnet.

**Tab. 25** Einfluss Bestimmung der Rohdichte der Gesteinskörnung auf die berechnete Mischgutrohddichte mit einem angenommen Bindemittelgehalt von 5 M.-%.

Annahme $RD_{GK}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Unterschiede der $RD_{GK}$ * [Mg/m <sup>3</sup> ]		Berechnete Mischgutrohddichte $RD_{MG}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Unterschied Hohlraumgehalt im Vergleich zur Referenz [ $\Delta Vol.-%$ ]
2.650	Referenz		2.4568	
2.650	Kleinster : 0.005	2.655	2.4609	0.2
2.650	Mittlerer : 0.014	2.664	2.4682	0.5
2.650	Grösster : 0.037	2.687	2.4870	1.2

\*aus Tabelle 5 (Modellversuche Einfluss der Porosität)

## 8.5 Schlüsse aus der Synthesebetrachtung

Die Vergleiche der Rohdichten, die volumetrisch (organisches Lösemittel und Wasser) bestimmt und berechnet wurden zeigten, dass

- Die Übereinstimmung generell betrachtet sehr gut ist. Die Korrelationskoeffizienten liegen zwischen 0.94 und 0.98

**Tab. 26** Vergleich der Bestimmtheitsmasse  $R^2$  der drei Gegenüberstellungen

Bestimmtheitsmasse $R^2$	alle Mischgutsorten
$R^2$ org. LM vs. $H_2O$	0.98
$R^2$ org. LM vs. berechnet	0.94
$R^2$ $H_2O$ vs. berechnet	0.95

- Die bekannte Tatsache, dass die Rohdichten mit Wasser stets etwas tiefer liegen wurde bestätigt
- Bei den in der Schweiz typisch verwendeten Gesteinskörnungen für Asphaltrezepturen hat die Porosität der Gesteinskörnung keinen Einfluss auf das Resultat der Rohdichtebestimmung des Mischgutes.



## 9 Folgerungen

### 9.1 Folgerungen aus den Untersuchungen

Bei allen untersuchten Mischgutsorten liegt die mit Wasser bestimmte Rohdichte etwas tiefer als diejenige, welche mit Toluol bestimmt wurde. Dies deckt sich mit den Beobachtungen einer früheren Arbeit zum gleichen Thema [5].

Die grössten Schwankungen der Rohdichten war bei den Mischgutsorten mit einem Grösstkorn von 22 und 32 mm festzustellen. Es ist plausibel, dass bei grobkörnigem Mischgut die Inhomogenitäten innerhalb der Proben grösser sind. Obwohl die Masse der Laborprobe in Abhängigkeit zum Grösstkorn festgelegt ist, kann bereits bei der Homogenisierung und Probenteilung eine entsprechende Streuung auftreten.

Um die festgestellten Unterschiede in den Rohdichten zu evaluieren, wurden die daraus entstehenden Unterschiede im Hohlraumgehalt berechnet. Bei den grobkörnigen Mischungen (Grösstkorn 22 und 32 mm) entspricht der Rohdichte-Unterschied einer Differenz im Hohlraumgehalt von maximal 0.5 Vol.-%. Bei allen übrigen Mischgutsorten liegt die Differenz im Hohlraumgehalt unterhalb von 0.2 Vol.-%. Es kann somit der generelle Trend beobachtet werden, dass je grösser das Grösstkorn ist, desto grösser ist die Differenz zwischen dem Hohlraumgehalt aus der Rohdichtebestimmung mit org. Lösemittel und dem Hohlraumgehalt der Rohdichtebestimmung mit Wasser bzw. org. Lösemittel

Bei der Bestimmung der Rohdichte von Mischgut aus natürlichen Gesteinskörnungen ist der Einfluss der Porosität der Gesteinskörnungen sehr klein und kann vernachlässigt werden. Falls jedoch künstlich hergestellte Gesteinskörnungen und/oder Recyclingbaustoffe, wie beispielsweise Betongranulat, verwendet werden, müsste dem Einfluss der Porosität Rechnung getragen werden. Dies könnte beispielsweise durch eine Anpassung der Sollwerte für den Hohlraumgehalt erfolgen.

Es kann festgehalten werden, dass das angewendete Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte eines Mischgutes mit Wasser problemlos in die Praxis eingeführt werden kann. Die zu erwartende Differenz der Rohdichten zum bisherigen Verfahren mit Lösemittel kann als vernachlässigbar betrachtet werden.

### 9.2 Bewertung der Unterschiede

Die EN 12697-5 [10] gibt folgende Hinweise bei der Verwendung von Wasser anstelle von Lösemittel:

*Ein Vorteil bei Verwendung von Wasser ist, dass keine gefährlichen Stoffe verwendet werden. Der zweite Vorteil ist, dass die Dichte von Wasser weniger temperaturabhängig ist als die von organischen Lösemitteln, d. h. dass die Temperaturregelung während der Prüfung weniger aufwändig ist.*

*Ein weiterer Vorteil ist, dass die bei Verwendung von porösen Gesteinskörnungen vorhandenen und unter dem Bindemittelfilm befindlichen zugänglichen Luftporen als Teil des Volumens der Gesteinskörnung bestimmt werden (siehe Abb.34).*

