



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

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

# **Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln**

**Recyclage à froid des RC-Grave de granulats asphalté avec des liants bitumineux**

**Cold recycling of reclaimed asphalt with bituminous binders**

**CONSULTEST AG, Institut für Materialprüfung, Beratung und Qualitätssicherung im Bauwesen**  
**M. Kronig, Dipl. Ing. ETH**  
**D. Niederberger, Dr. sc. ETH Zürich**  
**A. Tobler, Dipl. Ing. FH**

**Forschungsprojekt VSS 2002/401 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**März 2014**

**1450**

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. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

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)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

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

# **Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln**

**Recyclage à froid des RC-Grave de granulats asphalte avec des liants bitumineux**

**Cold recycling of reclaimed asphalt with bituminous binders**

**CONSULTEST AG, Institut für Materialprüfung, Beratung und Qualitätssicherung im Bauwesen**  
**M. Kronig, Dipl. Ing. ETH**  
**D. Niederberger, Dr. sc. ETH Zürich**  
**A. Tobler, Dipl. Ing. FH**

**Forschungsprojekt VSS 2002/401 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**März 2014**

**1450**

# Impressum

## Forschungsstelle und Projektteam

### Projektleitung

Manfred Kronig

### Mitglieder

Alain Tobler

Dorothea Niederberger

## Federführende Fachkommission

Fachkommission 4: Baustoffe

## Begleitkommission EK 4.03

### Präsident

Hansruedi Eberhard

### Mitglieder

Hans-Peter Beyeler

Christoph Gassmann

Ernst Honegger

Martin Hugener

Theodor Kretz

Manfred Kronig

Robin Quartier

Michel Schurter

Josef Schwendeler

Bruno Suter

Rolf Werner

## Bezugsquelle

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

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>9</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>Vorgehen</b> .....	<b>16</b>
3.1	Arbeitsprogramm.....	16
3.2	Prüfplan .....	17
<b>4</b>	<b>Aktueller Stand der Technik</b> .....	<b>18</b>
4.1	Mischgutproduktion .....	18
4.1.1	Methoden .....	18
4.1.2	Praxis .....	19
4.2	Einsatz im Strassenoberbau .....	20
4.2.1	Dimensionierung .....	20
4.2.2	Praxis .....	21
4.3	Normative Grundlagen .....	22
4.3.1	Schweiz .....	22
4.3.2	Ausland .....	24
<b>5</b>	<b>Probenmaterial und Prüfkörper</b> .....	<b>30</b>
5.1	Kaltmischgut mit Schaumbitumen.....	30
5.1.1	Herstellung Probenmaterial.....	30
5.1.2	Ausgangsbaustoffe .....	30
5.1.3	Rezepturen.....	30
5.2	Kaltmischgut mit Bitumenemulsion .....	31
5.2.1	Herstellung Probenmaterial.....	31
5.2.2	Ausgangsbaustoffe .....	32
5.2.3	Rezepturen.....	32
5.3	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper.....	33
5.3.1	Prüfkörperherstellung Allgemeines .....	33
5.3.2	Prüfkörperherstellung Proctorversuch .....	33
5.3.3	Prüfkörperherstellung CBR-Versuch (California bearing ratio).....	34
5.3.4	Prüfkörperherstellung Marshall-Versuch.....	35
5.3.5	Prüfkörperherstellung Duriez-Versuch .....	35
5.3.6	Lagerung der Prüfkörper.....	36
<b>6</b>	<b>Prüfprogramm</b> .....	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Laborteil: Resultate und Beurteilung</b> .....	<b>40</b>
7.1	Einfluss der Prüfkörperherstellung auf die Festigkeit .....	40
7.2	Schaumbitumen für KMF: Einfluss diverser Parameter auf die Festigkeit .....	41
7.2.1	Raumdichte, resp. Prüfkörperherstellung .....	41
7.2.2	Prüfkörperalter.....	41
7.2.3	Wassereinwirkung.....	42
7.2.4	Prüftemperatur .....	44
7.2.5	Rezeptur.....	45
7.3	Emulsion für KMF: Einfluss diverser Parameter auf die Festigkeit .....	47
7.3.1	Raumdichte, resp. Prüfkörperherstellung .....	47

7.3.2	Prüfkörperalter .....	49
7.3.3	Wassereinwirkung.....	49
7.3.4	Prüftemperatur .....	50
7.3.5	Rezeptur.....	51
7.4	Vergleich Kaltmischfundationsschicht – Heissmischfundationsschicht.....	54
7.4.1	Festigkeit.....	54
7.4.2	Wasserempfindlichkeit .....	55
7.4.3	Verformungsbeständigkeit .....	56
<b>8</b>	<b>Praxisteil: Resultate und Beurteilung.....</b>	<b>58</b>
8.1	Vergleich Labormodell mit Praxis .....	58
8.1.1	Vergleich Raumdichte Laborprüfkörper – eingebaute Schicht .....	58
8.1.2	Vergleich Verformungsbeständigkeit Laborprüfkörper – Bohrkerne .....	59
8.2	Verdichtungskontrollen .....	60
8.2.1	Bohrkerne .....	60
8.2.2	Isotopenmessungen.....	62
8.3	Tragfähigkeitsmessungen.....	63
8.4	Lagerfähigkeit von Kaltmischgut.....	67
8.4.1	Emulsionsgebundenes Mischgut, Lagerung im Labor.....	67
8.4.2	Schaumgebundenes Mischgut, Lagerung am Haufen im Freien .....	69
<b>9</b>	<b>Resultatezusammenfassung und Schlussfolgerungen.....</b>	<b>71</b>
9.1	Prüfkörperherstellung.....	71
9.2	Prüfparameter und Prüfbedingungen .....	71
9.2.1	Festigkeit.....	71
9.2.2	Prüfkörperalter .....	71
9.2.3	Wasserempfindlichkeit .....	71
9.2.4	Prüftemperatur .....	72
9.3	Rezepturen .....	72
9.3.1	Einfluss Bindemittel.....	72
9.3.2	Einfluss Ausgangsmaterial.....	72
9.3.3	Vergleich Kaltmischgut (KMF) mit Heissmischgut (AC F) .....	72
9.3.4	Emulsion vs. Schaumbitumen .....	72
9.4	Praxis .....	72
9.4.1	Verdichtungskontrollen .....	72
9.4.2	Tragfähigkeitsmessungen und Wartezeit für die Überbauung mit der nächsten Schicht.	73
9.4.3	Lagerfähigkeit .....	73
<b>10</b>	<b>Empfehlungen für die Normenrevision .....</b>	<b>74</b>
	<b>Anhänge.....</b>	<b>76</b>
	<b>Abkürzungen .....</b>	<b>127</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>129</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen .....</b>	<b>134</b>

## Zusammenfassung

Das Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln bietet verschiedene Vorteile: zum einen trägt der Einsatz von Ausbauasphalt dazu bei, die bestehenden Überschüsse abzubauen, zum anderen stellt die Kaltaufbereitung mit geringem Energiebedarf und tiefen Luftemissionen eine ökologisch sinnvolle Anwendung dar. Aus diesen Gründen kam das Kaltrecycling von Ausbauasphalt in der Schweiz in den letzten 10 Jahren vermehrt in Form von Kaltmischfundationsschichten zur Anwendung. Eine dem neusten Stand der Technik angepasste Norm jedoch fehlt.

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, aufbauend auf den bestehenden Erfahrungen, möglichst zielgerichtete Problemlösungen zu den aktuellen Fragestellungen im Bereich der Materialtechnologie, der Labortechnik und der Anwendung in der Praxis aufzuzeigen. Schwerpunkte bilden dabei die Prüfkörperherstellung, die Festigkeitsprüfung sowie das Aufzeigen von geeigneten Kontrollmöglichkeiten am Mischgut und an der eingebauten Schicht. Dabei werden sowohl emulsionsgebundene Mischungen wie auch Mischungen mit Schaumbitumen betrachtet. Die Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit sollen als Grundlage für die Normenrevision dienen.

In einem ersten Schritt wird der aktuelle Stand der Technik der Kaltaufbereitung von Ausbauasphalt in der Schweiz und im Ausland erfasst. In einem Laborteil werden die prüftechnischen Grundlagen ermittelt und die rezepturbedingten Einflussparameter auf die materialtechnischen Kenngrössen aufgezeigt. Dabei werden die verschiedenen Methoden der Prüfkörperherstellung mit Schlagverdichtung und statischer Verdichtung gegenübergestellt und die Beeinflussung der Festigkeitskennwerte durch massgebende Einflussgrössen wie Raumdichte, Wassereinwirkung, Prüfkörperalter und Prüftemperatur aufgezeigt. Bei den Festigkeitsprüfungen wird die einaxiale Zylinderdruckfestigkeit der Spaltzugfestigkeit gegenübergestellt. Ebenfalls wird ein materialtechnischer Vergleich zwischen Kaltmischgut und Heissmischgut in Bezug auf die Festigkeitseigenschaften, die Wasserempfindlichkeit und die Verformungsbeständigkeit durchgeführt.

Im Praxisteil werden die im Labor ermittelten Referenzgrössen mit den Kennwerten der eingebauten Schicht verglichen. Als Methoden der Verdichtungskontrolle werden Isotopensondenmessungen mit der herkömmlichen Messung an Bohrkernen im Labor verglichen. Ebenfalls erfasst wurden Tragfähigkeitsmessungen auf der eingebauten Schicht, wobei der statische und der dynamische Plattendruckversuch verglichen werden. Im Praxisteil wurde als weiteres der Einfluss der Lagerung von Kaltmischgut auf die Kennwerte Festigkeit, Raumdichte und Wassergehalt aufgezeigt.

Zusammenfassend resultieren folgende Aussagen und Folgerungen: Bei der Prüfkörperherstellung kommt die statische Verdichtung der Praxis näher als die Prüfkörperherstellung mit Schlagverdichtung. Aus dieser Sicht kann die bisher angewandte Duriezverdichtung beibehalten werden. Um näher an die Praxisverdichtung zu gelangen wird allerdings empfohlen, die Verdichtungskraft auf 80 kN zu reduzieren. Damit wird das Labormodell näher an die Praxisverdichtung angepasst. Zur Bestimmung der Festigkeitskennwerte eignen sich sowohl Zylinderdruckfestigkeit wie auch die Spaltzugfestigkeit. Um den bisherigen Erfahrungshintergrund zu nutzen, kann die bisher angewandte Zylinderdruckfestigkeit beibehalten werden. Zur besseren Erfassung der Festigkeitsentwicklung liefert neben der 7-Tage-Festigkeit auch die Bestimmung der 28-Tage-Festigkeit aussagekräftige Resultate. Die Methode zur Bestimmung der Wasserempfindlichkeit aus dem Verhältnis der Zylinderdruckfestigkeit vor und nach 7-Tage-Wasserlagerung zeigt eine gute Selektivität; allerdings ist die bisherige Anforderungsgrenze mit der Verhältniszahl nach/vor Wasserlagerung von 0.55 aufgrund der Erfahrungswerte tief. Die Prüftemperatur hat einen massgebenden Einfluss auf die Festigkeitskennwerte. Aus diesem Grund muss neben der Lagerungstemperatur auch die Prüftemperatur festgelegt werden. Bei der Untersuchung der rezepturbedingten Einflüsse konnte festgestellt werden, dass eine Erhöhung des Bitumengehaltes eine Reduktion der Wasserempfindlichkeit und eine Reduktion der Festigkeit bewirkt. Die Zugabe von Brechsand bewirkt eine Verbesserung der Festigkeit. Dies allerdings in einem unerwartet geringen Ausmass.

Im direkten Vergleich zwischen Kalt- und Heissmischgut zeigt das Kaltmischgut eine höhere Wasserempfindlichkeit, eine deutlich geringere Festigkeit und eine höhere Verformungswilligkeit. Analog zu den Asphaltmischgut Schichten aus Heissmischgut eignen sich auch bei Schichten aus Kaltmischgut Bohrkerne zur Ermittlung der Verdichtungskennwerte. Die Verdichtungskontrolle durch Isotopsonde ist grundsätzlich bei Berücksichtigung des Wassereinflusses möglich, sollte jedoch im Sinne von Eigenkontrollen zur Optimierung des Verdichtungsprozesses und nicht als Abnahmeprüfungen eingesetzt werden. Bei den Tragfähigkeitsmessungen auf der eingebauten Schicht zeigt die dynamische Messmethode mit dem leichten Fallgewicht gegenüber der statischen Lastplattenmessung eine geringere Temperaturabhängigkeit. Betreffend der Lagerfähigkeit von Kaltmischgut konnte nachgewiesen werden, dass grundsätzlich eine längere Lagerung ohne negative Beeinträchtigung der Materialkennwerte möglich ist.

Als Empfehlungen für die Normenrevision resultieren im Wesentlichen die Hinweise betreffend Wahl der Duriez-Prüfkörper als massgebende Referenzprüfkörper mit der Wahl der Verdichtungskraft, die Definition der Prüftemperatur für die Festigkeitsprüfungen, die Erfassung der 28-Tage-Festigkeit, die Tragfähigkeitskontrolle durch den dynamischen Lastplattenversuch und schliesslich der Hinweis auf die Lagerfähigkeit des Kaltmischgutes.



## Résumé

Le recyclage des granulats d'asphalte additionné d'un liant bitumineux à froid présente différents avantages: D'une part, il contribue à la réduction des stocks de déchets existants, et de l'autre, il présente une solution écologique intéressante par sa faible consommation d'énergie et sa réduction drastique des émissions nuisibles. De ce fait, la technique du recyclage à froid de granulats d'asphalte, pour la fabrication de couches de fondation liées, s'est largement répandue ces dix dernières années dans notre pays. A ce jour, il manque néanmoins toujours une norme technique actualisée, basée sur les connaissances actuelles.

Le but de cette recherche, basée sur l'expérience, est de trouver des solutions dans le domaine de la technologie des matériaux, des techniques de laboratoire et des applications pratiques. Parmi ces problèmes on trouve: l'échantillonnage, l'essai de résistance à la compression/traction, le choix des méthodes de contrôle du mélange prêt à l'emploi, ainsi que les essais sur les couches posées. Les mélanges à base d'émulsions de bitume ou de bitume-mousse seront considérés. Les résultats de cette recherche devront servir comme base technique pour l'élaboration d'une révision de la norme.

Dans un premier temps, on a établi l'état actuel des connaissances techniques, en Suisse et à l'étranger, sur le recyclage des granulats bitumineux, par traitement à froid. Les paramètres d'influence de la formulation sur la qualité intrinsèque du matériau recyclé ont été mis en évidence par des essais de laboratoire. Les différents types de compactage d'éprouvettes (compression statique ou compactage par impact) ont été comparés entre eux et ont permis de déterminer leur influence sur les performances attendue, comme la densité, la sensibilité à l'eau, etc. Pour la détermination de la résistance on a choisi l'essai de résistance à la traction par fendage. Des essais comparatifs entre des mélanges à froid et à chaud ont été réalisés afin de déterminer les propriétés de résistance à la traction/compression, de sensibilité de l'eau et du fluage.

Les niveaux de performance déterminés en laboratoire ont été comparés avec les valeurs caractéristiques mesurées sur des couches posées sur le terrain. On a procédé à des mesures de densité avec la sonde nucléo-densimétrique et à des comparaisons de celles-ci avec des mesures directes sur des échantillons carottés. La capacité portante a également été mesurée sur des couches en place par l'essai de plaque statique ; ME et dynamique ; avec le déflectomètre léger. On a vérifié l'influence du stockage des mélanges à froid sur les résultats de résistance à la traction/compression, de sensibilité à l'eau et du fluage.

La synthèse des résultats d'analyses permet d'en tirer les considérations suivantes:

- Le compactage statique se rapproche plus des valeurs obtenues en place que le compactage par impacts. De ce point de vue, l'essai Duriez, préconisé dans la norme actuelle, peut être maintenu. Cependant, afin de rapprocher le modèle de laboratoire de la pratique, il sera recommandé de réduire le compactage à 80 kN.
- Pour la détermination de la résistance, l'essai de compression sur cylindre et l'essai de traction par fendage conviennent indifféremment. Afin de profiter de l'expérience acquise, on peut retenir l'essai de compression sur cylindre comme précédemment. Afin de mieux évaluer le développement de la résistance dans le temps, on choisira un mûrissement de 7 et 28 jours
- La méthode de détermination de la sensibilité de l'eau par détermination du rapport de résistance; avant et après l'immersion dans l'eau pendant 7 jours, montre une bonne sélectivité. Toutefois, la limite antérieure du ratio de 0,55% semble faible eu égard à la pratique.
- La température d'essai a une influence déterminante sur les résultats de résistance. Pour cette raison, la température d'essai comme la température de stockage, doivent être fixées clairement.
- Lors de l'étude des paramètres d'influence de la formulation, on a pu démontrer qu'une augmentation de la teneur en liant induit une réduction de la sensibilité de l'eau

ainsi qu'une réduction de la résistance. L'ajout de sable concassé conduit à l'amélioration de la résistance. Cependant, cette amélioration semble étonnamment faible.

- La comparaison directe entre le mélange froid et chaud montre que l'enrobé à froid présente une plus grande sensibilité à l'eau, une résistance significativement plus faible et une résistance à la déformation plus faible.
- Le carottage pour la détermination de la densité convient parfaitement pour les couches de fondation à froid à l'instar des revêtements bitumineux à chaud.
- Le contrôle de compactage au moyen d'une sonde isotopique est possible à condition de prendre en compte l'influence de la teneur en eau. Cependant, cette méthode est plus adaptée à l'autocontrôle et au réglage du compactage qu'aux contrôles de réception.
- Les mesures de la portance au moyen de l'essai dynamique avec le déflectomètre léger semblent moins influencées par la température qu'avec l'essai de plaque statique.
- La durée de stockage des enrobés à froid ne présente pas d'impacts négatifs sur les propriétés du matériau.

Les recommandations pour la révision de la norme contiennent essentiellement les instructions concernant le choix de l'essai Duriez pour la fabrication des éprouvettes de référence avec la force de compression réduite, la définition de la température pour les essais de résistance, la mesure de la résistance après 28 jours, l'essai de portance dynamique avec le déflectomètre léger et enfin la note sur la capacité de conservation du mélange froid.