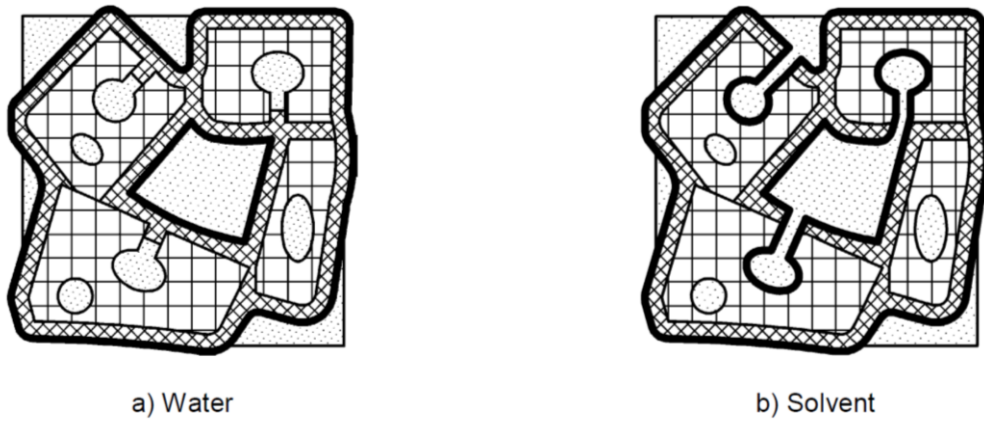


Abb.34 Bild A.1 aus der EN 12697-05

Bei Verwendung von Wasser bleibt der Bitumenfilm auf der Kornoberfläche intakt, und die für Lösungsmittel zugänglichen Poren der Gesteinskörnung bleiben für das Wasser unzugänglich. Diese Poren sind Teil des Volumens der Gesteinskörnung. Technisch gesehen ist dies vorteilhaft, da für Asphalt nur die Hohlräume zwischen den Körnern von Bedeutung sind.

Der Ersatz des Lösemittels durch Wasser weist demnach folgende drei Vorteile auf:

- Die Prüfung ist weniger heikel, was sich im kleineren Wert für die Wiederhol- und Vergleichs-Präzision ausdrückt.
- Die Arbeitsplatzhygiene im Labor wird verbessert
- Technisch werden nur diejenigen Hohlräume erfasst, welche auf das mechanische Verhalten eines verdichteten Asphaltes einen Einfluss haben.

### 9.3 Hinweise für das Nationale Vorwort

Im Hinblick auf das Nationale Element der SN 670 405 [1] werden folgende Punkte zu berücksichtigen sein:

- Es ist deionisiertes Wasser ohne Entspannungsmittel zu verwenden.
- Die Granulation des Mischgutes ist zwingend maschinell durchzuführen.
- Die Art der Vibration hat einen sehr geringen Einfluss; trotzdem empfiehlt es sich dies einheitlich festzulegen. Vorschlag: «die verbleibende Luft ist durch leichtes Klopfen am Vakuumgerät auszutreiben».

## 9.4 Anforderungen an das nationale Vorwort

Aufgrund der Ergebnisse empfehlen wir, dass der Wortlaut im nationalen Vorwort der aktuellen SN 12697-5/AC in folgenden Kapitalen angepasst wird:

### D Prüfmethode (S.4 der SN 640 405)

#### 8. Prüfverfahren nach EN

Die SN EN 12697-5/AC erlaubt die Bestimmung der Rohdichte mit folgenden Prüfverfahren.

- Prüfverfahren A  
Volumetrisch mit Wasser
- Prüfverfahren B  
Auftriebsverfahren
- Prüfverfahren C  
Mathematisch

### E Bestimmungen (S.4 der SN 640 405)

#### 9. Anzuwendende Prüfmethode in der Schweiz

In der Schweiz sind folgende Prüfmethode gemäss SN EN 12697-5/AC anzuwenden

- Prüfverfahren A  
Volumetrisch mit Wasser
- Prüfverfahren C  
Mathematisch

## 9.5 Nationaler Anhang

Hinweise für den zur ergänzenden Nationalen Anhang

### Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 5: Bestimmung der Rohdichte

#### F Prüfmethode

#### 10. Bestimmung der Rohdichte gemäss EN 12697/5-AC [10]

##### 10.1 Prüfmittel

Es ist luftfrei gekochtes deionisiertes (entmineralisiertes) Wasser zu verwenden

##### 10.2 Prüfeinrichtung

Apparatur zur maschinellen Granulierung des Mischgutes.

##### 10.3 Probenvorbereitung

Die Mischgutproben müssen zur Homogenisierung maschinell granuliert werden.

##### 10.4 Versuchsdurchführung

Während der Vakuumphase ist zur Sicherstellung, dass alle Luft aus dem Pyknometer ausgetrieben wird, ein gelegentliches Klopfen am Vakuumgefäss erforderlich.





## Anhänge

<b>I</b>	<b>Mischgutuntersuchungen AC 11 L.....</b>	<b>75</b>
<b>II</b>	<b>Trinkwasseruntersuchungen Oberbuchsites .....</b>	<b>76</b>
<b>III</b>	<b>Prüfbericht EOS .....</b>	<b>77</b>
<b>IV</b>	<b>Vergleich der Wiederholpräzision r mit Wasser und mit Lösemittel der einzelnen Labors .....</b>	<b>87</b>



# I Mischgutuntersuchungen AC 11 L



## Attest

Prüfzeugnisnummer 15-02-1982  
 Gesamtauftrag 02-01-00001-32  
 Probenahme 20.05.2015  
 Probeneingang 13.05.2015  
 Projektleiter Dr. Christian Angst  
 Objekt -  
 Probenahmeort LKW  
 Bemerkungen für Verschleissen von Bohrstellen

Mischgutsorte **AC 11 L**  
 Norm SN 640 431-1-NA

IMP Baute AG  
 Institut für Materialprüfung  
 Hauptstrasse 591  
 4625 Oberbuchsiten

Probe-Nr.	15-03343	Probenahme durch	Boningen
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	13:06
Untermehmung	-	Mischguttemperatur	148.0 [°C]
Aufbereitungsanlage	Belagswerk Boningen AG	Rezept-Nr.	41411400
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	481917
Zielbindemittel	B 70/100	Anteil Ausbausphal	[M.-%]
Zusätze	-	Zusätze	[M.-%]

Prüfergebnisse						
Bindemittel		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung	unzulässige Abweichung
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.22		min. 5.35	
Nadelpenetration	SN 670 511a	[1/10mm]				
Erweichungspunkt Ring und Kugel	SN 670 512	[°C]				
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	[-]				
Elastische Rückstellung	SN 670 547a	[%]				
Module de Richesse	SN 640 431 - 1 - NA	[-]				
PAK in Bitumen	eigenes Verfahren	[mg/kg]			max. 6'000	
Bindemittel-Ablaufest	SN 670 418	[M.-%]			Prüftemperatur [°C]:	
Marshall-Versuch (SN 670 430)	Stahlamboss	1)=bestimmt 2)=berechnet			Verdichtungstemperatur [°C]: 145.0	
Rohdichte Mischgut	2) SN 670 405	[kg/m³]	2429			
Raumdicke	SN 670 406	[kg/m³]	2342			
Hohlraumgehalt	SN 670 408	[Vol.-%]	3.6		2.0 - 5.0	
Bindemittelausfüllungsgrad	SN 670 408	[%]	79.9		max. 86.0	
Marshall Stabilität S	SN 670 434a	[kN]	10.8		min. 5.0	
Marshall Fliesswert F	SN 670 434a	[mm]	1.9		2.0 - 5.0	-0.1
Tangentialer Fliesswert Ft	SN 670 434a	[mm]	1.1			
Marshall-Quotient S/F	SN 670 434a	[kN/mm]	5.7			

Korngrößenverteilung SN 670 402a					
Sollwertbereich der Korngrößenverteilung					
	Sieb	Durchgang	Sollwerte	Bereich der zul. Abweichung	unzulässige Abweichung
	[mm]	M.-%	M.-%	M.-%	M.-%
	45.0				
	31.5				
	22.4				
	16.0	100.0		min. 100.0	
	11.2	99.6		90.0 - 100.0	
	8.0	82.9		72.0 - 93.0	
	5.6	69.2			
	4.0	59.2		47.0 - 70.0	
	2.0	40.6		31.0 - 53.0	
	1.0	26.2		20.0 - 39.0	
	0.5	17.5		14.0 - 29.0	
	0.25	11.7			
	0.125	8.0			
	0.063	6.7		5.0 - 12.0	

Die Ergebnisse entsprechen bis auf die ausgewiesenen Abweichungen den in der Norm geltenden Anforderungen. Das Mischgut ist für die Arbeiten freigegeben.

Oberbuchsiten, den 22.05.2015

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.  
 Es gelten die AGB.

**PAO**  
 C. & P. Paperna  
 Bereichsleiterin Asphalt und Verdichtungen

IMP Baute AG  
 Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591  
 CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99  
 Fax 062 389 98 90

info@impbaute.ch  
 www.impbaute.ch



## II Trinkwasseruntersuchungen Oberbuchsitzen

**i.m.p**

**Attest**

Prüfzeugnis-Nr. **15-02-5424**  
Gesamtauftrag **02-06-00228-5**

**Trinkwasser** 1/2

Probenherkunft **Gemeinde Oberbuchsitzen ZPW**


**Gemeinde Oberbuchsitzen  
Werkkommission  
4625 Oberbuchsitzen**

Probenahme **10.11.2015**  
Probeneingang **10.11.2015**  
Entnahme durch **IMP, Fr. M. Bracher**  
Bemerkungen **---**

Angewandte Methoden: diverse

Parameter	Erfahrungswerte Lebensmittel- Buch 27 A	Werte gem. FIV		Zone 1 15-10141
		Toleranz	Grenz	
Temperatur Wasser °C	8 - 15			13.0
Farbe*	farblos			farblos
Geruch*	ohne Befund			ohne Befund
Geschmack*	ohne Befund			ohne Befund
Trübung TE/F	< 0.5	1.0		0.21
el. Leitfähigkeit 20°C µScm <sup>-1</sup>	200 - 800			316
pH-Wert	6.8 - 8.2			7.95
Ammonium mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l	< 0.05	0.1		< 0.02
Chlorid mg Cl/l	< 20			1.98
Nitrat mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l	< 25	40		8.07
Nitrit mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /l	< 0.01	0.1		< 0.003
Phosphat mg P/l	< 0.05	1		< 0.01
Sulfat mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l	< 50			14.8
Fluorid mg F/l	< 0.5	1.5		---
Säureverbrauch pH4.3 mmol/l				3.78
Carbonathärte mmol/l				1.86
Gesamthärte mmol/l				2.06
Gesamthärte °dH				20.6

**Legende**

-  Toleranzwertüberschreitung
- < Ergebnis kleiner als Bestimmungsgrenze
- Keine Analyse durchgeführt
- \* Nicht akkreditierte Prüfung

**Anforderungen**


Erfahrungswerte Lebensmittelbuch:  
Entsprechen einem unbelasteten Trinkwasser

FIV (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung):



Oberbuchsitzen, 13.11.2015

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchten Proben.  
Es gelten die AGB.

 Dr. Fabrizio Gorla  
Bereichsleiter Analytik

IMP Bautest AG  
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591  
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99  
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch  
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 0016

### III Prüfbericht EOS



**Institut für Straßen- und Eisenbahnenwesen**  
 Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Ralf Roos  
**Prüfstelle nach RAP Stra**  
 Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Plamena Plachkova-Dzhurova  
 Dipl.-Ing. Julian Milch

**Anerkannt für die Bereiche**  
 B3, B4, D0, D3, D4, G3, H, I2, I3, I4

**Alles Bauing, Gebäude 10.81**  
 Otto-Ammann-Platz 1  
 D - 76131 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 721 608-42887  
 Fax: +49 (0) 721 608-45329  
 E-Mail: labor@ise.kit.edu  
 Web: www.ise.kit.edu

KIT-Campus Süd | Otto-Ammann-Platz 1 | 76131 Karlsruhe

**BSW Stahl-Nebenprodukte GmbH (BSN)**  
 z. Hd. Herrn Dr.-Ing. Wetzel  
 Graudenzer Str. 33  
 77694 Kehl/Rhein

Unser Zeichen: pp  
 Datum: 05.09.2014

D: RP Freiburg  
 D: FEHS-Institut

#### Freiwillige Güteüberwachung von Gesteinskörnungen

nach den „Empfehlungen für die Durchführung der Überwachung und Zertifizierung von Gesteinskörnungen nach den europäischen Konformitätsnachweisverfahren System 2+“