## Summary

Cold recycling of asphalt pavements with bituminous binders offers two main advantages. On one hand, the use of reclaimed asphalt helps to reduce the current excess, while on the other hand energy conservation and low emissions make cold recycling ecologically worthwhile. For these reasons, cold recycling of reclaimed asphalt has been used more frequently during the last 10 years in Switzerland in the form of cold mix foundations. However, a standard for state-of-the-art cold recycling does not exist yet.

The goal of this research project is to find target-oriented solutions to current questions in the field of material technology using established experience to develop the laboratory techniques and for the practical implementation. The key aspects investigated are specimen preparation and strength tests; additionally the study addresses suitable ways to assess the characteristics of the bituminous mixture and the built layer. Both, mixtures with foamed bitumen and cationic bitumen emulsions are examined. The conclusions of this research project should serve as a basis for revising the current standard.

The state-of-the-art techniques for cold mixing in both Switzerland and abroad are described in the first section. In the following laboratory section, the basics of the test techniques are introduced and the influence of variations in the composition on material-technological parameters is evaluated. To investigate this, different methods of specimen preparation with impact compaction and static compaction are compared. The influences of bulk density, water impact, test temperature and specimen age on the specific strength values are shown. In tensile strength tests, mono-axial cylinder compression strength is compared to indirect tensile strength. Additionally, cold and hot mixtures are compared in terms of strength characteristics, water sensitivity and deformation resistance. In a practical part, reference values determined in the laboratory are compared to actual values of built layers. Compaction is controlled by an isotope probe and compared to well-established measurements on core samples. The load-bearing capacity of the built layer has been determined using static and dynamic plate-loading tests. The storability of cold mixtures has been demonstrated by comparing strength, bulk density and water content of freshly prepared and of stored material.

Several conclusions can be drawn from the above mentioned tests. Firstly, sample preparation through static compaction is closer to the conditions in the field than sample preparation through impact compaction. As a result, the currently used Duriez-compaction should continue to be applied in state-of-the-art techniques. To better match the laboratory model to conditions in the field, a reduction of the compaction force to 80 kN is suggested. Both cylinder compression strength and tensile strength can be used to determine the specific strength values; however, to avoid losing the current know-how it is recommended to keep the currently used cylinder compression strength. Besides the 7-days-strength, the 28-days-strength can be used to get a better overview of how strength develops over time. The method to determine the water sensitivity from the ratio of the cylinder compression strength before and after a 7-days-water conditioning shows a good selectivity. However, according to experience the required ratio after/before water conditioning of 0.55 is rather low. Furthermore, the test temperature has a decisive impact on the measured strength. As a conclusion, the test temperature needs to be defined in addition to the storage temperature. When looking at the recipe-based influences, it was observed that increasing the bitumen content reduces water sensitivity and strength. The addition of crushed sand increases the strength, however, not to the expected extent. In a direct comparison of cold and hot mixtures it can be stated that cold mixtures show higher water sensitivity, a clearly lower strength and a higher tendency to deform. As a binder, both foamed bitumen and cationic bitumen emulsions are suitable. Analogous to hot mixtures, core samples can be used to determine the specific compaction values of cold mixtures. When considering the water content, the isotopic sample can be used to optimise the compaction process, however it is not suitable for acceptance tests. For plate-loading tests, the dynamic method with the light drop-weight tester is advantageous compared to static plate-loading because it has a lower temperature sensitivity. Concerning storability

of cold mixtures, it could be shown that a longer storage is possible without affecting the material properties.

The recommendations for the revision of the standard focus on: the choice of Duriez samples as reference specimens (including the compaction strength), the definition of test temperature for strength tests, the inclusion of the 28-days-strength parameter, the load-bearing capacity test performed by dynamic plate-loading tests and finally the storability of cold mixtures.

# 1 Ausgangslage

Bei der Erneuerung von Asphaltstrassen fallen in der Schweiz jährlich rund 2 Mio. Tonnen Ausbausphalt an. Etwa 0.5 Mio. Tonnen werden als Asphaltgranulat bei der Herstellung von Heissmischgut wieder verwendet, 0.5 Mio. Tonnen finden in einer anderen Form – meistens lose als Kiessandersatz den Weg zurück in den Stoffkreislauf. Somit bleiben rund 1 Mio. Tonnen, welche umweltverträglich entsorgt oder verwertet werden müssen.

Regional gestalten sich die Stoffflüsse je nach Bauvorhaben oder aufbereitungstechnischen Möglichkeiten für die Wiederverwendung unterschiedlich, gesamtschweizerisch ist jedoch ein deutlicher Überschuss an Ausbausphalt vorhanden.

Mit der weiteren Verlagerung der Strassenbauaktivitäten vom Neubau zur Substanzerhaltung resp. zur Erneuerung und somit einem Anstieg des anfallenden Ausbausphaltes, kann auch künftig nicht mit einer Entspannung der Situation gerechnet werden.

Diese Divergenz in der Massenbilanz mit der Zunahme von Überschüssen bildet den ersten Problemkreis.

Daneben hat ein zweiter Problemkreis in Vergangenheit zunehmend an Bedeutung gewonnen: Asphalt und Umwelt. Zugespitzt hat sich die Situation durch die Teerproblematik. Teer oder Teer-Bitumengemische wurden in der Schweiz bis 1991 als Bindemittel in Asphaltmischungen eingesetzt.

Im Rahmen des Forschungsauftrages FA 26/96 „Umweltgerechtes Recycling von teerhaltigen Belägen“ [1] wurde eine Menge von 445'000 t Teer (als Bindemittel) ermittelt, welche in der Schweiz im Strassenbau seit 1926 insgesamt verarbeitet wurden. Wenn davon ausgegangen wird, dass noch ca. ein Drittel von den ursprünglich eingebauten teerhaltigen Materialien vorhanden ist, bedeutet dies, dass in der Zukunft noch ca. 15 Mio. Tonnen teerhaltiges Material anfällt, welches entsorgt oder rezykliert werden muss.

Die Schadstoffe im Teer konzentrieren sich auf PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) und Phenole. Diese Substanzen sind aus toxikologischer und arbeitshygienischer Sicht bedenklich und für den Menschen und die Umwelt schädlich. Phenole sind zudem relativ gut wasserlöslich und können deshalb ausgeschwemmt werden und in grundwassersensitiven Gebieten eine entsprechende Gefährdung darstellen.

Trotz den hohen Schadstoffkonzentrationen im Teer bedeutet Teer im Strassenoberbau keine unmittelbare Gefahr für die Umwelt, insbesondere dann nicht, wenn der Einsatz in Trag- und Foundationsschichten erfolgte. Dies liegt hauptsächlich an der geringen Wasserlöslichkeit der PAK und dem kompakten, praktisch wasserdichten Gefüge der gebundenen Beläge. Diese günstige Ausgangslage ändert sich, wenn bei einer Sanierung der alte, teerhaltige Belag aufgebrochen und fein granuliert wird. Neben dem Auswaschen von Schadstoffen müssen aber auch der Aspekt der Luftreinhaltung bei der Heissverarbeitung sowie arbeitshygienische Aspekte mit der Belastung der Arbeiter durch Staub oder Dämpfe beachtet werden.

Obwohl heute keine teerhaltigen Beläge mehr hergestellt werden, kommen bei der Sanierung von alten Belägen teerhaltige Materialien zum Vorschein. Dabei muss gemäss Vorgabe des BAFU bei Bauvorhaben mit mehr als 30 m<sup>3</sup> Ausbausphalt in einem ersten Schritt festgestellt werden, ob und wie viel Teer vorhanden ist.

Je nach ermitteltem PAK-Gehalt werden gemäss der BAFU-Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle von 2006 [2] drei Fälle unterschieden:

1. PAK-Gehalt im Bindemittel kleiner als 5'000 mg/kg: Dieses Material muss nicht speziell behandelt werden und ist als Sekundärbaustoff einzusetzen.

2. PAK-Gehalt im Bindemittel zwischen 5'000 und 20'000 mg/kg: Bei diesem Material wird die Übergangslösung empfohlen. Dabei darf der Ausbauasphalt in dafür geeigneten Mischgutaufbereitungsanlagen unter Einhaltung definierter Randbedingungen heiss aufbereitet und als Recyclingmischgut eingesetzt werden.
3. PAK-Gehalt im Bindemittel grösser als 20'000 mg/kg: Solches Material ist aus dem Materialkreislauf herauszunehmen und auf einer Reaktordeponie abzulagern.

Die Möglichkeiten des Kaltrecyclings mit bituminösen Bindemitteln und der daraus resultierenden Anwendung in gebundener Form werden in der bestehenden BAFU-Richtlinie [2] als Empfehlung insofern berücksichtigt, als dass PAK-haltiges Material bis zu maximal 20'000 mg/kg PAK im Bindemittel im sogenannten „Kaltrecycling“ (nach dem Stand der Technik) verarbeitet werden darf, wenn die Produktion/Herstellung so erfolgt, dass der Gesamtgehalt von 5'000 mg/kg PAK im Bindemittel in Bezug auf 100 % Mischgut nicht überschritten wird.

Das Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln trägt zur Lösung des Mengenproblems und der Umweltproblematik bei. Positive Erfahrungen aus dem Ausland aber auch der Schweiz sind vorhanden.

#### **Die Kaltaufbereitung bietet folgende Vorteile:**

##### **Maximaler Anteil an Recyclingmaterial**

Kaltrecycling bietet die Möglichkeit der Wiederverwendung von Ausbauasphalt bis annähernd 100 %. Dies trägt wesentlich zu einem mengenmässig wirkungsvollen Einsatz bei.

##### **Gebundene Bauweise**

Das Resultat der Kaltaufbereitung sind gebundene Bauweisen. Binden heisst nicht nur Festigkeitsaufbau mit Erhöhung des Strukturwertes und bessere Wasser- und Frostbeständigkeit, binden heisst auch einbinden von Schadstoffen und Reduktion der Durchlässigkeit und somit der Auswaschprozesse.

##### **Keine Luftemissionen und geringer Energiebedarf**

Bei einer gesamtheitlichen Beurteilung der Umweltverträglichkeit eines Bauverfahrens nehmen Luft und Energie einen hohen Stellenwert ein. An erster Stelle stehen dabei die allgemeine Belastung der Luft mit organischen Kohlenwasserstoffen und die spezielle Belastung des Arbeitsplatzes mit krebserzeugenden Stoffen - wieder PAK-Vertreter Benzo(a)pyren und Dibenz(a,h)anthracen. Aus Sicht der Luftreinhalteverordnung (LRV) [3] muss zur Emissionsminderung dieser Substanzen alles unternommen werden, was nach dem Stand der Technik möglich ist.

Das Asphaltgranulat kann in kaltem und feuchtem Zustand verarbeitet werden. Dies bedeutet, dass die Herstellung und der Einbau ohne Wärmezufuhr stattfindet, was sich günstig auf den Energiebedarf auswirkt.

## 2 Zielsetzung

Das Ziel der Forschungsarbeit ist die Untersuchung der offenen Fragen im Bereich der Materialtechnologie.

Dabei stehen folgende Schwerpunkte im Zentrum:

- Überprüfung der Anwendbarkeit der bestehenden Norm SN 640 506a „Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln“ [4] auf die Anwendung mit Asphaltgranulat als Ausgangsbaustoff. Dies gilt einerseits für den Einsatz von Bitumenemulsionen, insbesondere aber auch für den Einsatz von Schaumbitumen, welcher in der bestehenden Norm nicht behandelt wird.
- Gegenüberstellung der Duriez-Theorie zur Marshall-Theorie. Damit soll die Unsicherheit bei der Frage nach der Art der Prüfkörperherstellung ausgeleuchtet werden. Die Gegenüberstellung der Prüfkörper mit statischer Verdichtung zu Prüfkörpern mit Schlagverdichtung soll auch Grundlagen für die Übertragbarkeit der beiden Modelle in die Praxis mit den entsprechenden Anforderungskennwerten im Rahmen von Kontrollprüfungen und Eigenkontrollen liefern.
- Abklärung der Prüfmethode für die Festigkeits- resp. Stabilitätsprüfung. Während im Ausland teilweise die Marshall-Stabilität oder die Spaltzugfestigkeit im Vordergrund steht, stützt sich die bestehende Schweizer Norm SN 640 506a [4] auf die einaxiale Druckfestigkeit, lässt gleichzeitig aber andere Verfahren zu. Der Vergleich der Ergebnisse dieser unterschiedlichen Prüfmethode soll die Grundlage für die Wahl der Methode und der Anforderungskennwerte liefern. Auch dieser Fragenkomplex soll sowohl für die Emulsionstechnik als auch für die Schaumbitumentechologie abgeklärt werden.
- Materialtechnischer Vergleich des Kaltmischgutes (KMF) mit dem Heissmischgut (HMF / AC F) für Fundationsschichten.
- Abklärung offener Fragen in Zusammenhang mit dem Einsatz in der Praxis. Dabei soll das Labormodell der Prüfkörperherstellung mit der Praxis verglichen und der Einfluss der Lagerdauer auf die materialtechnischen Kennwerte abgeklärt werden.
- Aufzeigen der Möglichkeiten für ein wirksames System der Qualitätsüberwachung im Rahmen von Eigenkontrollen oder Kontrollprüfungen. Dabei werden sowohl Kontrollen bei der Aufbereitung als auch Kontrollen während des Einbaus und an der eingebauten Schicht evaluiert und auf ihre Praxistauglichkeit überprüft.

Die ursprünglich vorgesehene Ausweitung des Forschungsauftrages auf umwelttechnische Fragestellungen wurde zurückgestellt. Einerseits soll einer Grenzwertdiskussion mit Rückschlüssen auf die Anwendungsbereiche im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgegriffen werden, andererseits spielen Eluatbetrachtungen von PAK-haltigen bituminösen Materialien in bestehenden Regelungen keine Rolle.

## 3 Vorgehen

Als Schwerpunkt dieser Forschung sollen aufbauend auf den bestehenden Erfahrungen möglichst zielgerichtet Problemlösungen zu den aktuellen, praxisbezogenen Fragestellungen aufgezeigt werden. Die Erarbeitung von Grundlagen war in diesem Zusammenhang nicht vorgesehen.

Die Thematik beschränkt sich auf die Bindung von Asphaltgranulat mit Bitumenemulsion und Schaumbitumen. Hydraulische Bindemittel werden nur in Form von Zusätzen behandelt. Rein hydraulisch gebundene Mischungen werden nicht betrachtet. Bei der Wahl der Bindemittel werden Produkte welche aktuell in der Praxis eingesetzt werden und sich bewährt haben berücksichtigt. Gegenüberstellungen von verschiedenen Produkten (z.B. Recycling-Emulsionen) werden nicht durchgeführt.

### 3.1 Arbeitsprogramm

#### Teil A

Erfassung des aktuellen Standes der Technik mit Analyse und Aufarbeitung bestehender Grundlagen im Bereich der Materialtechnologie.

Dies bedeutet, dass in einem ersten Schritt der aktuelle Stand der Technik der Kaltaufbereitung von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln erfasst. Weiter werden die bestehenden Grundlagen in Bezug auf in- und ausländische Normen und Merkblätter erfasst, analysiert und in Bezug zur Ist-Situation gebracht.

#### Teil B

Laborteil mit Erarbeitung der prüftechnischen Grundlagen und dem Aufzeigen der rezepturbedingten Einflussparameter auf die materialtechnischen Kenngrößen. Bei den im Labor und ab Mischanlage hergestellten Mischungen werden folgende materialtechnische Hauptparameter in das Untersuchungsprogramm aufgenommen:

- Gegenüberstellung der verschiedenen Methoden der Prüfkörperherstellung (statische Verdichtung/Schlagverdichtung) mit Aufzeigung des Einflusses auf die Materialkennwerte
- Beeinflussung der Festigkeitskennwerte durch massgebende Parameter wie Raumdichte, Wassereinwirkung, Prüfkörperalter und Prüftemperatur
- Variation der Rezeptur (Emulsion/Schaumbitumen, hydraulische Bindemittel, Brechsand, ungebundenes Gemisch) mit der Aufzeigung des Einflusses auf die Materialkennwerte
- Gegenüberstellung der beiden Festigkeitsprüfungen einaxiale Zylinderdruckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit
- Materialtechnischer Vergleich des Kaltmischgutes (KMF) mit Heissmischgut (HMF/AC F) für Foundationsschichten in Bezug auf Festigkeitseigenschaften, Wasserempfindlichkeit und Verformungsbeständigkeit.

#### Teil C

Praxisteil mit Begleitung von Einbauten und Erfassung der massgebenden Kennwerte zur qualitativen Beurteilung des Einbaus:

- Vergleich der im Labor ermittelten Referenzgrößen (Laborprüfkörper) mit den Kennwerten der eingebauten Schicht (Bohrkerne)
- Ermittlung der Vergleichbarkeit von Verdichtungskontrollen mit Isotopensondenmessungen mit der herkömmlichen Messung an Bohrkerne im Labor
- Tragfähigkeitsmessungen auf der eingebauten Schicht: Vergleich zwischen dem statischen Plattendruckversuch ME/EV und dem dynamischen Plattendruckversuch (leichtes Fallgewichtgerät EVD).



- Aufzeigen des Einflusses der Lagerdauer von Kaltmischgut auf die Kennwerte Festigkeit, Raumdichte und Wassergehalt.

#### **Teil D**

Berichterstellung mit Aussagen zu folgenden Hauptpunkten:

- Analyse der Ist-Situation mit Berücksichtigung der in- und ausländischen Erfahrungen
- Darstellung und Interpretation der Resultate
- Vorschlag für das Vorgehen bei der Qualitätsprüfung im Labor als Grundlage für eine technische Norm in Bezug auf:
  - Prüfkörperherstellung
  - Methode der Festigkeitsbestimmung
  - Methode der Bestimmung der Wasserempfindlichkeit
  - Prüfkörperalter
- Vorschlag für das Vorgehen bei den Aufbereitungs- und Einbaukontrollen

## **3.2 Prüfplan**

Bei der Durchführung der Prüfungen wird unterschieden zwischen einem Laborteil und einem Praxisteil:

#### **Laborteil**

- Ermittlung des Einflusses der Methode der Prüfkörperherstellung auf die Raumdichte
- Bestimmung des Einflusses folgender Parameter auf die Festigkeiten für KMF mit Schaumbitumen:
  - Prüfkörperherstellung
  - Raumdichte
  - Wassereinwirkung
  - Prüftemperatur
  - Rezeptur
- Bestimmung des Einflusses folgender Parameter auf die Festigkeiten für KMF mit Emulsion:
  - Raumdichte
  - Prüfkörperalter
  - Wassereinwirkung
  - Prüftemperatur
  - Rezeptur
- Vergleich Kaltmischfundationsschicht (KMF) – Heissmischfundationsschicht (AC F).