Prüfhäufigkeit: 2-mal im Jahr

#### 1. Überwachungszeugnis 2014

Prüfbericht-Nr.: 276/14

- |          |                          |   |
|----------|--------------------------|---|
| <b>1</b> | <b>Vorgang</b>           |   |
| 1.1      | Auftraggeber/Hersteller: | BSW Stahl-Nebenprodukte GmbH (BSN)<br>Graudenzer Str. 33<br>77 694 Kehl/Rhein   |
| 1.2      | Auftrag:                 | Überwachungsvertrag vom 30.06./10.07.2006   |
| 1.3      | Werk:                    | BSW Stahl-Nebenprodukte GmbH (BSN)<br>Graudenzer Str. 33<br>77 694 Kehl/Rhein   |
| 1.4      | Probenahme:              | Durch Frau Dr.-Ing Plachkova-Dzhurova (ISE)<br>im Beisein von Herrn Otto als Werksvertreter<br>am 16.06.2014 / Nachprüfung vom 07.08.2014 |
| 1.5      | Kennzeichnung der Probe: | EOS 2/5 mm, EOS 5/8 mm, EOS 8/11 mm,<br>EOS 11/16 mm, EOS 16/22 mm und 0/2 mm<br>zur Bestimmung der Raumbeständigkeit                     |
| 1.6      | Material <sup>1</sup> :  | Aufbereitete Gesteinskörnungen aus Elektro-<br>ofenschlacke (EOS)   |

<sup>1</sup> Angaben des Auftraggebers



- 1.7 Zweck der Probenahme: Prüfung von Gesteinskörnungen entsprechend Pos. 2.1, Tabelle B.4
- 1.8 Entnahmestelle der Probe: Halde   
Silo   
Dosierband   
Sieb
- 1.9 Eingang der Probe: 16.06.2014 / Nachprüfung vom 07.08.2014

## 2 Vorschriften, Richtlinien und weitere Grundlagen

- 2.1 „Empfehlungen für die Durchführung der Überwachung und Zertifizierung von Gesteinskörnungen nach den europäischen Konformitätsnachweisverfahren System 2+“ (Empfehlungen), Deutscher Gesteinsverband e.V. und Bundesverband der Deutschen Kies- und Sandindustrie e.V., Oktober 2004
- 2.2 Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB 04), Ausgabe 2004, Fassung 2007
- 2.3 Technischen Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt StB), Ausgabe 2007
- 2.4 Prüfzeugnis Nr. 14S1062 von IfM Schellenberg Leipheim vom 02.09.2014
- 2.5 Untersuchungsergebnisse gemäß Prüfbericht-Nr. F14-108819 zu Probenummer 276/14 des Chemischen Labors Dr. Vogt vom 25.07.2014
- 2.6 Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TP Gestein-StB), Ausgabe 2008

### 3 Eigenschaften der Gesteinskörnungen

#### 3.1 Bestimmung der Korngrößenverteilung - Siebverfahren;

Prüfverfahren: DIN EN 933-1

##### 3.1.1 Korngrößenverteilung (Feinanteil, Unter- und Überkorn)

Korngruppe 2/5 mm

Kategorie Gc90/10

1. FÜ 2014

Kornklasse	Anteil	Ist-Werte			Soll-Werte [2.2] Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße
		Siebdurchgang	Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße		
[mm]	[M.-%]	[M.-%]	[mm]	[M.-%]	[M.-%]
0 - 0,063	2	2	< 0,063 mm	2	≤ 2
0,063 - 1	3	5	< 1 mm	5	0 - 5
1 - 2	1	6	< 2 mm	6	0 - 10
2 - 5,6	91	97	-	-	-
5,6 - 8	3	100	> 5,6 mm	3	1 - 10 *
8 - 11,2	0	100	> 8 mm	0	0 - 2
> 11,2	0	100	> 11,2 mm	0	0

Korngruppe 5/8 mm

Kategorie Gc90/15

1. FÜ 2014

Kornklasse	Anteil	Ist-Werte			Soll-Werte [2.2] Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße
		Siebdurchgang	Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße		
[mm]	[M.-%]	[M.-%]	[mm]	[M.-%]	[M.-%]
0 - 0,063	2	2	< 0,063 mm	2	≤ 2
0,063 - 2	2	4	< 2 mm	4	0 - 5
2 - 5,6	6	10	< 5,6 mm	10	0 - 15
5,6 - 8	83	93	-	-	-
8 - 11,2	7	100	> 8 mm	7	1 - 10*
11,2 - 16	0	100	> 11,2 mm	0	0 - 2
> 16	0	100	> 16 mm	0	0

Korngruppe 8/11 mm

Kategorie Gc90/15

1. FÜ 2014

Kornklasse	Anteil	Ist-Werte**			Soll-Werte [2.2] Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße
		Siebdurchgang	Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße		
[mm]	[M.-%]	[M.-%]	[mm]	[M.-%]	[M.-%]
0 - 0,063	1	1	< 0,063 mm	1	≤ 1
0,063 - 4	4	5	< 4 mm	5	0 - 5
4 - 8	9	14	< 8 mm	14	0 - 15
8 - 11,2	86	100	-	-	-
11,2 - 16	0	100	> 11,2 mm	0	1 - 10*
16 - 22,4	0	100	> 16 mm	0	0 - 2
> 22,4	0	100	> 22,4 mm	0	0

\* Der Rückstand darf auch kleiner als 1 M.-% sein, wenn der Lieferant eine typische Korngrößenverteilung (S) erklärt hat.

\*\* Werte entstammen der Nachprüfung

## Korngruppe 11/16 mm

## Kategorie Gc90/15

1. FÜ 2014

Kornklasse [mm]	Anteil [M.-%]	Ist-Werte**				Soll-Werte [2.2]
		Siebdurchgang [M.-%]	Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße [mm] [M.-%]		Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße [M.-%]	
0 - 0,063	1	1	< 0,063 mm	1	≤ 1	
0,063 - 5,6	1	2	< 5,6 mm	2	0 - 5	
5,6 - 11,2	8	10	< 11,2 mm	10	0 - 15	
11,2 - 16	87	97	-	-	-	
16 - 22,4	3	100	> 16 mm	3	1 - 10*	
22,4 - 31,5	0	100	> 22,4 mm	0	0 - 2	
> 31,5	0	100	> 31,5 mm	0	0	

## Korngruppe 16/22 mm

## Kategorie Gc90/15

1. FÜ 2014

Kornklasse [mm]	Anteil [M.-%]	Ist-Werte				Soll-Werte [2.2]
		Siebdurchgang [M.-%]	Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße [mm] [M.-%]		Siebdurchgang oder Siebrückstand bei Siebgröße [M.-%]	
0 - 0,063	1	1	< 0,063 mm	1	≤ 1	
0,063 - 8	1	2	< 8 mm	2	0 - 5	
8 - 16	9	11	< 16 mm	11	0 - 15	
16 - 22,4	87	98	-	-	-	
22,4 - 31,5	2	100	> 22,4 mm	2	1 - 10*	
31,5 - 45	0	100	> 31,5 mm	0	0 - 2	
> 45	0	100	> 45 mm	0	0	

## 3.1.2 Bestimmung der Feinanteile

Prüfverfahren: DIN EN 933-1

Korngruppe [mm]	Ist-Werte		Feinanteil	Kategorie	Durchgeführt
	[M.-%]	[M.-%]	Soll-Werte [2.2] [M.-%]		
2/5	2	≤ 2		f <sub>2</sub>	1. FÜ 2014
5/8	2	≤ 2		f <sub>2</sub>	1. FÜ 2014
8/11	1**	≤ 1		f <sub>1</sub>	1. FÜ 2014
11/16	1**	≤ 1		f <sub>1</sub>	1. FÜ 2014
16/22	1	≤ 1		f <sub>1</sub>	1. FÜ 2014

\* Der Rückstand darf auch kleiner als 1 M.-% sein, wenn der Lieferant eine typische Korngrößenverteilung (S) erklärt hat.

\*\* Werte entstammen der Nachprüfung



## Bestimmung der Kornform (Kornformkennzahl)

Prüfverfahren: DIN EN 933-4

durchgeführt in 1. FÜ 2014

Korngruppe	Anteil an schlecht geformten Körnern		
	Ist-Werte	Soll-Werte [2.2]	Kategorie
[mm]	[M.-%]	[M.-%]	-
5/8	0	≤ 15	SI <sub>15</sub>
8/11	0	≤ 15	SI <sub>15</sub>
11/16	0	≤ 15	SI <sub>15</sub>
16/22	0	≤ 15	SI <sub>15</sub>

## 3.2 Bestimmung des Anteils gebrochener Körner in groben Gesteinskörnungen\*

Prüfverfahren: DIN EN 933-5

Anteil vollständig gebrochener Körner	Ist:	Kategorie C <sub>100/0</sub>	100	M.-%
	Soll [2.2]:	Kategorie C <sub>100/0</sub>	100	M.-%

\* nach Pos. [2.2] ist die Prüfung nur bei Gesteinskörnungen aus gebrochenem Kies erforderlich

## 3.3 Bestimmung der Rohdichte, Wasseraufnahme und Schüttdichte

Prüfverfahren: DIN EN 1097-6 und DIN EN 1097-3, durchgeführt in 1. FÜ 2014

Rohdichte	Einheit	Korngruppe in mm				
		2/5	5/8	8/11	11/16	16/22
$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	3,86	3,98	3,91	3,91	3,93
$\rho_{td}$	g/cm <sup>3</sup>	3,55	3,71	3,64	3,56	3,57
$\rho_{std}$	g/cm <sup>3</sup>	3,63	3,77	3,71	3,65	3,66
$\rho_p$	g/cm <sup>3</sup>	3,83	3,94	3,88	3,89	3,92
Wasseraufnahme W <sub>24</sub>	%	2,3	1,8	1,9	2,5	2,6
Schüttdichte	g/cm <sup>3</sup>	1,96	2,00	1,91	1,86	1,73

## 3.4 Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung (Los Angeles-Prüfverfahren)

Prüfverfahren: DIN EN 1097-2, Abschnitt 5 und Anhang B durchgeführt in 1. FÜ 2014

Los Angeles-Koeffizient (Prüfkörnung 10/14 mm)	Ist:		14
	Soll [2.2]:	Kategorie LA <sub>20</sub>	≤ 20

3.5	Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung ( Schlagversuch)		
	Prüfverfahren:	DIN EN 1097-2, Abschnitt 6	durchgeführt in 2. FÜ 2013
	Schlagzertrümmerungswert SZ (8/12,5)	Ist:	14,4 %
		Soll [2.2]:	Kategorie SZ <sub>10</sub> ≤ 18 %
3.6	Bestimmung des Widerstandes gegen Hitzebeanspruchung (Los Angeles)		
	Prüfverfahren:	DIN EN 1367-5 / DIN EN 1097-2	durchgeführt in 1. FÜ 2014
	Absplitterung nach der Hitzebeanspruchung < 5 mm	Ist:	0,1 M.-%
	Los Angeles-Koeffizient nach der Hitzebeanspruchung	Ist:	15
	Festigkeitsverlust bei Hitzebeanspruchung V <sub>LA</sub>	Ist:	1
3.7	Bestimmung des Widerstandes gegen Hitzebeanspruchung (Schlagversuch)		
	Prüfverfahren:	DIN EN 1367-5	durchgeführt in 1. FÜ 2012
	Absplitterung nach der Hitzebeanspruchung < 5 mm	Ist:	0,1 M.-%
	Schlagzertrümmerungswert SZ nach der Hitzebeanspruchung	Ist:	17,3 %
	Festigkeitsverlust bei Hitzebeanspruchung V <sub>SZ</sub>	Ist:	-0,3 %
3.8	Bestimmung des Widerstandes gegen Polieren (PSV)		
	Prüfverfahren:	DIN EN 1097-8	durchgeführt in 1. FÜ 2014
	Polierresistenz (PSV-Wert)	Ist [2.4]:	Kategorie PSV <sub>55</sub> 55
	<i>Kotrollgestein: Hermholzer Granit</i>		
	Asphaltdeckschichten (Asphaltbeton, Gussasphalt, Splittmastixasphalt, und Asphaltmastix)	Soll [2.2]:	Kategorie PSV <sub>51</sub> ≥ 51
	Asphalttragdeckschicht	Soll [2.2]:	Kategorie PSV <sub>42</sub> ≥ 42
	Offenporiger Asphalt	Soll [2.2]:	Kategorie PSV <sub>54</sub> ≥ 54