#### **Praxisteil**

- Vergleich der Raumdichte von Laborprüfkörpern zur Raumdichte der eingebauten Schicht
- Tragfähigkeitsmessungen (Plattendruckversuche statisch und dynamisch)
- Verdichtungskontrollen Vergleich Bohrkerne - Isotopenmessungen
- Lagerfähigkeit von Kaltmischgut.

## 4 Aktueller Stand der Technik

### 4.1 Mischgutproduktion

#### 4.1.1 Methoden

Bei der Aufbereitung von Kaltmischgut mit bituminösen Bindemitteln werden fallweise Bitumenemulsion oder Schaumbitumen als Bindemittel eingesetzt.

##### **Bitumenemulsion**

Bei der Bindung mit Bitumenemulsion wird das kalte und feuchte Asphaltgranulat mit einer stabilen, kationischen Bitumenemulsion aufbereitet. Die Bitumenemulsion, welche aus im Wasser fein verteilten Bitumenteilchen besteht, weist in der ersten Phase weitgehend die Flieseigenschaften von Wasser auf. In dieser flüssigen Phase lässt sich die Emulsion und somit das Bindemittel im Mischprozess optimal verteilen. Die Herstellung einer homogenen Mischung ist dann gewährleistet, wenn die Emulsion genügend stabil ist und nicht sofort bricht.

Nachdem der Brechprozess der Emulsion eingesetzt hat, lagert sich das Bitumen an der Oberfläche des Asphaltgranulates an und das Wasser scheidet aus. Die Konsistenz des Mischgutes steigt rasch an und die Breiform geht zu einem krümeligen, rieselfähigen Haufwerk über. In diesem Stadium verlässt das Mischgut den Mischer, kann gelagert, transportiert und eingebaut werden. Solange genug Wasser vorhanden ist, bleibt das Mischgut rieselfähig. Eine Verklebung findet erst dann statt, wenn die Einzelkomponenten zusammengepresst, d.h. verdichtet werden. Wird der Wasserhaushalt konstant gehalten, ist eine längere Lagerung des Mischgutes möglich, ohne dass die Einbaufähigkeit verloren geht. Allerdings darf keine Silierung erfolgen, da der Eigendruck zu Verklebung und zu Blockbildung führt.

Zur Beeinflussung des Brechvorganges sowie zur Festigkeitssteigerung werden als Zusatz hydraulische Bindemittel in der Grössenordnung von 1 bis 2 M-% eingesetzt.

##### **Schaumbitumen**

Auch beim Einsatz von Schaumbitumen als Bindemittel wird kaltes und feuchtes Ausgangsmaterial verwendet. Die Aufschäumung des Bitumens erfolgt durch Zugabe von Wasser und Luft in einen heissen Bitumenstrahl. Dabei wird über eine spezielle Düsen-einrichtung ca. 2 % Wasser kombiniert mit einer geringen Menge Druckluft in das ca. 170°C heisse Bitumen injiziert. Durch die explosionsartige Verdampfung des Wassers wird das Bitumen in ein Gemisch aus Wasserdampf und Bitumentropfen gebracht, welches mehr als das 25-fache Volumen gegenüber den Ausgangsstoffen einnimmt. Der Bitumenschaum wird direkt in den Mischer eingesprüht, so dass die Oberfläche der Zuschlagstoffe möglichst vollflächig mit dem Bitumenschaum in Kontakt kommt. Wie bei der Anwendung mit Bitumenemulsion ist auch bei den Schaumbitumenmischungen eine Zwischenlagerung und ein späterer Einbau des Mischgutes möglich.

Beim Einsatz von Schaumbitumen werden zur Verbesserung der Festigkeit als Ergänzung ebenfalls hydraulische Bindemittel in der Grössenordnung von 1 bis 2 M-% eingesetzt.

Der direkte Einsatz des Bitumens als Bindemittel macht die Schaumbitumentechologie zu einer effizienten und wirtschaftlichen Bauweise.

##### **Ausgangsmaterial**

Voraussetzung für eine hohe Qualität und Gleichmässigkeit im Endprodukt ist der Einsatz eines klar definierten und homogenen Ausgangsmaterials. Das Maximal Korn sollte in der Regel eine Stückkorngrosse von 32 mm nicht überschreiten. Zum Einsatz kommt mehrheitlich das Gesteinskörnungsgemisch 0/22 mm. Primär wird Asphaltgranulat ergänzt mit Brechsand eingesetzt.

### 4.1.2 Praxis

Grundsätzlich werden in der Schweiz sowohl Bitumenemulsion wie Schaumbitumen als Bindemittel eingesetzt. Eine massgebende Produktion von bitumengebundenem Kaltmischgut setzte Ende der 90-iger Jahre ein. Dabei stand v.a. in der Deutschschweiz die Produktion mit Schaumbitumen im Vordergrund. In der Anfangsphase erfolgte die Produktion in mobilen Mischanlagen im Zentralmischverfahren. Zwei Beispiele dazu sind in Abbildung 1 und Abbildung 2 zu sehen.



Abbildung 1: Mobile Kaltrecycling-Mischanlage, AMMANN CMC 130-200 t/h.



Abbildung 2: Mobile Kaltrecycling-Mischanlage, Wirtgen KMA 220.

Erst in den letzten 5 Jahren erfolgte eine Aufrüstung von stationären Mischanlagen mit der Schaumbitumenteknik zur Produktion von Kaltmischgut (z.B. Belags AG Böttstein (siehe Abbildung 3), MOAG Mörschwil, Tobega Neftenbach).



Abbildung 3: Stationäre Anlage mit Schaumbitumeneinheit (Belags AG Böttstein).

## 4.2 Einsatz im Strassenoberbau

### 4.2.1 Dimensionierung

In der aktuellen Schweizer Dimensionierungsnorm SN 640 324 „Dimensionierung des Strassenaufbaus, Unterbau und Oberbau“ (gültig ab Aug. 2011) [5] werden keine Oberbautypen mit bitumengebunden Kaltmischfundationsschichten behandelt. Bituminöse KMF finden als „bituminöse Stabilisierung“, nur am Rande im Rahmen der Tragfähigkeitswerte ( $\alpha$ -Werte) der Oberbauschichten in Funktion der Schadenbildung Erwähnung (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Tragfähigkeitswerte ( $\alpha$ -Werte) von Stabilisierungen mit bituminösen Bindemitteln in Funktion der Schadenbildung.

Oberbauschichten	$\alpha$ -Werte neuer Oberbauschichten	$\alpha$ -Werte alter Oberbauschichten		
		Örtliche Schäden	Ausgedehnte Schäden	Strukturelle Schäden
Stabilisierung mit bituminösen Bindemitteln	2.7	2.3	1.9	1.6

Immerhin besteht somit die Möglichkeit durch Strukturwertberechnung die Tragfähigkeit von Strassenoberbauten mit bitumengebundenen Kaltmischschichten direkt mit anderen Oberbautypen zu vergleichen.

Aufgrund der fehlenden Normvorgaben bestehen Vorgaben, Leitfäden und Richtlinien von öffentlichen Bauherren. Als Beispiel kann der Leitfaden des Kantons Aargau [6] erwähnt werden, welcher neben den Anforderungen auch Dimensionierungsvorgaben (siehe Abbildung 4) behandelt. Dabei werden die Einsatzmöglichkeiten von Kaltmischgutschichten im Strassenoberbau dargestellt. In Abhängigkeit der Verkehrslastklasse wird in Bezug auf die Tragfähigkeit ein zum konventionellen Aufbau gleichwertiger Aufbau mit Kaltmischgut beschrieben. Es handelt sich um ein Beispiel aus der Praxis. Theoretisch könnte insbesondere bei den Schichtdicken der Kiessandfundationen mit KMF-Aufbau weiter reduziert werden, so dass auch bei den Verkehrsklassen T1 und T2 Gleichwertigkeit besteht.



Beispiele für den Einsatz von KMF im Strassenoberbau			
Verkehrslastklassen (bei mittleren Tragfähigkeitsklassen)	Konventioneller Aufbau	Aufbau mit KMF (Vorschlag)	Berechnung a-Wert
T1	<p>70 mm Belag 300 mm Kies Strukturwert 58</p>	<p>50 mm AC 11 — x 4.0 80 mm KMF — x 2.7 300 mm Kies — x 1.0 Strukturwert 72</p>	<p>4.0 2.7 1.0 <hr/>72</p>
T2	<p>100 mm Belag 400 mm Kies Strukturwert 80</p>	<p>30 mm AC 8 — x 4.0 50 mm AC T 16 — x 4.0 80 mm KMF — x 2.7 350 mm Kies — x 1.0 Strukturwert 89</p>	<p>4.0 4.0 2.7 1.0 <hr/>89</p>
T3	<p>130 mm Belag 500 mm Kies Strukturwert 102</p>	<p>30 mm AC 8 — x 4.0 70 mm AC T 22 — x 4.0 100 mm KMF — x 2.7 400 mm Kies — x 1.0 Strukturwert 107</p>	<p>4.0 4.0 2.7 1.0 <hr/>107</p>
T4 a	<p>150 mm Belag 500 mm Kies Strukturwert 110</p>	<p>30 mm AC 8 — x 4.0 70 mm AC T 22 — x 4.0 120 mm KMF — x 2.7 400 mm Kies — x 1.0 Strukturwert 112</p>	<p>4.0 4.0 2.7 1.0 <hr/>112</p>
T4 b	<p>170 mm Belag 500 mm Kies Strukturwert 118</p>	<p>30 mm AC 8 — x 4.0 90 mm AC T 22 — x 4.0 120 mm KMF — x 2.7 400 mm Kies — x 1.0 Strukturwert 120</p>	<p>4.0 4.0 2.7 1.0 <hr/>120</p>

Berechnung des Strukturwertes gemäss Norm SN 640 324 a

Abbildung 4: Dimensionierungsbeispiele KMF Kanton Aargau [6].

### 4.2.2 Praxis

Im Allgemeinen wird das Kaltmischgut zurzeit für die Produktion von Fundamentalschichten eingesetzt. Dies bedeutet, dass die KMF-Schichten durch zwei oder mehr Asphalt-schichten aus Heissmischgut überbaut werden. Haupteinsatzbereiche sind Kantons- oder Gemeindestrassen der Verkehrslastklassen T3 und T4. Der Einsatz als Tragschicht bildet die Ausnahme und konzentriert sich auf Spezialanwendungen mit tiefen Verkehrsbelastungen (z.B. Radwege).

Objektbezogen kommt das Kaltmischgut auch bei Gesamterneuerungsmassnahmen auf den Nationalstrassen zum Einsatz. Dabei spielt neben den technischen und wirtschaftlichen Überlegungen die Anforderung an eine ausgeglichene Massenbilanz zwischen den ausgebauten und in Form von Recyclingmaterial wieder eingesetzten Baustoffen eine Rolle. Auf den in relativ lange Unterhaltsabschnitte aufgeteilten Baumassnahmen kommen grosse Mengen an Kaltmischgut zum Einsatz. Als Anwendungsbeispiele können die Sanierung N2 Basel-Augst (2006-2007) mit 130'000 t Kaltmischgut oder die Sanierung der N1/N7 Ohringen-Matzingen (2009-2011) mit 100'000 t Kaltmischgut sowie die Gesamtsanierung N3/N13 Sarganserland (2010-2012) erwähnt werden.

## 4.3 Normative Grundlagen

### 4.3.1 Schweiz

Bituminös gebundenes Kaltmischgut wird in der Norm SN 640 506a „Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln“ (gültig ab Jan. 1995) behandelt. [4] Der Anwendungsbereich umfasst dabei auch Massnahmen zum Zwecke der Verbesserung von Untergrund und Unterbau sowie Spezialbauverfahren wie z.B. das Ortsmischverfahren. Gegenstand der Norm ist die Bestimmung der Zusammensetzung, die Herstellung im Zentralmisch- oder gleichwertigen Verfahren, der Einbau von bituminösem Kaltmischgut für Fundamentalschichten, Reprofilierung und Oberbauverstärkung. Ebenfalls legt sie das Verfahren für den Eignungsnachweis fest und gibt die durchzuführenden Kontrollprüfungen an.

Als Ausgangsbaustoffe werden Böden sowie mineralische und weitere geeignete Sekundärbaustoffe (z.B. Ausbauasphalt) beschrieben. Als Bindemittel werden kationische Bitumenemulsionen behandelt. Die Variante Schaumbitumen wird nicht erwähnt.

Im Kapitel „Eignungsnachweis“ wird das Verfahren beschrieben, wie die Eignung der verwendeten Ausgangsbaustoffe und Bindemittel sowie der Zusätze für den vorhergesehenen Verwendungszweck nachgewiesen wird. Der Eignungsnachweis dient zur Festlegung der Bindemitteldosierung, allfälliger Zusätze, des optimalen Einbauwassergehaltes und der entsprechenden Lagerungsdichte. Die für die Eignungsprüfung notwendigen Prüfkörper werden mittels zweiseitiger statischer Verdichtung hergestellt. Das Prüfprogramm umfasst neben der Dichtebestimmung und der dazugehörigen Hohlraumbeurteilung die Bestimmung der Druckfestigkeit an Prüfkörpern nach verschiedenen Lagerungsarten (Lagerung an der Luft und Lagerung unter Wasser). Die Grösse der Prüfkörper sowie die Kraft der statischen Presse sind vom Maximalkorn abhängig.

Mischungen mit Grösstkorn < 16 mm: Kolbendurchmesser 80 mm

Verdichtungskraft 80 kN

Mischungen mit Grösstkorn  $\geq$  16 mm: Kolbendurchmesser 120 mm

Verdichtungskraft 120 kN

In der Schweiz werden praktisch ausschliesslich Mischungen mit Grösstkorn 22 mm eingebaut.

Für die Herstellung der Prüfkörper dient die Norm Duriez, NF P98-251-4 „Essais Duriez sur mélanges hydrocarbonés à froid à l'émulsion de bitume“. [7]

Neben dem Duriez-Versuch sind auch andere Prüfverfahren wie Marshall, Spaltzugversuche sowie statische und dynamische Kriechversuche zugelassen. Diese Prüfverfahren werden jedoch nicht näher behandelt.

Die Versuchstemperatur für die Druckfestigkeitsbestimmung ist vage mit „in der Regel bei 18°C“ beschrieben. Zur Untersuchung des Materialverhaltens sind auch verschiedene weitere Temperaturen (0°C, 18°C, 50°C) zugelassen.

Das Kapitel Ausführung behandelt die Aufbereitung und den Einbau des Kaltmischgutes mit spezieller Erwähnung der Massnahmen zur Verhinderung von Entmischungen sowie der Wartefristen für die Verkehrsübergabe.

Normanforderungen bestehen für das Mischgut und für die eingebaute Schicht.

#### Anforderungen ans Mischgut

- Korngrößenverteilungsbereich (siehe Abbildung 5)

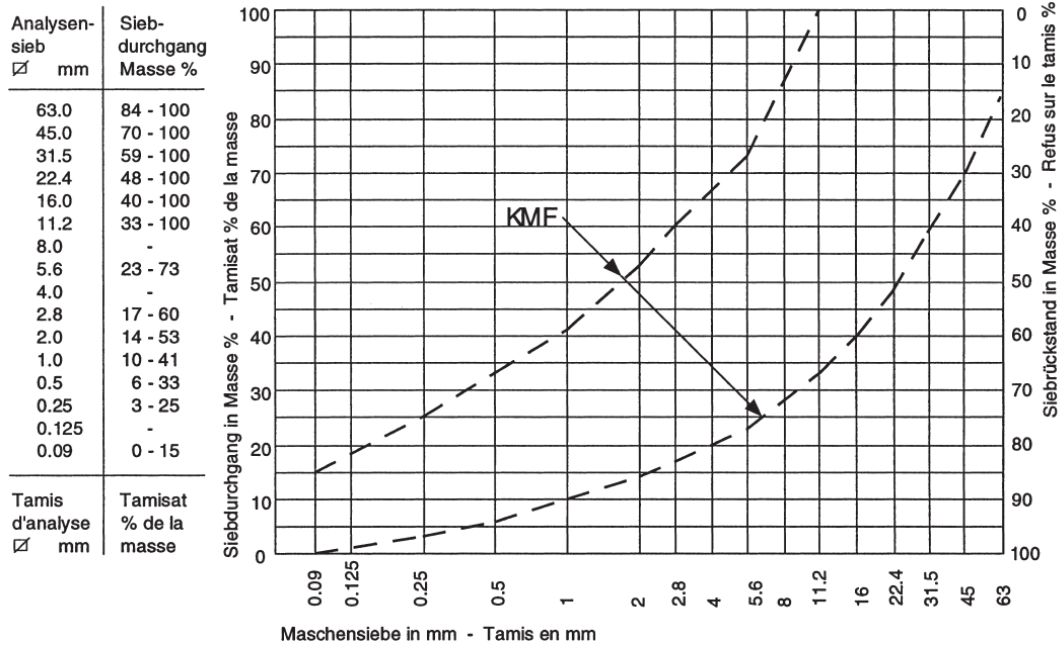


Abbildung 5: Empfohlener Bereich der Korngrößenverteilung KMF.

- zulässige Abweichung von der festgelegten Sollkurve (siehe Tabelle 2)

Tabelle 2: Zulässige Abweichung von der festgelegten Sollkurve.

Prüfsieb [mm]	Zulässige Abweichung [Masse-%]
0,09	± 4
0,25	± 6
2,8	± 10
11,2	± 14
31,5	± 12

- Bindemittelgehalt, zulässige Abweichung vom Sollwert: Mittelwert (n ≥ 4): ±0.5 M-%  
Einzelwert: ±1.0 M-%
- Die Anforderungen an die Prüfkörper (Hohlraumgehalt, Druckfestigkeit vor Wasserlagerung sowie Verhältnis der Druckfestigkeit nach/vor Wasserlagerung) im Rahmen von Kontrollprüfungen sind analog denen aus der Eignungsprüfung. Eine Übersicht ist in Tabelle 3 gegeben.

Tabelle 3: Anforderungen an Duriez-Prüfkörper.

Hohlraumgehalt	max. 15	Vol.-%
Druckfestigkeit vor Wasserlagerung	min. 3	MN/m <sup>2</sup>
Verhältnis der Druckfestigkeit nach/vor Wasserlagerung	min. 0,55	-

**Anforderungen an die eingebaute Schicht**

- Schichtdicke: mindestens das 2.5-fache des Grösstkorns

- Hohlraumgehalt (Einzelwert): 2-15 Vol-%

Beim Kapitel „Kontrollen“ wird unterschieden zwischen den Kontrollen bei der Aufbereitung sowie den Kontrollen während des Einbaus und an der eingebauten Schicht.

Die zu ermittelnden Materialkennwerte umfassen die Korngrößenverteilung (Mineralstoffe nach der Extraktion), die Stückgrößenverteilung (Zuschlagstoff), den löslichen Bindemittelanteil und die Duriez-Kennwerte. Im Weiteren sind ohne Vorgaben der Prüfgrößen die Beschaffenheit der verwendeten Zuschlagstoffe und des Bindemittels sowie die Gleichmässigkeit der Umhüllung der Zuschlagstoffe durch visuelle Beurteilung zu kontrollieren.

Die Kontrollen an der eingebauten Schicht umfassen die volumetrischen Kennwerte (Hohlraumgehalt am Bohrkern), die Zusammensetzung und Eigenschaften des Mischgutes analog den Kontrollen bei der Aufbereitung und nicht näher definierte Tragfähigkeitswerte.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Norm einerseits das breite Spektrum der Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln umfassend abdeckt, andererseits jedoch Schwachpunkte aufweist und so dem heutigen Stand der Technik nicht gerecht wird. Insbesondere zu erwähnen sind:

- Zu starke Auslegung auf die Stabilisierung von Böden. Diese Anwendung hat in der Praxis nur einen untergeordneten Stellenwert
- Keine explizite Behandlung der Schaumbitumenttechnologie
- Teilweise offene Formulierungen bei der Beschreibung der Prüfbedingungen und der Anforderungen
- Vermischung von Produktnorm, Anforderungsnorm und Prüfnorm.

### 4.3.2 Ausland

Auf europäischer Ebene besteht bis anhin keine Norm, die Konzeptionierung, Herstellung und/oder Einbau von Kaltmischfundationen regelt. Als einzige Komponente werden in der Norm EN 13808 [8] Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften von Klassen kationischer Bitumenemulsionen festgelegt.

In den einzelnen Ländern wurden daher diverse Merkblätter, nationale Normen und Empfehlungen erarbeitet. In vielen, aber nicht allen Europäischen Ländern wird bereits standardmässig ein grosser Teil des Ausbauasphalts wieder verwertet [9]. Im Folgenden wird die Situation in einigen (Nachbar)Ländern sowie den USA etwas näher betrachtet.

In Deutschland sind Herstellung und Einbau von KMF nicht normiert. Der Einsatz von Kaltrecycling im Strassenbau ist im Rahmen von Merkblättern geregelt. [10] [11] Diese beiden Merkblätter regeln die Anforderungen an Kaltmischfundationen mit nicht PAK-belastetem Recyclingmaterial [2] respektive mit leicht PAK-belastetem Recyclingmaterial [11].

Kaltrecycling-Gemische (KRC-Gemische) werden in bitumen-dominante KRC-Gemische mit einem E-Modul nach 28 Tagen von 3'000-7'000 MN/m<sup>2</sup> und hydraulisch-dominante KRC-Gemische mit einem E-Modul nach 28 Tagen von 7'000-12'500 MN/m<sup>2</sup> unterteilt. Für KRC-Gemische mit reiner Bitumenbindung sind keine E-Modul Richtwerte definiert. Als bituminöses Bindemittel kann eine kationische Emulsion oder Schaumbitumen verwendet werden.

Für nicht PAK-belastete KRC-Gemische mit gemischten Bindemitteln (bituminös und hydraulisch) ist für jede Baustelle eine Eignungsprüfung zu erstellen, Die Korngrößenverteilung sollte dabei stetig sein und maximal 10 M-% Überkornanteil aufweisen. Bei bitumen-dominanten Gemischen ist ein Kornanteil < 0.09 mm zwischen 2 und 10 M-% anzustre-



ben und der Siebdurchgang bei 2 mm soll bei mindestens 20 M-% liegen. Wird Schaumbitumen statt Emulsion verwendet, bestehen folgende Anforderungen an die Korngrößenverteilung: 3-12 M-% < 0.063 mm,  $\geq 25$  M-% < 2 mm. Bei leicht PAK-belasteten KRC-Gemischen ist die Erstprüfung beim Material ab Lagerplatz durchzuführen. Dabei sollten 4-9 M-% < 0.063 mm, max. 30 M-% zwischen 0.063 mm und 2 mm sowie max. 10 M-% zwischen 32 und 45 mm liegen. In allen Fällen müssen im Rahmen der Eignungsprüfung Stück- und Korngrößenverteilung, Bindemittelgehalt des Mischgranulats sowie der benötigte Wassergehalt bestimmt werden. Zur Ermittlung der Spaltzugfestigkeit, insbesondere dem Wert nach 28 Tagen sowie dem Abfall nach Wasserlagerung, werden Probekörper hergestellt.

Festgelegt sind insbesondere Anforderungen an Siebkurven in Abhängigkeit der Verwendung, Hohlraumgehalt, Verdichtungsgrad, Einbaudicke, Tragfähigkeit und Spaltzugfestigkeit. Weiter wird geregelt, was für PAK-Gehalte für welche Verfahren empfohlen und zugelassen sind. Details sind in Tabelle 4 gegeben.

Tabelle 4: Anforderungen an Baustoffgemische gemäss M VB-K [11].

Kennwert	Eignungsprüfung	Eigenüberwachungs-/Kontrollprüfung
Hohlraumgehalt	5,0 bis 15,0 Vol.-% (höchstens 10,0 Vol.-% <sup>1)</sup> )	höchstens Wert der Eignungsprüfung + 2 Vol.-%, maximal 16 Vol.-%
Spaltzugfestigkeit $\beta_{SZ,7}$ bei T = +5°C nach 7 Tagen oder Spaltzugfestigkeit $\beta_{SZ,28}$ bei T = +5°C nach 28 Tagen	0,6 bis 0,8 N/mm <sup>2</sup>  0,7 bis 1,0 N/mm <sup>2</sup>	0,5 bis 1,0 N/mm <sup>2</sup>  0,6 bis 1,2 N/mm <sup>2</sup>
PAK nach EPA <sup>1)</sup> (im Eluat)	höchstens 0,03 mg/l	–
Phenolindex <sup>1)</sup> (im Eluat)	höchstens 0,1 mg/l	–

<sup>1)</sup> bei Verwertung von Mischgranulat mit pechhaltigen Ausbaustoffen

Die Bindemittelgehalte bei PAK-freien Mischgranulaten betragen 2-6 M-% Bitumenemulsion und 3-6 M-% Zement oder 2.5-5 M-% Schaumbitumen und 1-3 M-% Zement. PAK-belasteten Mischgranulaten wird 3-5 M-% Bitumenemulsion oder 2.5-5 M-% Schaumbitumen sowie 1-2 M-% Zement zugegeben.

Für den Einbau wird eine umfangreiche Eigenüberwachung empfohlen. Dabei werden Kriterien wie optische Beschaffenheit, Frästiefe, Bindemitteldosierung, Schichtdicke, Verdichtung, profilgerechte Lage, Wassergehalt, Feucht- und Trockendichte sowie der dynamische Verformungsmodul EVD erwähnt. Die KRC-Schicht darf erst nach Erreichen der Mindesttragfähigkeit, in der Regel nach 3-4 Tagen, überbaut werden.

Kontrollprüfungen sind pro 3000 m<sup>2</sup> oder mindestens einmal täglich durchzuführen. Diese beinhalten Hohlraumgehalt, Trockendichte und Spaltzugfestigkeit sowie bei PAK-haltigen Inhaltsstoffen den Nachweis der Umweltverträglichkeit gemäss RuVA-StB 01 [12] am Probekörper. An der fertigen Schicht werden Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt, Schichtdicke, Ebenheit, profilgerechte Lage sowie die Querneigung überprüft. Die Anforderungen sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: Anforderungen an die eingebaute Schicht gemäss M VB-K [11].

Kennwert	Eigenüberwachungs-/Kontrollprüfung
Schichtdicke <sup>1)</sup>	Mittelwert: Sollwert -10 % Einzelwert: Sollwert -3 cm
Verdichtungsgrad <sup>1)</sup>	mindestens 98 %
Hohlraumgehalt	höchstens 16 Vol.-% (höchstens 10 Vol.-%) <sup>2)</sup>
Ebenheit	höchstens 1,5 cm
Profilgerechte Lage	Sollhöhe ± 1,5 cm
Dynamischer Verformungsmodul (Tragfähigkeitsentwicklung)	$E_{vd} \geq 65 \text{ MN/m}^2$

<sup>1)</sup> Schichtdicken- und Dichtenachweis am Bohrkern oder über Ersatzverfahren (DIN 18125-2)  
(s. Abschnitt 9.4.6)

<sup>2)</sup> bei Verwertung von Mischgranulat mit pechhaltigen Ausbaustoffen

Für Kaltmischungen mit bituminösen und hydraulischen Bindemitteln gelten die in Tabelle 6 und Tabelle 7 angegebenen Anforderungen.

Tabelle 6: Anforderungen an Probekörper gemäss M KRC [10].

Kennwert	Eignungsprüfung	Eigenüberwachungs-/ Kontrollprüfung
Hohlraumgehalt	8 bis 15 Vol.-% max. 10 Vol.-% <sup>1)</sup>	$\leq$ Wert der Eignungsprüfung + 4 Vol.-% $\leq$ Wert der Eignungsprüfung + 2 Vol.-% <sup>1)</sup>
Spaltzugfestigkeit bei $T = + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ nach 7 Tagen $\beta_{sz,7}$	Mittelwert $\geq 0,50 \text{ N/mm}^2$ $\leq 0,80 \text{ N/mm}^2$ <sup>2)</sup>	$\geq$ Wert der Eignungsprüfung - 20 % <sup>3)</sup> $\leq$ Wert der Eignungsprüfung + 30 % <sup>2),3)</sup>
Spaltzugfestigkeit bei $T = + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ nach 28 Tagen $\beta_{sz,28}$	Mittelwert $\geq 0,75 \text{ N/mm}^2$ $\leq 1,20 \text{ N/mm}^2$ <sup>2)</sup>	$\geq$ Wert der Eignungsprüfung - 20 % $\leq$ Wert der Eignungsprüfung + 30 % <sup>2)</sup>
Abfall der Spaltzugfestigkeit gegenüber $\beta_{sz,28}$ nach Wasserlagerung	< 30 %	–
E-Modul	ist zur Erfahrungssammlung zu bestimmen	

Tabelle 7: Anforderungen an eingebaute Schicht gemäss M KRC [10].

Kennwert	Eigenüberwachungs-/ Kontrollprüfung
Einbaudicke <sup>4)</sup>	Soll-Wert – 10 %
Verdichtungsgrad <sup>4)</sup>	≥ 98 % ≥ 96 % <sup>5)</sup>
Hohlraumgehalt	≤ 12 Vol.-% <sup>1)</sup>
Mindesttragfähigkeit der KRC-Schicht vor der Überbauung	$E_{vd} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ ; $E_{v2} \geq 180 \text{ MN/m}^2$
Ebenheit	1,5 cm/4 m
Profilgerechte Lage	Sollhöhe ± 2 cm

In Frankreich wird KMF gestützt auf den „Guide technique: retraitement en place à froid des anciennes chaussées“ [13] eingebaut. Diese relativ umfangreiche Richtlinie beschreibt Schichtaufbau, Ausgangsmaterialien und Prüfungen. Prüftechnisch basiert sie hauptsächlich auf Duriez-Versuchen, also Druckfestigkeit und Wasserempfindlichkeit. Die Richtlinie gilt vorerst als gute Grundlage, die Technik hat in Frankreich jedoch noch Potential für Weiterentwicklung und Optimierung. [14]

Die Britische Highway Agency des Department for Transport hat die Verwendung von Ausbauasphalt im „Manual of contract documents for highway works“ (MCHW) [15] detailliert geregelt. Darin werden Anforderungen an Ausgangsmaterialien, Mischungen und eingebaute KMF-Beläge ausführlich beschrieben und genau definiert. Beschrieben wird die ex-situ sowie die in-situ Methode. Verlangt werden Eignungsprüfung sowie Prüfungen am Objekt und an Probekörpern während/ nach dem Einbau.

Als bituminöses Bindemittel wird in-situ Schaumbitumen und ex-situ Schaumbitumen oder Emulsion verwendet. Die Korngrößenverteilung für ex-situ Einbauten ist in Tabelle 8 angegeben, wobei im Normalfall die Zone A verwendet werden soll. In-situ ist mit 5-20 M-% lediglich der Anteil <0.063 mm vorgegeben.

Tabelle 8: Anforderungen an die Korngrößenverteilung. [15]

Sieve (mm)	Percentage by mass passing		
	Zone A	Zone B	Zone C
40	100	100	100
31,5	100	100	86-100
20	100	100	65-100
14	85-100	85-100	52-100
10	68-100	68-100	44-100
4	38-74	38-94	26-74
2	26-58	26-84	18-58
0,5	13-38	13-64	8-38
0,250	9-28	9-51	5-28
0,063	5-21	5-38	3-21

Anforderungen an Einzel- und Mittelwerte sind in Tabelle 9 (Kaltmischgut) und Tabelle 10 (Bohrkerne) angegeben.

*Tabelle 9: Anforderungen an Kaltmischgut. [15]*

<b>Material property or characteristic</b>	<b>Individual results</b>	<b>Mean from test set</b>
Relative in-situ density	93% Minimum	95% Minimum
Aggregate grading	In accordance with sub-Clause 3 of this Clause	
Added bitumen content	Target <sup>1</sup> = 0.6%	N/A
Moisture content	Optimum $\pm$ 3%	Optimum $\pm$ 2%
Layer thickness (site measurement)	$\pm$ 25 mm of specified	$\pm$ 15 mm of specified
Cement content (site rate of spread measurement)	Target $\pm$ 2%	Target $\pm$ 1%
Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) – dry specimens	2000 MPa minimum	2500 MPa minimum
ITSM – water saturated specimens	1500 MPa minimum	2000 MPa minimum
Percentage air voids content	12% maximum	9% maximum

*Tabelle 10: Anforderungen an Bohrkerne. [15]*

<b>Material property or characteristic</b>	<b>Individual cores</b>	<b>Mean from core set</b>
Core density relative to refusal density	93% minimum	95% minimum
Air voids content	9% maximum	7% maximum
Layer thickness (from core measurement)	$\pm$ 25mm of specified	$\pm$ 15mm of specified
Indirect Tensile Stiffness Modulus - dry	2000 MPa minimum	2500 MPa minimum

In den USA gibt es kein allgemein gültiges Regelwerk zur Herstellung und zum Einbau von KMF. Es existieren verschiedene Rezepturen und Ansätze. [16] Die am weitesten verbreiteten und akzeptierten Methoden sind jene der Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA). Im Basic Asphalt Recycling Manual (BARM) werden Rezepturen, Herstellung und Einbautechniken beschrieben. [17] Insbesondere wird darin unterschied-

den zwischen Recycling vor Ort und Aufbereitung in einer Mischanlage. Als Bindemittel wird Emulsion verwendet, die je nachdem mit einem hydraulischen Bindemittel ergänzt wird. Bei einer Einbaudicke von 5-10 cm wird nur Emulsion verwendet; wird zusätzlich ein hydraulisches Bindemittel zugegeben, kann bis 15 cm Tiefe gefahren werden.

## 5 Probenmaterial und Prüfkörper

### 5.1 Kaltmischgut mit Schaumbitumen

#### 5.1.1 Herstellung Probenmaterial

Das Probenmaterial stammt aus Mischgutproduktionen für diverse Baustellen. Dabei wurden sowohl mobile Anlagen mit kontinuierlichem Durchlaufmischer (z.B. CMC-Anlagen der Firma AMMANN mit bis 200 t Stundenleistung) als auch stationäre Anlagen mit Chargenmischer berücksichtigt. Die Probenahmen erfolgten dabei entweder direkt an der Anlage oder auf der Baustelle ab Fertigungsmulde.

Sämtliches Probenmaterial stammt aus grosstechnischen Mischanlagen. Labormischungen wurden keine hergestellt. Theoretisch besteht die Möglichkeit, die Schaumbitumenherstellung im Labormassstab durchzuführen. Die entsprechende Laboranlage der Firma MOBILLOIL zur Herstellung von Schaumbitumen wurde im Vorfeld der Forschungsarbeiten getestet und für die Mischgutherstellung als unzweckmässig erachtet. Als heikler Punkt erwies sich dabei nicht die Herstellung des Bitumenschaums sondern die Simulierung des Mischprozesses mit der zeitgleichen Zugabe des Bitumenschaums.

#### 5.1.2 Ausgangsbaustoffe

Als Asphaltgranulat wurde in jedem Fall ein aufbereitetes, d.h. gebrochenes, und abgeseibtes Korngemisch 0/22 verwendet. Dabei kam immer das Gesamtgemisch ohne Fraktionierung in einzelne Korngruppen zur Anwendung.

Als Sand wurde ausschliesslich Brechsand 0/4 mit einem mittleren Füllergehalt von 10 M-% eingesetzt. Reines Asphaltgranulat zeichnet sich aus durch einen tiefen Anteil an Feinmaterial. Diese Korngrössenverteilung wirkt sich in einem hohen Hohlraumgehalt im Mischgut und in der eingebauten Schicht aus. Theoretisch kann dadurch die Festigkeit und die Wasserbeständigkeit beeinflusst werden. Die Zugabe von Brechsand erfolgt somit als Kompensation für den tiefen Feinanteil aus dem Asphaltgranulat.