- 3.9 Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel  
 Prüfverfahren: DIN EN 1367-1 durchgeführt in 1. FÜ 2013
- |   |             |                          |          |
|---|-------------|--------------------------|----------|
| Massenverlust nach der Frost-<br>Tau-Wechsel-Prüfung an der<br>Prüfkörnung 5/8 mm | Ist:        | 0,2                      | M.-%     |
|   | Soll [2.2]: | Kategorie F <sub>1</sub> | ≤ 1 M.-% |
- 3.10 Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tausalz-Beanspruchung  
 Prüfverfahren: DIN EN 1367-6 durchgeführt in 1. FÜ 2013  
 (mit 1 %-iger NaCl-Lösung)
- |   |             |      |      |
|---|-------------|------|------|
| Massenverlust nach der Frost-<br>Tausalz-Prüfung an der Prüf-<br>körnung 5/8 mm | Ist:        | 0,3  | M.-% |
| Verwendung bei regionaler<br>Erfahrung  | Soll [2.2]: | ≤ 8* | M.-% |
| * Ab Klimazone III (RStO 01)  | Soll [2.2]: | ≤ 5  | M.-% |
- 3.11 Bestimmung der Affinität zwischen Gesteinskörnungen und Bitumen  
 Prüfverfahren: DIN EN 12697-11, Verfahren A durchgeführt in 1. FÜ 2014  
 Flaschen-Röllverfahren
- |   |      |    |   |
|---|------|----|---|
| mittlerer Grad der Umhüllung der<br>Kornklasse 8/11 mm mit Bitumen<br>Nynas 50/70 nach 6 Stunden  | Ist: | 97 | % |
| mittlerer Grad der Umhüllung der<br>Kornklasse 8/11 mm mit Bitumen<br>Nynas 50/70 nach 24 Stunden | Ist: | 75 | % |
- 3.12 Bestimmung der Raumbeständigkeit  
 Prüfverfahren: DIN EN 1744-1, Abschnitt 19.3 durchgeführt in 1. FÜ 2014
- |  |             |                            |              |
|--|-------------|----------------------------|--------------|
|  | Ist:        | 0/22 mm                    | 0,1 Vol.-%   |
|  | Soll [2.2]: | Kategorie V <sub>3,5</sub> | ≤ 3,5 Vol.-% |
- 3.13 Bestimmung der groben organischen Verunreinigungen \*  
 Prüfverfahren: DIN EN 1744-1, Abschnitt 14.2 durchgeführt in 1. FÜ 2014

- 3.14 Bestimmung der organischen Verunreinigungen (Prüfung mit Natronlauge) \*  
 Prüfverfahren: DIN EN 1744-1, Abschnitt 15.1 durchgeführt in 2. FÜ 2006

Prüflüssigkeitsfarbe in Vergleich zu Farbbezugslösung (Prüfkörnung 2/5 mm) Ist: farblos

Keine Hinweise auf das Vorhandensein von org. Verunreinigungen

\* Organische Parameter können aufgrund der hohen Entstehungstemperaturen und Lagerbedingungen nicht enthalten sein.

- 3.15 Umweltrelevante Merkmale  
 Prüfverfahren: TP Gestein-StB, Teil 7.1.1 und 7.3 durchgeführt in 1. FÜ 2014

Prüfkörnung 8/11 mm

Parameter*	Einheiten	Ist-Wert [2.5]	Richt- und Grenzwerte für das Eluat [2.2]			Toleranz (absolut) bei Überschreitung [2.2]		
			SWS-1	SWS-2	SWS-3	SWS-1	SWS-2	SWS-3
El. Leitfähigkeit	µS/cm	159	1.500	1.500	1.500	-	-	-
pH-Wert	-	10,4	10 - 12,5	10- 12,5	10-12,5	-	-	-
Chrom, ges.	µg/L	n.b.	30	75	100	-	-	-
Vanadium	µg/L	170	50	100	250	+10	+20	-

\* Fluorid wurde nicht bestimmt, da laut Hersteller keine fluoridhaltigen Zusätze im Verfahren verwendet werden.

n.b. = nicht bestimmbar

#### 4 Zusammenfassende Beurteilung

Bei den untersuchten Proben handelt es sich um Elektroofenschlacke, die als Korngruppen/Lieferkörnungen 2/5 mm, 5/8 mm, 8/11 mm, 11/16 mm und 16/22 mm aufbereitet werden.

Die Anforderungen an die Korngrößenverteilung (Position 3.1.1) der Korngruppen/Lieferkörnungen 2/5 mm, 5/8 mm, 8/11 mm, 11/16 mm und 16/22 mm sind erfüllt.

Die Feinanteile < 0,063 mm der Korngruppen/Lieferkörnungen 2/5 mm, 5/8 mm, 8/11 mm, 11/16 mm und 16/22 mm (Position 3.1.2) erfüllen die Anforderungen der entsprechenden Kategorien.

Der ermittelte Anteil an schlecht geformten Körnern (Position 0) in den Korngruppen/Lieferkörnungen 5/8 mm, 8/11 mm, 11/16 mm und 16/22 mm erfüllt die Anforderung der Kategorie S<sub>15</sub>.

Die o.g. Korngruppen/Lieferkörnungen werden durch das Brechen gewonnen und sind somit der Kategorie  $C_{100/0}$  (Position 3.2) zuzuordnen.

Die Prüfung mit dem Los Angeles-Verfahren an der Kornklasse 10/14 mm ergab einen Los Angeles-Koeffizient von 14 (Position 3.4). Die untersuchten Korngruppen wiesen somit einen ausreichenden Widerstand gegen eine mechanische Beanspruchung auf.