Als hydraulische Zusätze kamen die Produkte CEM II / A-LL 42.5 N und Doroport TB N, HRB32.5 E zur Anwendung. Beim Produkt Doroport TB N handelt es sich um ein hydraulisches Spezialbindemittel, das aus Zement und gebranntem Schiefer nach EN 197-1 [18] hergestellt wird. Das Bindemittel zeichnet sich durch eine hohe Mahlfeinheit aus und ermöglicht so eine optimale Durchmischung mit dem Ausgangsmaterial. Die Festigkeitsentwicklung ist gegenüber den reinen Zementen etwas verlangsamt, wodurch der Verarbeitungsprozess verlängert werden kann.

#### 5.1.3 Rezepturen

Mit Berücksichtigung der Erfahrung und des aktuellen Standes der Technik wurde die in der Praxis üblicherweise eingesetzte Rezeptur als Hauptrezeptur geprüft:

- Asphaltgranulat feucht: 80.5 M-%
- Brechsand: 15.0 M-%
- Schaumbitumen: 3.5 M-%
- Hydraulischer Zusatz: 1.0 M-%

Als Untervarianten wurden Rezepturen ohne Brechsand oder ohne hydraulische Zusätze berücksichtigt.



## 5.2 Kaltmischgut mit Bitumenemulsion

### 5.2.1 Herstellung Probenmaterial

Das Probenmaterial wurde sowohl an grosstechnischen Mischanlagen wie im Labor hergestellt. Im Labor kam ein Asphalt-Labormischer 30 L mit Gleichlaufprinzip zum Einsatz (siehe Abbildung 6). Die Mischfolge richtet sich nach der Erfahrung mit den grosstechnischen Anlagen und wurde für jede Mischung analog durchgeführt: Asphaltgranulat – Brechsand – hydraulischer Zusatz – Wasser (bei Bedarf) – Bitumenemulsion. Die Mischzeiten richteten sich nach der Anforderung, ein homogenes und möglichst gut umhülltes Mischgut herzustellen. Diese Anforderung wurde visuell überprüft und die Mischzeiten entsprechend optimiert. Die so eingestellten Mischzeiten wurden für alle Mischungen übernommen.



Abbildung 6: Labormischer.

Im Weiteren wurde Probenmaterial aus grosstechnischer Produktion gewonnen. Dabei wurde im Rahmen der ASTRA-Grossbaustelle N1/N7 Ohringen-Matzingen Kaltmischgut an zwei parallel geschalteten mobilen Kaltmischanlagen mit Durchlaufmischer produziert (siehe Abbildung 7).





Abbildung 7: Mobile Kaltmischanlage N1/N7 (Typ KMA 220, Wirtgen, Tagesleistung bis 2200 t pro Anlage).

### 5.2.2 Ausgangsbaustoffe

Als Asphaltgranulat wurde ebenfalls ein aufbereitetes, d.h. gebrochenes und abgeseibtes Korngemisch 0/22 verwendet. Auch hier kam immer das Gesamtgemisch ohne Fraktionierung in einzelne Korngruppen zur Anwendung.

Für die Sandzugabe wurde ausschliesslich ein Brechsand 0/4 mit einem mittleren Füllergehalt von 10 M-% eingesetzt.

Als Emulsion kam eine kationische Bitumenemulsion Vialit RE 60 Z (70/100) oder Webacid-Recycling C60 zum Einsatz. Als hydraulischer Zusatz wurde für die Labormischung ein Zement CEM II / A-LL 42.5 N gewählt, bei der Grossproduktion kam der hydraulische Recyclingbinder HRB 32.5, ZIP 35 zur Anwendung.

### 5.2.3 Rezepturen

Für die Labormischungen wurden mehrere Rezepturvarianten entwickelt:

#### Mischung A

- Asphaltgranulat feucht: 79.5 M-%
- Brechsand: 15 M-%
- Bitumenemulsion: 3.5 M-%
- Hydraulischer Zusatz: 2.0 M-%

#### Mischung B

- Asphaltgranulat feucht: 81.5 M-%
- Brechsand: 15 M-%
- Bitumenemulsion: 3.5 M-%
- Hydraulischer Zusatz: 0 M-%

#### Mischung 1

- Asphaltgranulat: 85 M-%
- Brechsand: 15 M-%
- Emulsion: 2.5 M-%
- Zement: 1.5 M-%

#### Mischung 2

- Asphaltgranulat: 85 M.-%



- Brechsand: 15 M-%
- Emulsion: 3.5 M-%
- Zement: 1.5 M-%

### Mischung 3

- Asphaltgranulat: 85 M-%
- Brechsand: 15 M-%
- Emulsion: 4.5 M-%
- Zement: 1.5 M-%

### Mischung 4

- Asphaltgranulat: 85 M-%
- Brechsand: 15 M-%
- Emulsion: 3.5 M-%
- Zement: 2.0 M-%

### Mischung 5

- Asphaltgranulat: 80 M-%
- Brechsand: 20 M-%
- Emulsion: 3.5 M-%
- Zement: 1.5 M-%

Bei den Feldmischungen wurden 6 Rezepturen mit einer Variation im Gehalt der Emulsion und des hydraulischen Zusatzes eingesetzt. Als zusätzlicher Parameter wurde der Unterschied zwischen reinem Asphaltgranulat und Asphaltgranulat gemischt mit einem Kiesgemisch untersucht. Die detaillierten Rezepturen sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: KMF mit Emulsion, Feldmischungen.

Rezept-Nr.	Zementgehalt [M-%]	Emulsion [M-%]	Zuschlagstoffe
I	2.0	2.0	AG
II	1.0	2.5	AG
III	1.5	1.5	AG
IV	2.5	4.5	AG + KS (je ½)
V	2.0	4.0	AG + KS (je ½)
VI	2.0	3.5	AG + KS (je ½)

## 5.3 Herstellung und Lagerung der Prüfkörper

### 5.3.1 Prüfkörperherstellung Allgemeines

Grundsätzlich besteht bei der Prüfkörperherstellung das Bestreben, ein Herstellungsmodell im Labor zu entwickeln, das die Praxisbedingungen möglichst nahe simuliert. Massgebend sind die resultierenden Prüfkörperaumdichten. Diese dienen als Referenzwerte zur Beurteilung der Verdichtungsleistung beim Einbau und sie beeinflussen die mechanischen Materialkennwerte. Bei der Herstellung, respektive der Verdichtung von Prüfkörpern unterscheidet man zwei verschiedene Verdichtungsarten. Auf der einen Seite ist die sogenannte Schlagverdichtung, auf der anderen Seite ist die statische Verdichtung. Zur Abklärung des Einflusses der Prüfkörperherstellung wurden CBR-, Proctor- und Marshall-Prüfkörper mit Schlagverdichtung sowie Duriez-Prüfkörper mit statischer Verdichtung hergestellt.

### 5.3.2 Prüfkörperherstellung Proctorversuch

Mit dem Proctorversuch wird der Verdichtungsprozess im Labor mit definierter Verdichtungsenergie nachgeahmt. Der Verdichtungsversuch ermöglicht die Bestimmung der maximalen Raumdichte und des dazugehörigen optimalen Wassergehaltes. Diese Werte bil-

den die Grundlage für die Festsetzung der bei der Baustellenausführung zu erreichenden Verdichtung.

Als Normengrundlagen hierzu dienen:

- SN 670 330-2a / EN 13286-2:2004: Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische, Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Trockendichte und des Wassergehaltes – Proctorversuch [19]
- SN 670 330-50 / EN 13286-50:2004: Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische, Teil 50: Verfahren zur Herstellung von hydraulisch gebundenen Gemischen durch Verdichtung mit Proctorgerät oder Vibrationstisch [20]
- SN 670 330-1 / EN 13286-1:2003: Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische, Teil 1: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt – Einführung, allgemeine Anforderungen und Probenahme [21]

Zur Anwendung kam der Proctortopf Typ A mit 100.0±1.0 mm Durchmesser und 120.0±1.0 mm Höhe. Die maximale Korngrösse des Gemisches betrug 22.4 mm.

Bei der Verdichtungsenergie wurde unterschieden zwischen standard und modifiziert.

**Standard mit Verdichtungsenergie 0.6 MJ/m<sup>3</sup>**

- Proctorhammer Typ A: 2.50±0.02 kg
- Durchmesser Grundfläche: 50.0±0.5 mm
- Fallhöhe: 305±3 mm
- Anzahl Schichten: 3
- Anzahl Schläge je Schicht: 25

**Modifiziert mit Verdichtungsenergie 2.7 MJ/m<sup>3</sup>**

- Proctorhammer Typ A: 4.50±0.04 kg
- Durchmesser Grundfläche: 50.0±0.5 mm
- Fallhöhe: 457±3 mm
- Anzahl Schichten: 5
- Anzahl Schläge je Schicht: 25

### 5.3.3 Prüfkörperherstellung CBR-Versuch (California bearing ratio)

Das Verdichtungsprinzip entspricht dem des Proctorversuchs. Das Probenmaterial wurde nach der Norm EN 13286-2:2004 [22] verdichtet. Zur Anwendung kam der Proctortopf Typ B mit 150.0±1.0 mm Durchmesser und 120.0±1.0 mm Höhe. Die maximale Korngrösse des Gemisches betrug 22.4 mm.

Bei der Verdichtungsenergie wurde unterschieden zwischen standard und modifiziert.

**Standard mit Verdichtungsenergie 0.5 MJ/m<sup>3</sup>**

- Proctorhammer Typ B: 4.50±0.04 kg
- Durchmesser Grundfläche: 50.0±0.5 mm
- Fallhöhe: 457±3 mm
- Anzahl Schichten: 5
- Anzahl Schläge je Schicht: 12

**Modifiziert mit Verdichtungsenergie 2.5 MJ/m<sup>3</sup>**

- Proctorhammer Typ B: 4.50±0.04 kg

- Durchmesser Grundfläche: 50.0±0.5 mm
- Fallhöhe: 457±3 mm
- Anzahl Schichten: 5
- Anzahl Schläge je Schicht: 55

### 5.3.4 Prüfkörperherstellung Marshall-Versuch

Der Marshall-Versuch beschreibt die Methode zur Herstellung von Prüfkörpern aus Asphalt mittels Schlagverdichtung. Diese Prüfkörper werden hauptsächlich zur Bestimmung der Raumdichte und anderer materialtechnischer Kennwerte wie der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes verwendet.

Zur Herstellung von Prüfkörpern mittels Marshall-Verdichtungsgerät wird das Probegemisch in der Prüfform mit einem Durchmesser von 101.6±0.1 mm und einer Höhe von 63.5±2.5 mm beidseits mit je gleichmässig vielen Schlägen verdichtet. Das Gewicht des Marshall-Hammers beträgt 4500±20 g; die Fallhöhe beträgt 457±3 mm. Das Probenmaterial wurde entsprechend der vorgegebenen Fragestellung in Abweichung der Norm kalt, d.h. bei Raumtemperatur (20±2°C) verarbeitet. Die maximale Korngrösse des Gemisches betrug 22.4 mm.

Als Normengrundlage dient die SN 670 430 / EN 12697-30:2004; Asphalt Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 30: Probenvorbereitung, Marshall-Verdichtungsgerät. [23]

Es wurden drei verschiedene Verdichtungsenergien unterschieden:

- Verdichtungsenergie 1.47 MJ/m<sup>3</sup> (25 Schläge pro Seite)
- Verdichtungsenergie 2.93 MJ/m<sup>3</sup> (50 Schläge pro Seite)
- Verdichtungsenergie 4.40 MJ/m<sup>3</sup> (75 Schläge pro Seite)

### 5.3.5 Prüfkörperherstellung Duriez-Versuch

Für KMF werden in der Schweiz gemäss aktueller Norm Duriez-Prüfkörper verwendet. Die Verdichtung der Duriez-Prüfkörper erfolgt durch statisches Einpressen von Kolben auf beiden Seiten der Verdichtungsform. Die Kraft muss in 60 Sekunden aufgebracht werden und danach während 300 Sekunden erhalten bleiben. Dies geschieht durch kraftgesteuertes Nachregeln des Weges. Die Prüfkörperherstellung ist in Abbildung 8 fotografisch festgehalten.

Als Normengrundlage dient die SN 640 506a, Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln. [4]

Als Grösstkorn kam das Korn 22.4 mm zur Anwendung. Entsprechend der Normvorgabe erfolgte die Verdichtung in der Prüfform mit einem Durchmesser von 120 mm und einer Höhe von min. 270 mm. Der Verdichtungsprozess wurde über eine servohydraulisch gesteuerte Prüfpresse ausgeführt. Zur Variation der Verdichtungsenergie wurden die Prüfkörper mit unterschiedlicher statischer Verdichtungskraft hergestellt: 40 kN, 80 kN, 100 kN und 120 kN.



Abbildung 8: Duriez-Verdichtung im Labor.

### 5.3.6 Lagerung der Prüfkörper

Bei der Luftlagerung wurden entsprechend der Norm SN 640 506a, Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln [4], die Prüfkörper bei einer Temperatur von  $18\pm 2^\circ\text{C}$  bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von  $50\pm 10\%$  gelagert. Bei der Wasserlagerung betrug die Temperatur ebenfalls  $18\pm 2^\circ\text{C}$ . Die Lagerungsdauer betrug bei der Luftlagerung 7, 14 oder 28 Tage, bei der Wasserlagerung 14 Tage. Zur Beurteilung der Festigkeitsentwicklung erfolgen Langzeitlagerungen mit einer Dauer von 3 Jahren Luftlagerung.

# 6 Prüfprogramm

## Prüfprogramm KMF mit Schaumbitumen (Abschnitt 7.2)

Einfluss der Prüfkörperherstellung auf die Raumdichte		Einfluss auf die Festigkeit				
Raumdicke	Prüfkörperalter	Wassereinwirkung	Spaltzugfestigkeit ITSR	Prüftemperatur	Spaltzugfestigkeit 7 Tage Marshallkörper 50/50	
CBR standard	Druckfestigkeit 7 Tage, 28 Tage, 1080 Tage	Druckfestigkeit 7 Tage Luft / 7 Tage Luft+7 Tage Wasser	Marshall 25/25	Druckfestigkeit 7 Tage, Duriez 100 kN	5°C	
CBR modified	Duriez 40 kN	Duriez 40 kN	Marshall 50/50	15°C	15°C	
Proctor standard	Duriez 80 kN	Duriez 80 kN	Marshall 75/75	20°C	20°C	
Proctor modified	Duriez 100 kN	Duriez 100 kN		25°C	25°C	
Marshall 50/50	Duriez 120 kN	Duriez 120 kN				
Marshall 75/75	CBR standard	CBR standard				
Duriez 40 kN	CBR modified	CBR modified				
Duriez 80 kN	Proctor standard	Proctor standard				
Duriez 100 kN	Proctor modified	Proctor modified				
Duriez 120 kN						

Rezeptur		Wasserempfindlichkeit
Brechsand	Bindemittel	Druckfestigkeit 7 Tage Luft / 7 Tage Wasser
Druckfestigkeit 7 Tage, Duriez 100 kN	Druckfestigkeit 7 Tage, Duriez 100 kN	Asphaltgranulat
Ohne Brechsand	Asphaltgranulat	KMF
Mit 15 M-% Brechsand	KMF	

**Prüfprogramm KMF mit Emulsion (Abschnitt 7.3)**

<b>Raumdicke</b>	<b>Prüfkörperalter</b>	<b>Wassereinwirkung</b>
Spaltzugfestigkeit	Druckfestigkeit	Druckfestigkeit 7 Tage Luft/7 Tage Wasser
Duriez 40 kN	Duriez 40 kN	Duriez 40 kN
Duriez 80 kN	Duriez 80 kN	Duriez 80 kN
Duriez 100 kN	Duriez 100 kN	Duriez 100 kN

<b>Prüftemperatur</b>	<b>Rezeptur (Labormischung)</b>	<b>Rezeptur (Labormischung)</b>	<b>Rezeptur (Anlagenmischung)</b>
Spaltzugfestigkeit, 7 Tage 5°C und 20 °C	Hydraulisches Bindemittel	Emulsion, Brechsand, hydraulisches Bindemittel	Emulsion, hydr. Bindemittel, Zuschlagstoff
Duriez 40 kN	Druckfestigkeit, 7 Tage	Druckfestigkeit 7 Tage Luft/7 Tage Wasser, Duriez 100 kN	Druckfestigkeit 7 Tage Luft/7 Tage Wasser/ 28 Tage Luft, Duriez 100 kN
Duriez 80 kN	Ohne Zement	Mischung	Mischung
Duriez 100 kN	Mit Zement	Mischung	Mischung
	Duriez 40 kN	1   2   3   4   5	I   II   III   IV   V
	Duriez 80 kN	[M-%]   [M-%]   [M-%]   [M-%]   [M-%]	[M-%]   [M-%]   [M-%]   [M-%]   [M-%]
	Duriez 100 kN	85   85   85   85   80	AG   AG   AG   AG   AG+UG
		Asphaltgranulat	Zuschlagstoff
		Brechsand	Emulsion
		Emulsion	Zement
		Zement	Zement
		1.5   1.5   1.5   1.5   1.5	2.0   1.5   1.5   2.5   2.0

**Vergleich KMF – AC F (Abschnitt 7.4)**

Festigkeit Spaltzugfestigkeit		Wasserempfindlichkeit ITSr		Verformungsbeständigkeit Druck-Schwell-Versuch	
KMF	AC F	KMF	AC F	KMF	AC F
Marshall 50/50, 28 Tage	Marshall 50/50	Marshall 50/50, 28 Tage	Marshall 50/50	Marshall 50/50, 28 Tage	Marshall 50/50
Duriez 100 kN, 28 Tage		Duriez 100 kN, 28 Tage			

**Praxis (Kapitel 8)**

Vergleich Raumdichte		Vergleich Verformungsbeständigkeit Druck-Schwell-Versuch		Verdichtungskontrolle		Tragfähigkeitsmessung		Lagerfähigkeit	
Laborprüfkörper	eingebaute Schicht	Labor	Eingebaute Schicht			Vergleich EVD zu ME	Tragfähigkeitsentwicklung	Festigkeit / Raumdichte / Wassergehalt	Baustellenlagerung
Marshall 50/50	Bohrkerne	Gyrator	Bohrkerne	Bohrkerne	Isolopenmessung	14°C	Messung nach 1h	Laborlagerung mit und ohne hydraulisches Bindemittel	0, 3 Monate
Marshall 75/75						26°C	8h		
Duriez 80 kN							24h		
Duriez 100 kN									

## 7 Laborteil: Resultate und Beurteilung

### 7.1 Einfluss der Prüfkörperherstellung auf die Festigkeit

Aufgrund der unterschiedlichen Art der Prüfkörperherstellung (Schlagverdichtung/statische Verdichtung) und den verschiedenen Verdichtungsenergien resultieren grosse Unterschiede in der Raumdichte der Prüfkörper. Eine Übersicht der Raumdichte von Prüfkörpern mit Schaumbitumen ist in Abbildung 9 gegeben.

Die Prüfkörper mit statischer Verdichtung weisen bei allen geprüften Verdichtungsenergien gegenüber den Prüfkörpern mit Schlagverdichtung eine höhere Raumdichte auf. Dies lässt sich zurückführen auf den Aufbau von Porenwasserdruck in der Kompressionsphase. Bei der statischen Verdichtung dauert die Kompressionszeit lange an, so dass sich der Porendruck durch einen kontinuierlichen Wasserabfluss abbauen kann und ein Grossteil der Verdichtungsenergie zur Erreichung einer dichten Gefügestruktur aufgewendet wird. Die Prüfkörperform, resp. die dazugehörigen Stempel müssen dabei so ausgebildet sein (z.B. Nuten im Stempelmantel), dass ein kontinuierlicher Wasserabfluss möglich ist.

Bei der Schlagverdichtung hingegen entsteht bei der kurzen, impulsartigen Kompressionsphase ein hoher Porenwasserdruck, welcher ein Teil der Verdichtungsenergie absorbiert.

Die Streuung der Raumdichte ist bei den schlagverdichteten Prüfkörpern tendenziell grösser als die Streuung bei den statisch verdichteten Prüfkörpern.

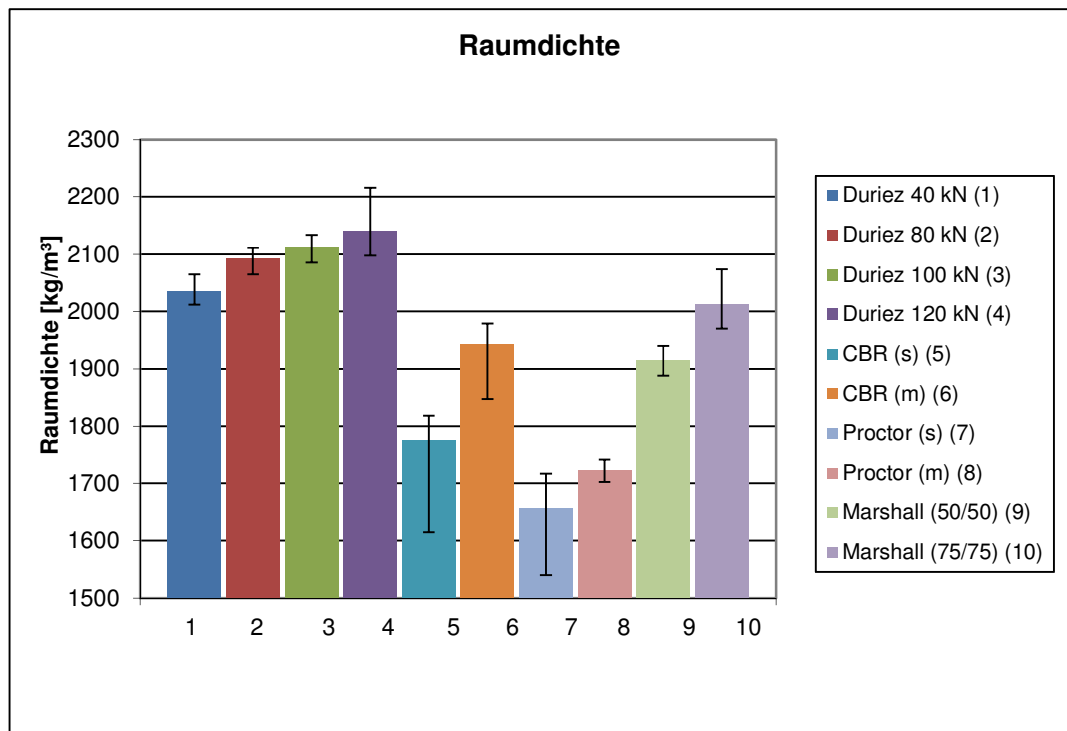


Abbildung 9: Raumdichten der Prüfkörper mit unterschiedlichen Verdichtungsmethoden und -energien; s: Standardverdichtung, m: modifizierte Verdichtung. (Datengrundlage siehe Anhang I)



## 7.2 Schaumbitumen für KMF: Einfluss diverser Parameter auf die Festigkeit

### 7.2.1 Raumdichte, resp. Prüfkörperherstellung

Die aus den verschiedenen Prüfkörperherstellungen resultierenden Unterschiede in der Raumdichte wirken sich deutlich auf die Druckfestigkeit aus. Höhere Raumdichten ergeben generell höhere Festigkeiten (siehe Abbildung 10). So erreichen die dichten statisch verdichteten Probekörper höhere Druckfestigkeiten als die weniger dichten, dynamisch verdichteten Prüfkörper. Die statisch verdichteten Duriez-Prüfkörper mit Verdichtungskräften von 80-120 kN liegen nicht nur in der Raumdichte, sondern auch bei der Druckfestigkeit nahe zusammen. Bei 40 kN Verdichtungskraft liegen Raumdichte und Druckfestigkeit etwas tiefer. Bei den dynamisch verdichteten Prüfkörpern resultiert der grössere Raumdichteunterschied bei unterschiedlichen Verdichtungsenergien auch in einer grösseren Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Verdichtungsenergie.

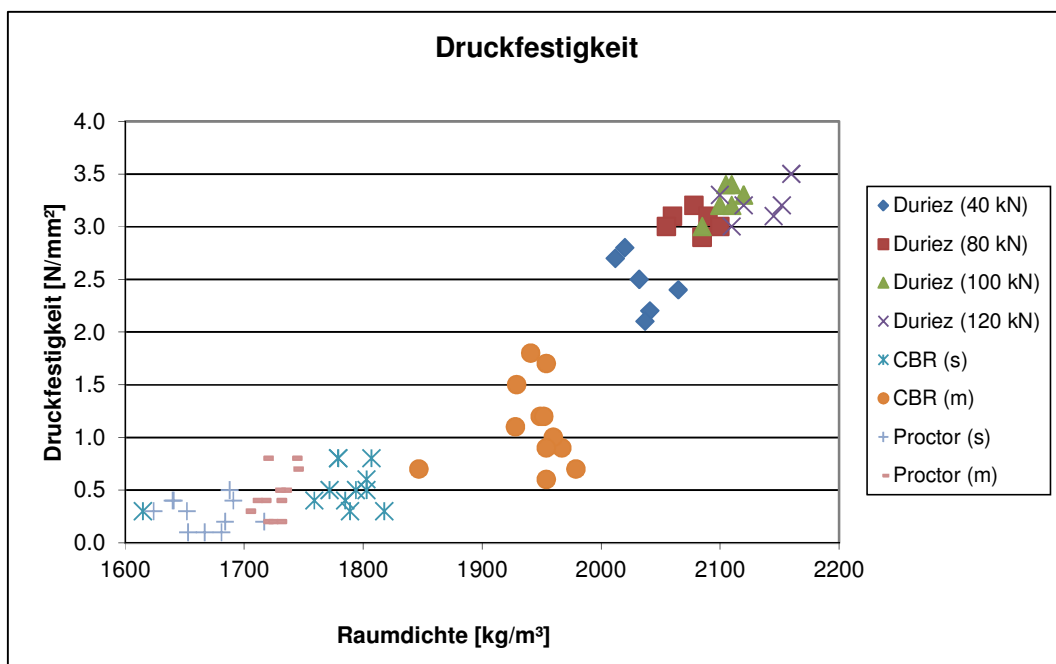


Abbildung 10: 7-Tage Druckfestigkeiten verschiedener Verdichtungsmethoden und -energien als Funktion der Raumdichte; s: Standardverdichtung, m: modifizierte Verdichtung. (Anhang II)

### 7.2.2 Prüfkörperalter

Zur Bestimmung des Einflusses des Prüfkörperalters wurden neben den üblichen 7-Tage- auch die 28-Tage-Festigkeiten bestimmt. Zur Erfassung von möglichen Abbindeprozessen auf einen längeren Zeithorizont und deren Auswirkung auf die Festigkeit wurde die Festigkeit zudem an dreijährigen, luftgelagerten Prüfkörpern bestimmt.

Unabhängig der Verdichtungsart findet mit zunehmendem Prüfkörperalter eine Zunahme der Festigkeit statt. Die Höhe der Zunahme ist jedoch stark abhängig von der Prüfkörperart, resp. der Prüfkörperverdichtung und den daraus resultierenden Raumdichten. Bei schwach verdichteten Prüfkörpern wie Proctor oder CBR liegt das Festigkeitsniveau und die Festigkeitszunahme als Absolutwert gesehen wesentlich tiefer als beim höher verdichteten Duriez-Prüfkörper. Die Festigkeitszunahme zwischen 7 und 28 Tagen ist bei den verschiedenen Verdichtungsmethoden vergleichbar (siehe Abbildung 11). Zwischen 28 und 1080 Tagen nimmt die Festigkeit der dynamisch verdichteten Prüfkörper absolut gesehen deutlich weniger zu als die Festigkeit der statisch verdichteten Prüfkörper (siehe Abbildung 12). Relativ zur den Anfangsfestigkeiten ist die Festigkeitszunahme hingegen bei allen Prüfkörpern ähnlich.

Zwischen 7 und 28 Tagen findet bei den Duriez-Prüfkörpern im Mittel eine Zunahme der Festigkeit um 6 % statt. Zwischen 28 Tagen und drei Jahren nimmt die Festigkeit im Mittel um ca. 60 % zu.

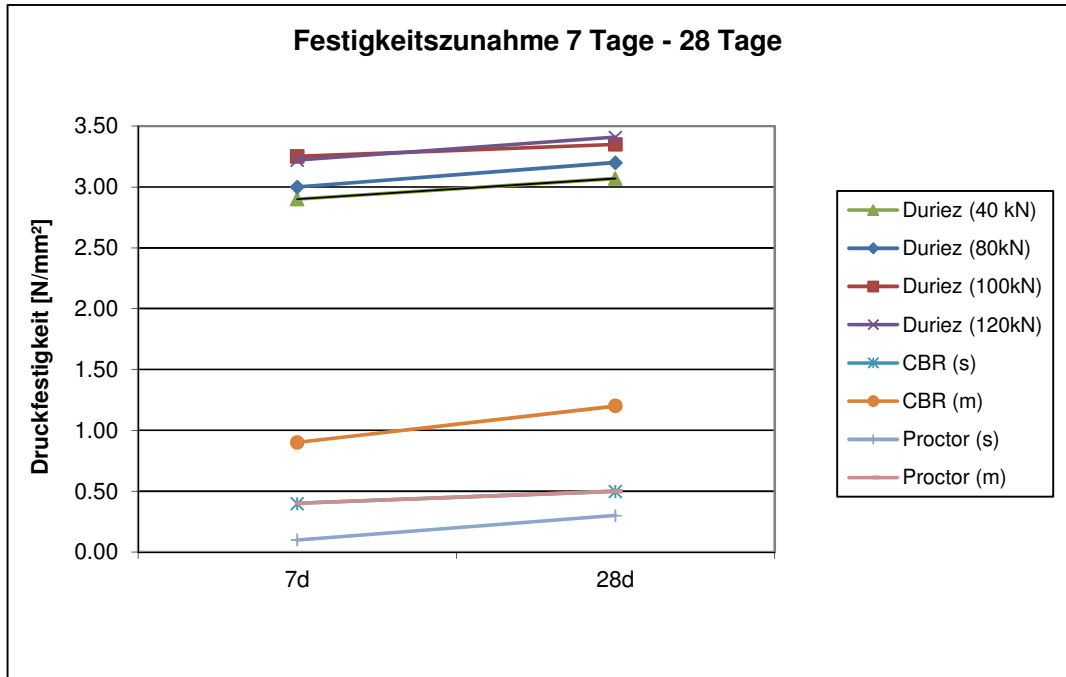


Abbildung 11: Druckfestigkeitsentwicklung in Abhängigkeit des Prüfkörperalters (7 Tage – 28 Tage).

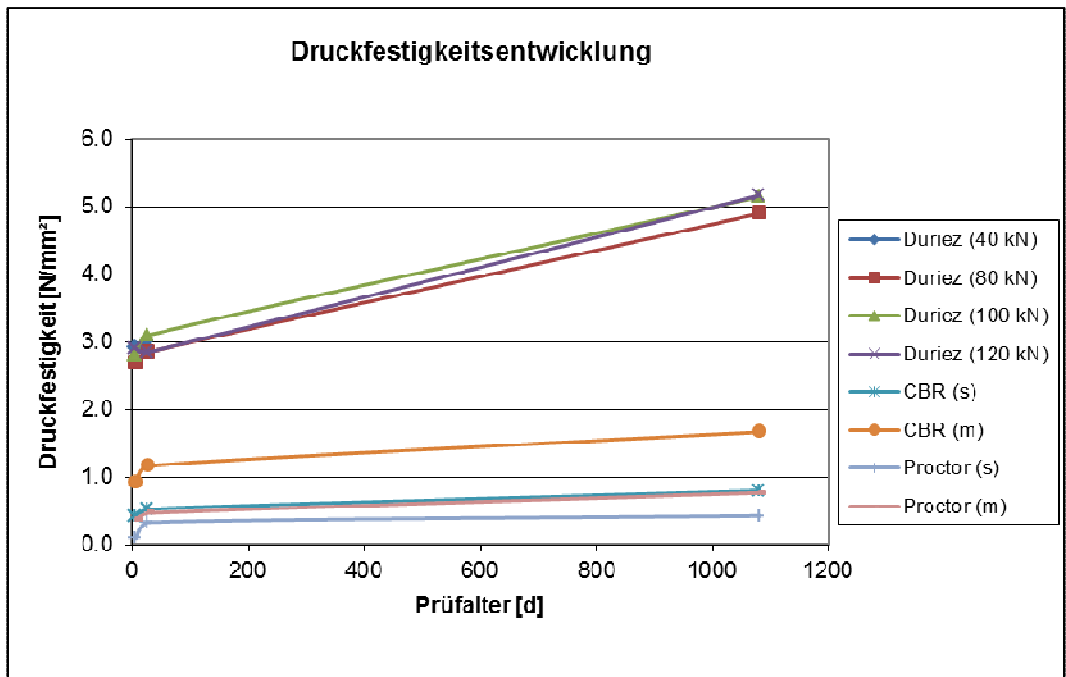


Abbildung 12: Druckfestigkeitsentwicklung in Abhängigkeit des Prüfkörperalters (7 Tage, 28 Tage, 1080 Tage). (Anhang III)

### 7.2.3 Wassereinwirkung

Wassereinwirkung auf das Gefüge bewirkt eine Abnahme der Festigkeit. Dies zeigt sich sowohl beim Vergleich der Druckfestigkeiten an Prüfkörpern mit 7 Tagen Luftlagerung zu Prüfkörpern mit 7 Tagen Luftlagerung und anschliessend 7 Tagen Wasserlagerung in Ab-

bildung 13 als auch bei der Ermittlung der Wasserempfindlichkeit über das Verhältnis der Spaltzugfestigkeit in Abbildung 14 (ITSR [24]).

Die Wasserempfindlichkeit nimmt mit abnehmender Raumdichte zu. Bedingt durch einen höheren Hohlraumgehalt und der damit verbundenen grösseren Einwirkungsfläche zeigt das Wasser bei den weniger stark verdichteten Prüfkörpern eine deutlich grössere Wirkung.

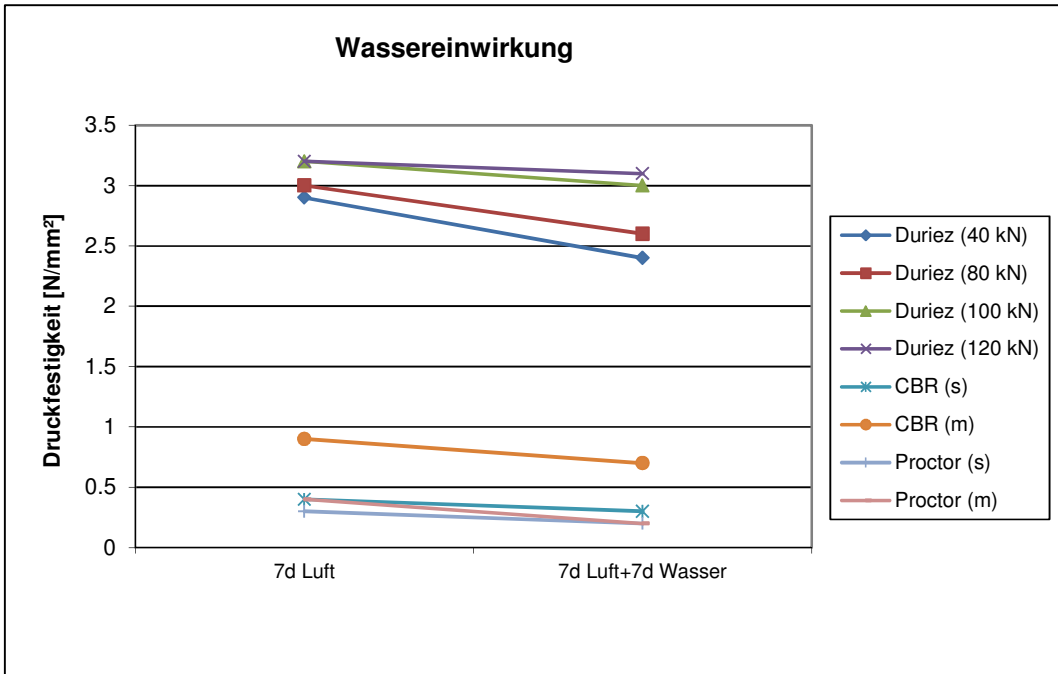


Abbildung 13: Einfluss der Wassereinwirkung auf die Druckfestigkeit.