Die Absplitterung nach Hitzebeanspruchung der Kornklasse 10/14 mm lag bei 0,1 M.-%. Der Los Angeles-Koeffizient nach Hitzebeanspruchung ergab einen Festigkeitsverlust von 1 (Position 3.6).

Die Bestimmung der Raumbeständigkeit (Position 3.12) mit dem Dampfversuch erfolgt an einem Gemisch 0/22 mm mit festgelegter Zusammensetzung. Mit der ermittelten Volumenzunahme von 0,1 Vol.-% gelten die Anforderung der Kategorie  $V_{3,5}$  als erfüllt.

Die Anforderungen an den Widerstand gegen Polieren sind mit einem PSV-Wert von 55 für alle Kategorien bzw. Anwendungsbereiche (Position 3.8) erfüllt.

Der ermittelte Gehalt an groben organischen Verunreinigungen (Position 3.13) erfüllt die Anforderung der Kategorie  $m_{LPC} 0,10$ .

Nach der Bestimmung der umweltrelevanten Merkmale können die untersuchten Gesteinskörnungen als umweltverträglich eingestuft werden, da die Ergebnisse der Eluatuntersuchung zeigen, dass nur ein geringer Teil der Inhaltsstoffe mobilisiert wird. Die aufbereiteten Gesteinskörnungen erfüllen aus der Sicht der Umweltverträglichkeit (Position 3.15) die Richt- und Grenzwerte der Klasse SWS-3 nach Position 2.2.

Bei der Erstellung von Eignungsprüfungen für Asphaltmischgut unter Verwendung von Elektroofenschlacke ist die im Vergleich zu üblichen Gesteinskörnungen höhere Rohdichte und damit verbunden die Festlegung des Bitumengehaltes zu beachten.

Insgesamt können die untersuchten Gesteinskörnungen nach [2.2] bzw. [2.3] für folgende Verwendungsbereiche eingesetzt werden:

	AC T	AC TD	AC B	AC D, SMA, MA	PA
2/5	x	x	x	x	x
5/8	x	x	x	x	x
8/11	x	x	x	x	x
11/16	x	x	x	x	x
16/22	x	x	x	x	x



Dr.-Ing. Plamena Plachkova-Dzhurova  
 Prüfstellenleiterin nach RAP Stra

## IV Vergleich der Wiederholpräzision r mit Wasser und mit Lösemittel der einzelnen Labors

### Rohdichte mit Wasser

Wasser						
Labor	$\Delta EW [Mg/m^3]$		Stabw $\sigma = 0.004 Mg/m^3*$		Wiedpräz $r = 0.011 Mg/m^3*$	
	SMA 8	AC T 32 S	SMA 8	AC T 32 S	SMA 8	AC T 32 S
1	0.006	0.021	0.002	0.008	0.006	0.022
2	0.002	0.009	0.001	0.004	0.002	0.010
3	0.004	0.007	0.002	0.003	0.007	0.007
4	0.004	0.010	0.004	0.005	0.011	0.013
5	0.008	0.012	0.004	0.005	0.010	0.014
6	0.018	0.020	0.006	0.008	0.018	0.021
7	0.007	0.020	0.004	0.007	0.010	0.019
8	0.022	0.025	0.008	0.012	0.022	0.034
9	0.005	0.007	0.002	0.003	0.006	0.007
10	0.006	0.014	0.003	0.005	0.007	0.015
Mittelwert	0.008	0.015	0.004	0.006	0.010	0.016

Wert > normativer Wert in SN 670 405

1. \* gemäss SN 670 405

### Rohdichte mit organischem Lösemittel

org LM						
Labor	$\Delta EW [Mg/m^3]$		Stabw $\sigma = 0.007 Mg/m^3*$		Wiedpräz $r = 0.019 Mg/m^3*$	
	SMA 8	AC T 32 S	SMA 8	AC T 32 S	SMA 8	AC T 32 S
1	0.010	0.023	0.004	0.009	0.01	0.024
2	0.004	0.010	0.001	0.005	0.004	0.013
3	0.005	0.005	0.002	0.002	0.006	0.005
4	0.015	0.017	0.005	0.006	0.014	0.016
5	0.009	0.020	0.003	0.008	0.009	0.023
6	0.013	0.020	0.005	0.007	0.014	0.02
7	0.010	0.018	0.005	0.006	0.013	0.016
8	0.003	0.026	0.001	0.008	0.004	0.023
9	0.005	0.006	0.002	0.002	0.005	0.005
10	0.005	0.015	0.002	0.005	0.006	0.014
Mittelwert	0.0079	0.016	0.003	0.0058	0.0085	0.0159

Wert > normativer Wert in SN 670 405





## Glossar

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
VAB	Verband akkreditierter Baustofflabors
AC T	Asphaltbeton Tragschicht
SMA	Splitt-Mastix-Asphalt
CEN	Europäisches Komitee für Normung (CEN)
EN	Europäische Norm
SN	Schweizer Norm (SN)
VSS	Verband der Schweizer Strassenbauer
ASTRA	Bundesamt für Strassenbau
FGSV	Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen
EOS	Elektro Ofen Schlacke
AAR	Alkali Aggregat Reaktion
GK	Gesteinskörnung
PmB	Polymer modifiziertes Bitumen
AC EME	Asphalt Beton mit erhöhtem Modul
r	Wiederholpräzision
R	Vergleichspräzision