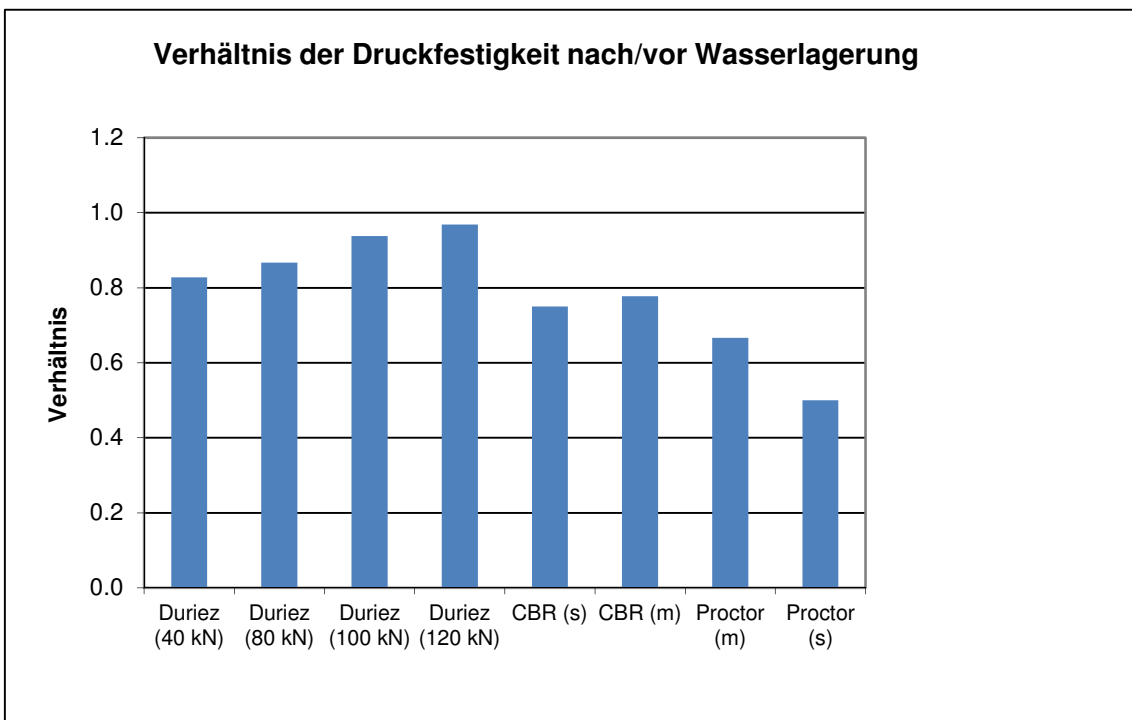


Abbildung 14: Verhältnis der Druckfestigkeit nach/vor der Wasserlagerung (7 Tage Luft / 7 Tage Luft und 7 Tage Wasser). (Anhang IV)

Auch bei der Ermittlung der Wasserempfindlichkeit nach ITSR (Verhältnis der indirekten Zugfestigkeit mit und ohne Wassereinwirkung SN 670 412 / EN 12697-12 [24]) zeigt sich in Abbildung 15 ein ähnliches Bild: die Marshall-Prüfkörper mit kleinerer Verdichtung zeigen eine höhere Wasserempfindlichkeit. Dabei spielt die Dauer der Luftlagerung (7 Tage, 28 Tage, 1080 Tage) vor der Versuchsdurchführung keine massgebende Rolle. Die Verhältniszahl Festigkeit Wasserlagerung / Festigkeit Luftlagerung nimmt unabhängig der vorausgegangenen Lagerdauer der Prüfkörper mit abnehmender Verdichtungsenergie ebenfalls ab.

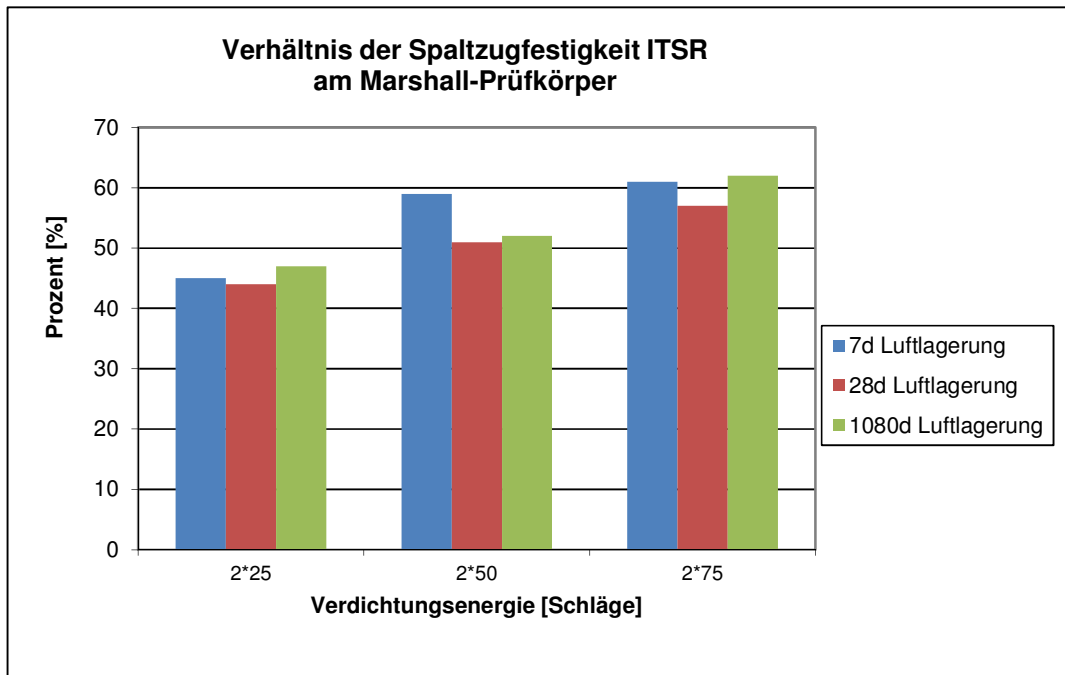


Abbildung 15: Wasserempfindlichkeit ITSR an Marshall-Prüfkörpern. (Anhang V)

#### 7.2.4 Prüftemperatur

Bitumenhaltige Baustoffe reagieren bedingt durch ihr thermoviskoses Verhalten stark temperaturabhängig. Unterschiedliche Prüftemperaturen wirken sich entsprechend auf die Festigkeitseigenschaften aus. Höhere Prüftemperaturen ergeben viskositätsbedingt tiefere Festigkeiten. Eine Temperaturabhängigkeit wurde sowohl bei den Druckfestigkeiten von Duriez-Prüfkörpern (15-25°C in Abbildung 16) wie auch bei der Spaltzugfestigkeit an Marshall-Prüfkörpern (5-25°C in Abbildung 17) festgestellt. Während bei den Marshall-Prüfkörpern unabhängig von der Raumdichte eine eindeutige Abhängigkeit der Spaltzugfestigkeit von der Prüftemperatur festgestellt wurde, erhöhte sich die Druckfestigkeit der Duriez-Prüfkörper nicht nur bei tieferen Temperaturen sondern auch bei einer höheren Raumdichte.

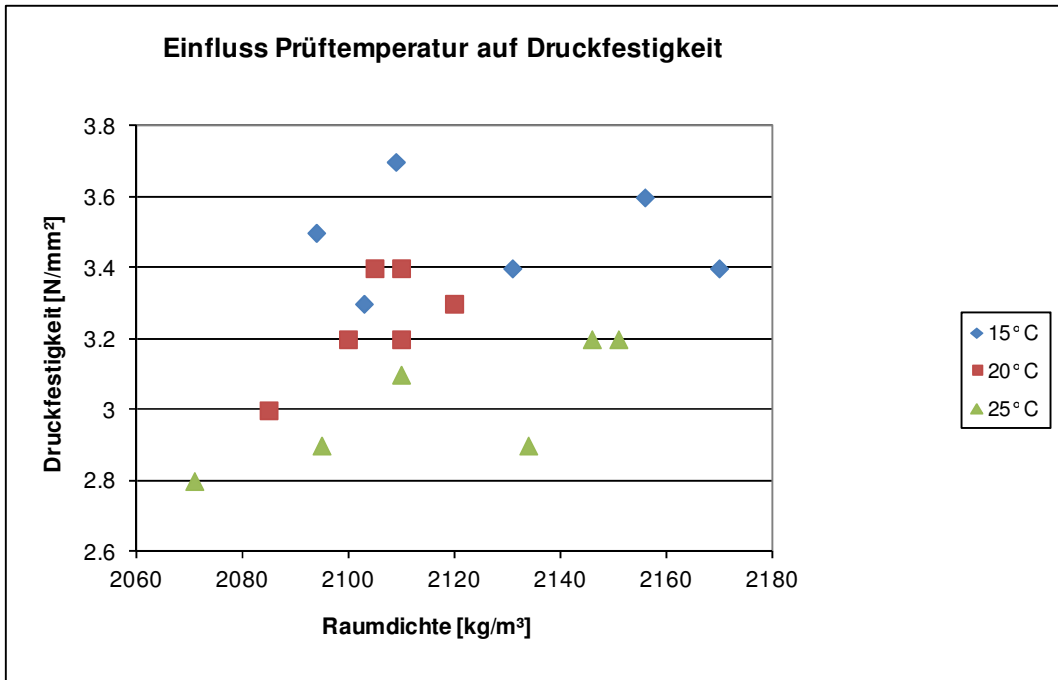


Abbildung 16: Einfluss der Prüftemperatur auf die 7-Tage Druckfestigkeit von Duriez-Prüfkörpern, 100kN. (Anhang VI)

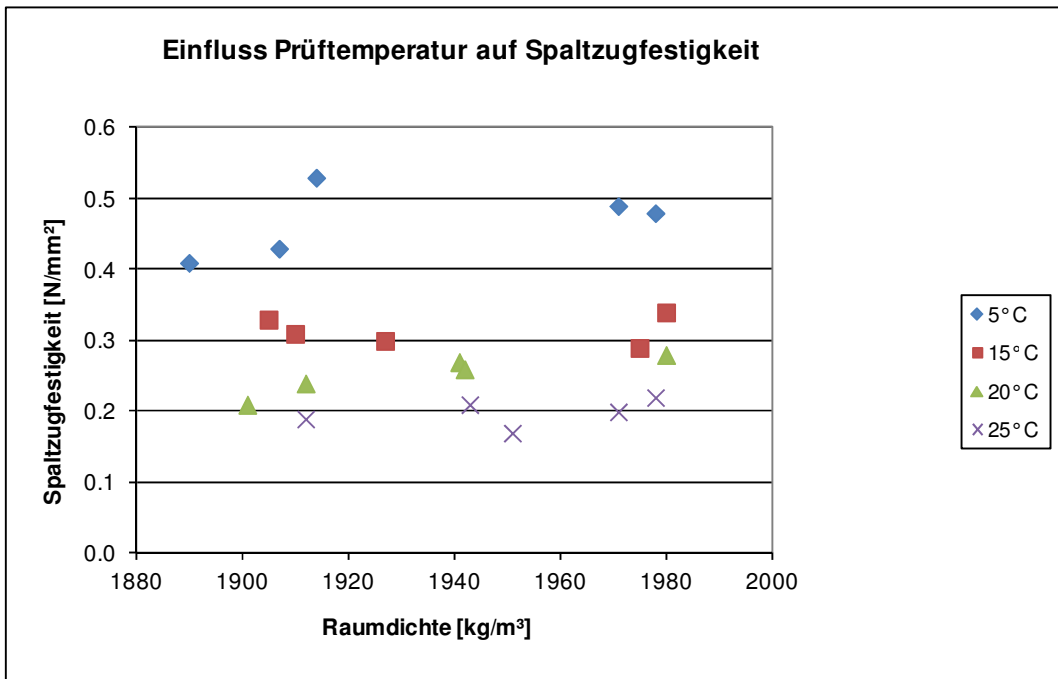


Abbildung 17: Einfluss der Prüftemperatur auf die 7-Tage Spaltzugfestigkeit an Marshall-Prüfkörpern. (Anhang VII)

## 7.2.5 Rezeptur

### 7.2.5.1 Einfluss Brechsand

Bei Asphaltgranulat als Ausgangsstoff fehlt der Feinanteil weitgehend. Diese Korngrößenverteilung wirkt sich im verdichteten Zustand in einem hohen Hohlraumgehalt aus. Mit der Zugabe von 10 M-% Brechsand kann das Manko an Feinanteilen ausgeglichen werden. Der Einfluss von Brechsand auf die Druckfestigkeit wird in Abbildung 18 dargestellt.

Die Raumdichte nimmt durch die Sandzugabe ab. Ein offensichtlicher Einfluss des Brechsandes auf die Festigkeitseigenschaften konnte nicht festgestellt werden. Trotz der tieferen Raumdichte bleibt die Festigkeit auf demselben Niveau.

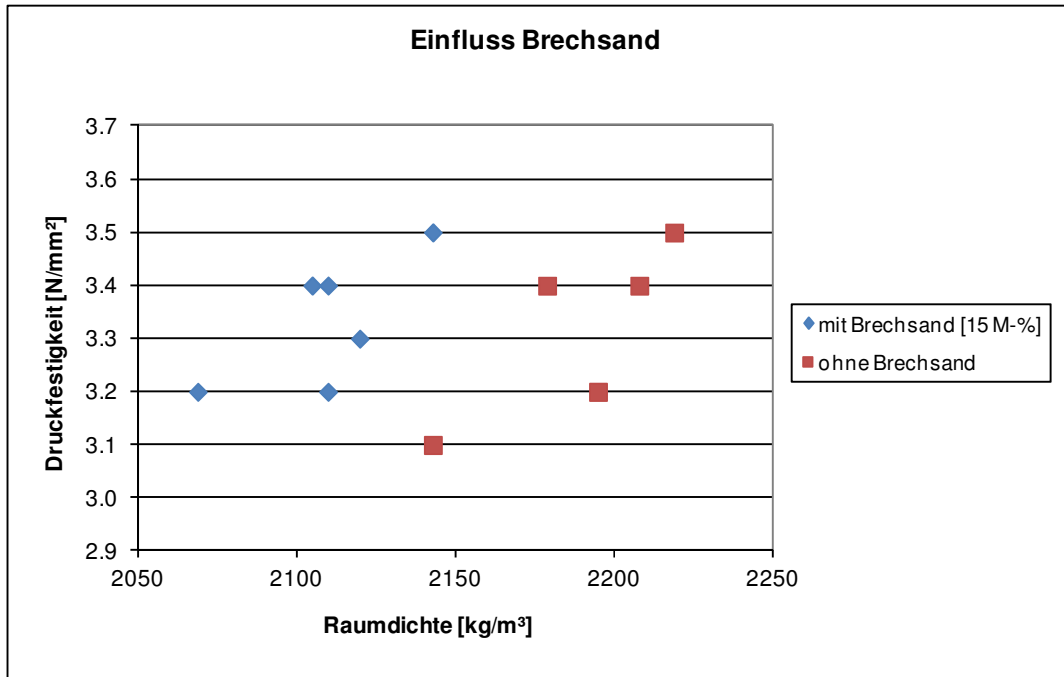


Abbildung 18: Einfluss von Brechsand auf Raumdichte und 7-Tage Festigkeit von Duriez-Prüfkörpern. (Anhang VIII)

### 7.2.5.2 Einfluss Bindemittel

Aus reinem Asphaltgranulat ohne Bindemittelzugabe wurden mittels Duriez-Verdichtung Prüfkörper hergestellt (Verdichtungskraft 100 kN). Diese Prüfkörper zeigten nach 7 Tagen Luftlagerung erstaunlich hohe Festigkeiten, welche im direkten Vergleich mit einer KMF-Mischung nur um ca. 20 % tiefer liegen (siehe Abbildung 19). Hingegen zeigt der direkte Vergleich nach 7 Tagen Luft- und 7 Tagen Wasserlagerung, wie in Abbildung 20 ersichtlich, einen deutlichen Unterschied. Die Prüfkörper aus reinem Asphaltgranulat weisen gegenüber den KMF-Prüfkörpern einen Festigkeitsverlust von über 50 % auf. Die Bindemittel (3.5 M-% Schaumbitumen und 1.0 M-% hydraulisches Bindemittel) bewirken eine klare Reduktion der Wasserempfindlichkeit. Die Normanforderung an das Verhältnis der Druckfestigkeit nach/vor Wasserlagerung von mind. 0.55 wird bei reinem Asphaltgranulat ohne Bindemittel nicht erreicht.