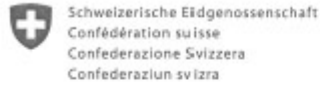


## Literaturverzeichnis

- [1] SN 670 405 Asphalt Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 5: Bestimmung der Rohdichte
- [2] EN 13108-20:2006 Asphaltmischgut – Mischanforderungen - Erstprüfungen
- [3] [http://anorganik.chemie.uni-bonn.de/akstreubel/BA/Toluol\\_SDS.pdf](http://anorganik.chemie.uni-bonn.de/akstreubel/BA/Toluol_SDS.pdf)
- [4] Qualitätsanforderungen bitumenhaltiger Schichten – Massnahmen bei Abweichungen, Ausgabe 2010 V1.07, Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern, 2010
- [5] Angst, C., Deschwanden, H.: Bestimmung der Dichte mit bituminösen Mischgut mit Wasser., ASTRA Bericht 447 (199)
- [6] Lehné, R., Eulitz, H-J.: Bestimmung der Rohdichte von Asphalt mit Wasser – Ergebnisse eines Rindversuches, Strasse und Autobahn, Jahrgang 57, 12 (2006)
- [7] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: Arbeitsanleitungen zur Prüfung von Asphalt (ALP A-StB) Teil 10: Bestimmung der Rohdichte von Asphalt mit Wasser, Ausgabe 2003
- [8] AS 2891.7.1-2004, Methods of sampling and testing asphalt – Determination of maximum density of asphalt – Water displacement method
- [9] WA 732.2, Maximum density of asphalt: Rice method, Main Roads Western Australia (2007)
- [10] EN 12697-5: Asphalt-Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 5: Bestimmung der Rohdichte
- [11] TP Asphalt-StB, Teil 5 „Rohdichte von Asphalt, FGSV Verlag, Köln – FGSV 756/5
- [12] SN 670 903-6: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und Wasseraufnahme



# Projektabschluss



Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK Formular Nr. 3: Projektabschluss

Version vom 09.10.2013

erstellt / geändert am: 24.01.2018

### Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2011/509

Projekttitel: Bestimmung der Rohdichte von Asphalt mit Wasser

Enddatum:

### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Forschungsarbeit zeigte, dass die Rohdichtebestimmung mit org. Lösemittel durch Wasser ersetzt werden kann, wenn folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Die Mischgutprobe ist vor der Bestimmung maschinell zu granulieren
- Es ist entionisiertes Wasser ohne Entspannungsmittel zu verwenden.
- Beim anschließenden Teilvakuumieren ist durch leichtes Klopfens während des Vakuumierungsvorgangs zu sorgen, dass das Wasser schneller ausgetrieben wird.

Die Bestimmung der Rohdichte von 10 verschiedenen Mischgutsorten mit org. Lösemittel und Wasser zeigten, dass die Werte die mit Wasser als Prüfmittel bestimmt wurden durchwegs tiefer waren als diejenigen bestimmt mit org.LM.

Der statistische Analyse des Ringversuch mit 10 Labors zur Rohdichtebestimmung der beiden Mischgutsorten SMA 8 und AC T32 S zeigte, dass die Prüfung der Rohdichte mit Wasser generell etwas tiefere Werte liefert als die bisherige Prüfung mit Lösemitteln. Der Unterschied beträgt ca. 0.010 Mg/m<sup>3</sup> was einen Unterschied im Hohlraumgehalt von ca. 0.4 Vol.-% ausmacht. Die Wiederholpräzision r (gleicher Prüfer, gleiche Geräte) liegt beim grobkörnigen Mischgut (32 mm) deutlich höher als beim 8-er Mischgut; sowohl bei der Prüfung mit Wasser als auch mit Lösemittel. Die Werte lagen für die Präzision r und R bei den Ringversuchen mit Lösemittel teilweise deutlich unter den Werten der Norm. Bei den Ringversuchen mit Wasser hingegen wurden in Werte der Norm in 3 von 4 Fällen übertroffen. Wir gehen davon aus, dass dies auf die mangelnde Erfahrung der Prüfstellen mit dieser Prüfung zurückzuführen ist

Zielerreichung:

Es kann festgehalten werden, dass das angewendete Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte eines Mischgutes mit Wasser problemlos in die Praxis eingeführt werden kann. Die zu erwartende Differenz der Rohdichten zum bisherigen Verfahren mit Lösemittel kann als vernachlässigbar betrachtet werden.

Der Ersatz des Lösemittels durch Wasser weist demnach folgende drei Vorteile auf:

- Die Prüfung ist weniger heikel, was sich im kleineren Wert für die Wiederhol- und Vergleichs-Präzision ausdrückt.
- Die Arbeitsplatzhygiene im Labor wird verbessert
- Technisch werden nur diejenigen Hohlräume erfasst, welche auf das mechanische Verhalten eines verdichteten Asphaltes einen Einfluss haben.

Folgerungen und Empfehlungen:

Hinweise für das Nationale Vorwort

Im Hinblick auf das Nationale Element der SN 670 405 werden folgende Punkte zu berücksichtigen sein:

- Es ist deionisiertes Wasser ohne Entspannungsmittel zu verwenden.
- Die Granulation des Mischgutes ist zwingend maschinell durchzuführen.
- Die Art der Vibration hat einen sehr geringen Einfluss; trotzdem empfiehlt es sich dies einheitlich festzulegen. Vorschlag: «die verbleibende Luft ist durch leichtes Klopfen am Vakuumgerät auszutreiben».

Publikationen:

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Angst

Vorname: Christian

Amt, Firma, Institut: IMP Bauteest AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die sauber geplante und durchgeführte Parameterstudie erlaubt eine risikofreie Einführung der neuen EN-Prüfmethode in der Schweiz. Insbesondere der Nachweis, dass die maschinelle Granulation unbedingt gefordert werden muss, ist von großer praktischer Bedeutung, da ohne diese Präzisierung unbrauchbare Resultate zu erwarten sind. Zudem zeigt der Ringversuch, dass die Streuung zwischen den Labors eher mehr ins Gewicht fällt, als die Änderung der Methode.

Von Bedeutung ist somit die Aussage, dass die Abweichung zwischen der alten Schweizer Norm und der neuen Europäischen Norm so gering sind, dass kein Zwang zur Änderung von Anforderungsnormen besteht.

Umsetzung:

Die Umsetzung geschieht allein durch das Anpassen der Prüfnormen, siehe daher Einfluss auf das Normenwerk.

weitergehender Forschungsbedarf:

Keiner

Einfluss auf Normenwerk:

Die nationalen Elemente der Prüfmethode sind zu ersetzen. Die neue Norm muss die von Bericht geforderten Präzisierungen enthalten.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Gubler

Vorname: Remy

Amt, Firma, Institut: Privat, Alte Strasse 35, 7430 Thusis

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:







## Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch) (*Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.