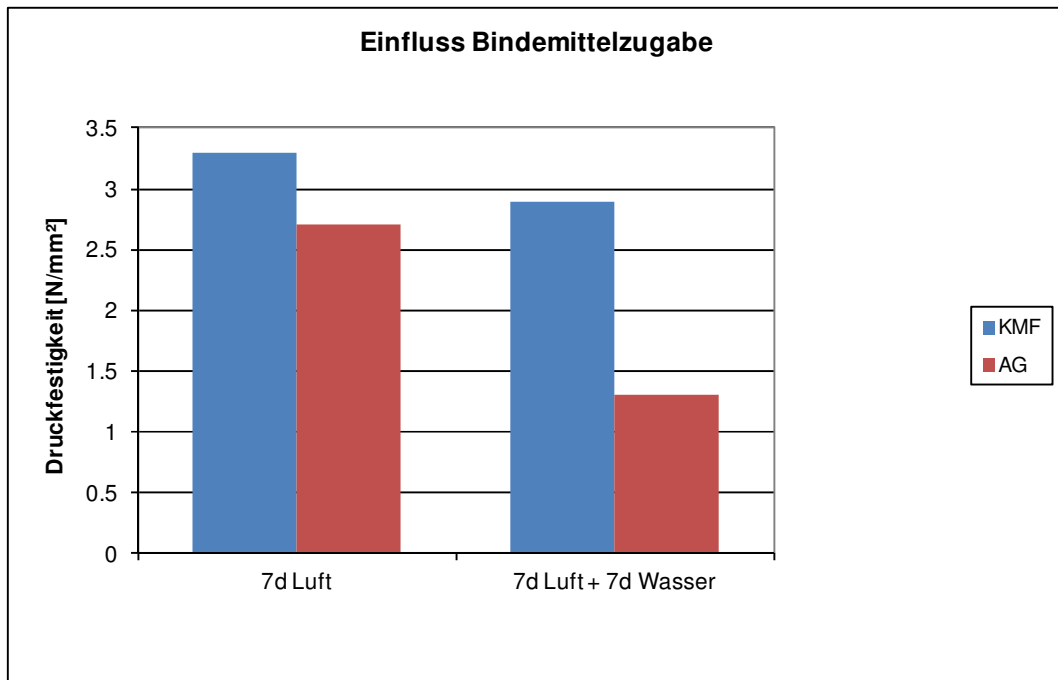


Abbildung 19: Einfluss des Bindemittels auf Festigkeit nach 7 Tage Luftlagerung sowie 7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung (Duriez-Prüfkörper, Verdichtungskraft 100 kN). (Anhang IX)

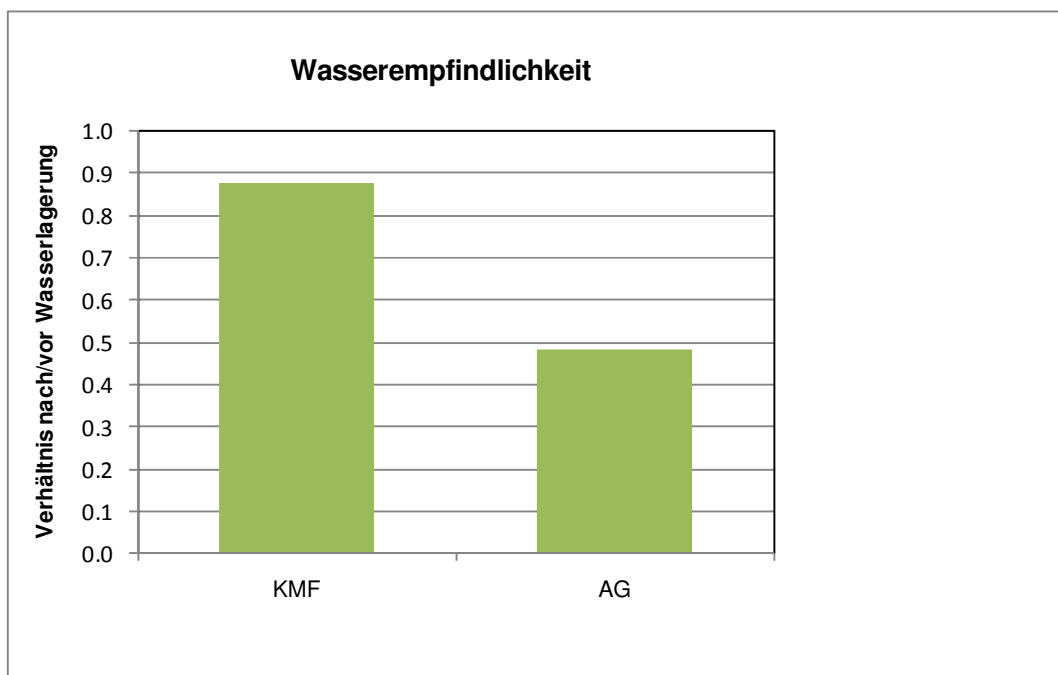


Abbildung 20: Verhältnis nach/vor Wasserlagerung. (Anhang IX)

## 7.3 Emulsion für KMF: Einfluss diverser Parameter auf die Festigkeit

### 7.3.1 Raumdichte, resp. Prüfkörperherstellung

Der Einfluss der Prüfkörperherstellung, resp. der Verdichtungsenergie auf die Festigkeit wurde anhand von Duriez-Prüfkörpern mit unterschiedlicher Verdichtungskraft von 40 kN, 80 kN und 100 kN ermittelt. Als Festigkeitsparameter dient die indirekte Zugfestigkeit (Spaltzugfestigkeit) bei 20 C° nach 7 Tagen Luftlagerung. Prüfkörper mit höherer Raum-

dichte aufgrund höherer Verdichtungskraft ergeben, wie in Abbildung 21 dargestellt, höhere Festigkeiten.

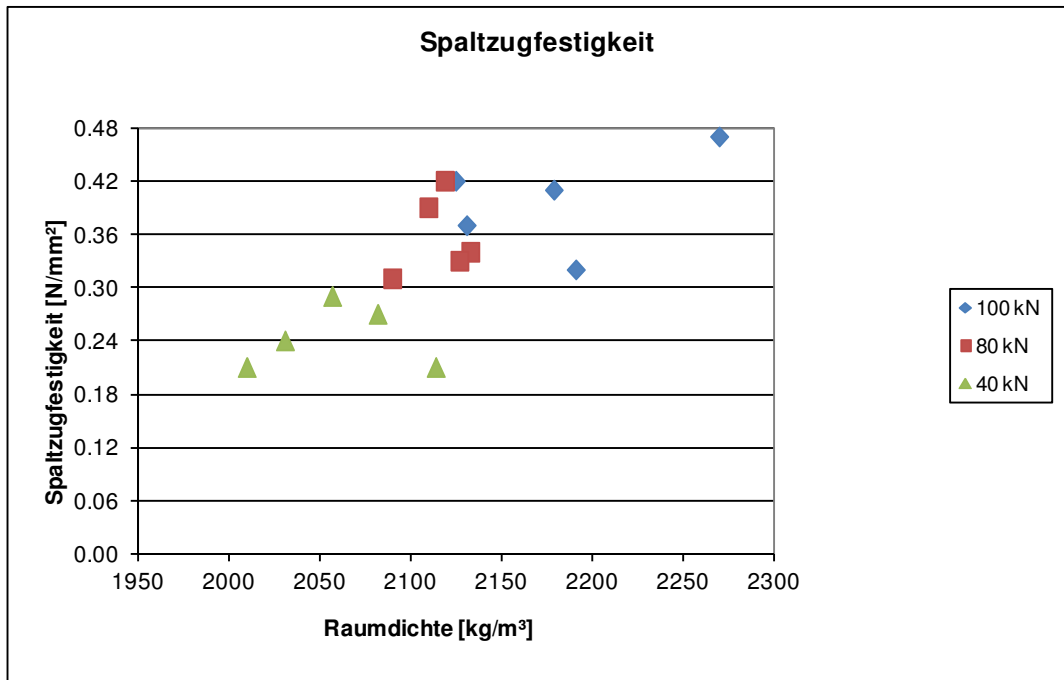


Abbildung 21: Einfluss der Raumdichte auf die Spaltzugfestigkeit. (Anhang X)

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Gegenüberstellung der Druckfestigkeit von Duriez-Prüfkörpern mit Verdichtungskräften von 40 kN, 80 kN und 100 kN. Höhere Raumdichten resultieren in höheren Druckfestigkeiten (siehe Abbildung 22).

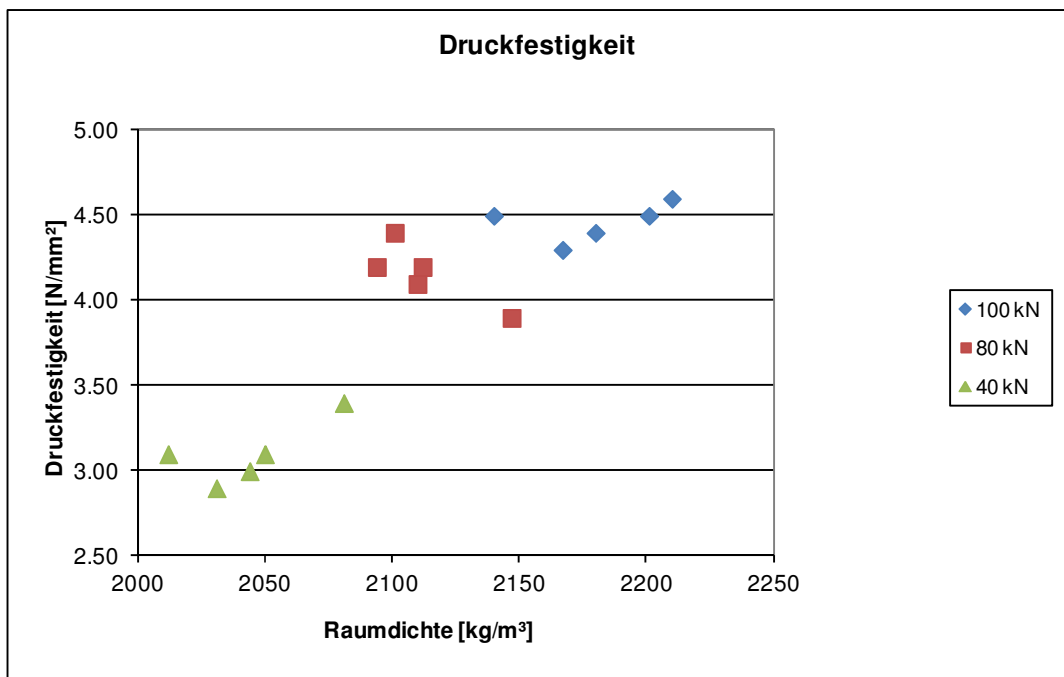


Abbildung 22: Einfluss der Raumdichte auf die 7-Tage-Druckfestigkeit. (Anhang XI)

Der Zusammenhang zwischen Raumdichte und Festigkeit wird auch bei den emulsionsgebundenen Mischungen bestätigt; je höher die Raumdichte desto höher die Festigkeit. Die Festigkeitszunahme zwischen den Prüfkörpern mit 40 und 80 kN Verdichtungskraft ist höher als zwischen den Prüfkörpern mit 80 und 100 kN.



### 7.3.2 Prüfkörperalter

Die Festigkeitszunahme zwischen 7 und 28 Tagen Luftlagerung wurde durch Zylinderdruckfestigkeiten an Duriez-Prüfkörpern bestimmt, welche mit 40, 80 und 100 kN Verdichtungskraft hergestellt wurden. Unabhängig von der Verdichtungskraft und der daraus resultierenden Raumdichte, wird eine mittlere Zunahme der Festigkeit von 7 bis 28 Tagen von ca. 10 % registriert (siehe Abbildung 23). Die prozentuale Zunahme zwischen den unterschiedlich verdichteten Prüfkörper ist in etwa gleich.

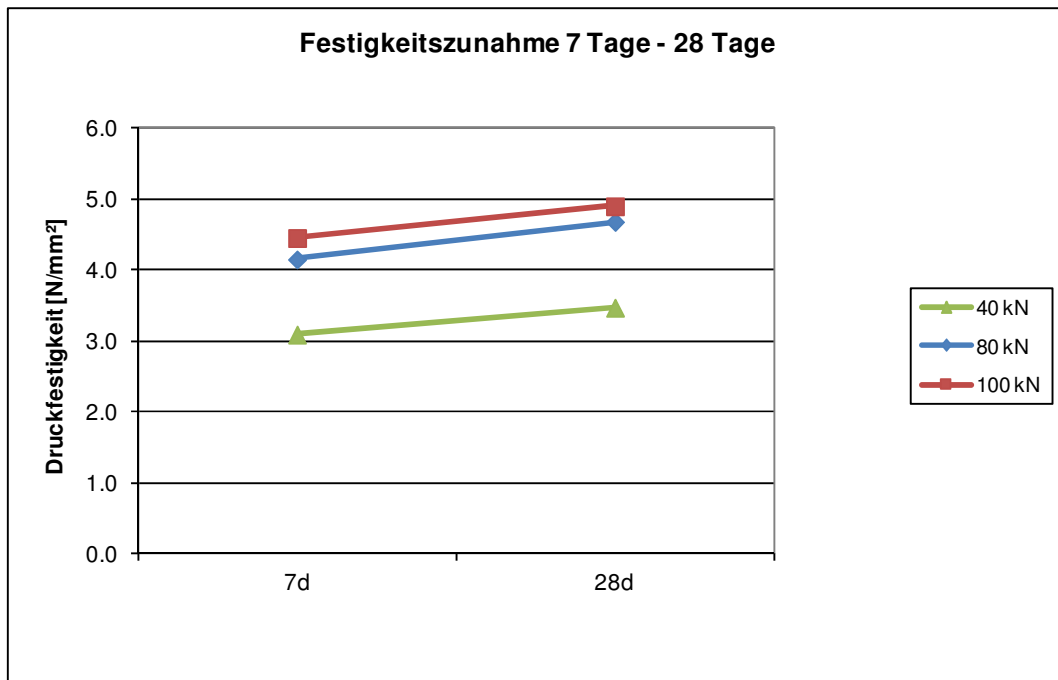


Abbildung 23: Festigkeitsentwicklung als Funktion des Prüfkörperalters. (Anhang XI)

### 7.3.3 Wassereinwirkung

Der Vergleich zwischen Duriez-Prüfkörpern mit 7 Tagen Luftlagerung zu Duriez-Prüfkörpern mit 7 Tagen Luftlagerung und anschliessend 7 Tagen Wasserlagerung fällt wie in Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellt je nach Verdichtungskraft unterschiedlich aus; je höher die Verdichtung und die entsprechenden Raumdichten, desto geringer die Wasserempfindlichkeit.

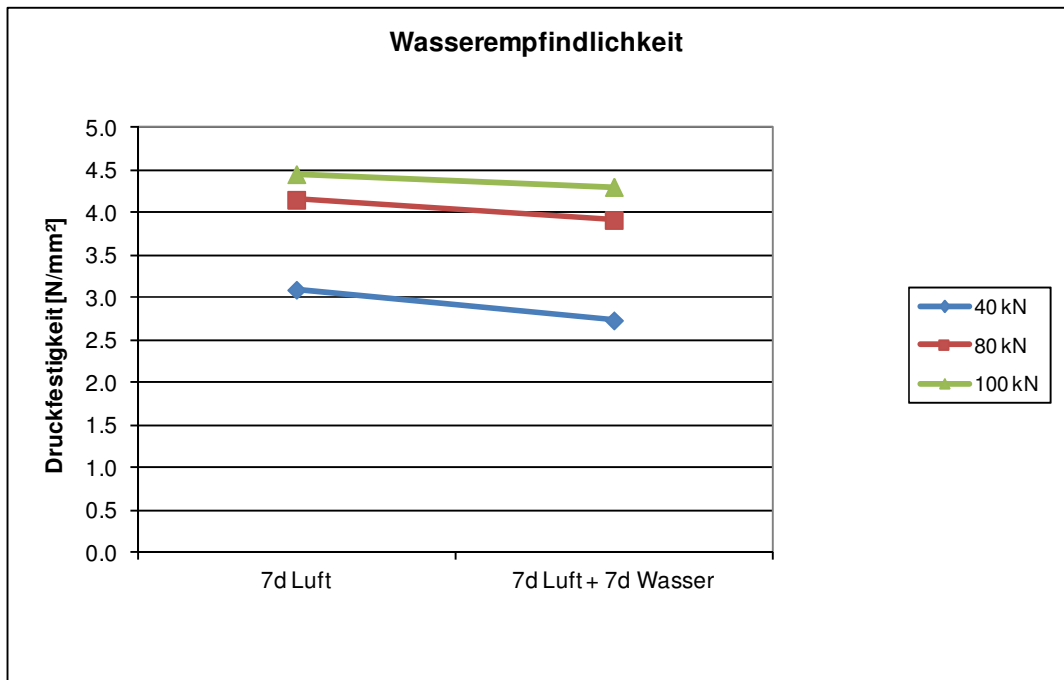


Abbildung 24: Wasserempfindlichkeit an Duriez-Prüfkörpern. (Anhang XI)

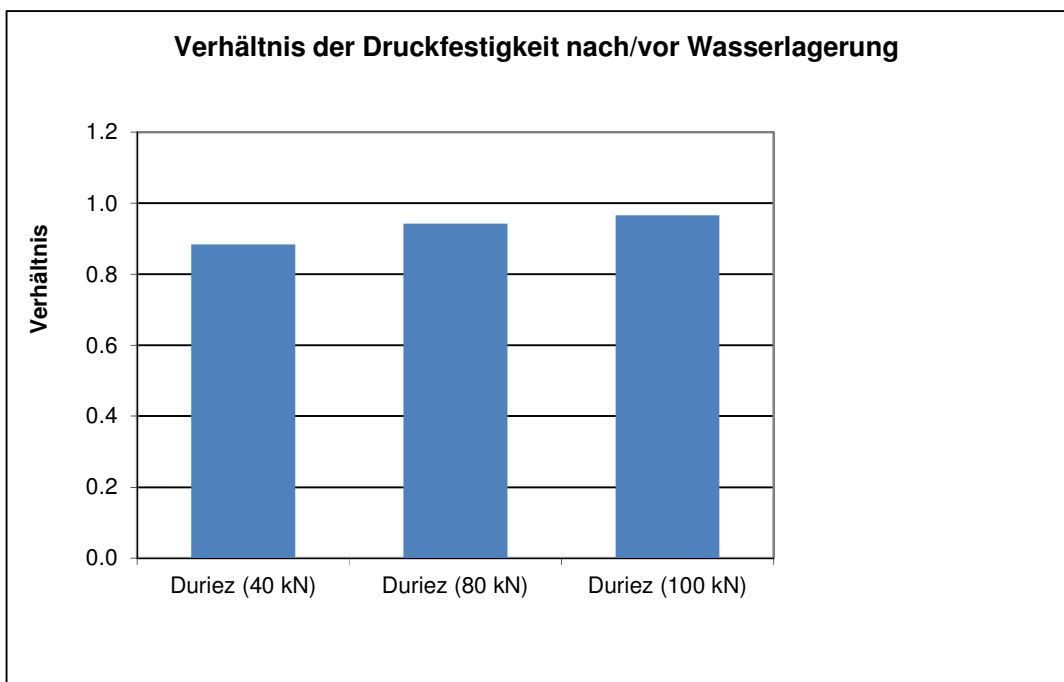


Abbildung 25: Verhältnis der Druckfestigkeit nach/vor der Wasserlagerung (7 Tage Luft / 7 Tage Luft und 7 Tage Wasser). (Anhang XI)

### 7.3.4 Prüftemperatur

Die Spaltzugfestigkeit von Duriez-Prüfkörpern mit Verdichtungskräften von 40 bis 100 kN wurde bei 5°C und 20°C ermittelt. Der Einfluss der Prüftemperatur auf die Spaltzugfestigkeit ist gross (siehe Abbildung 26). Die Festigkeit bei der Prüftemperatur von 5°C liegt unabhängig der Verdichtungskraft ca. 3-mal so hoch wie bei 20°C. Die Selektivität der Ergebnisse ist bei tieferen Prüftemperaturen, resp. höheren Festigkeiten, deutlich besser.

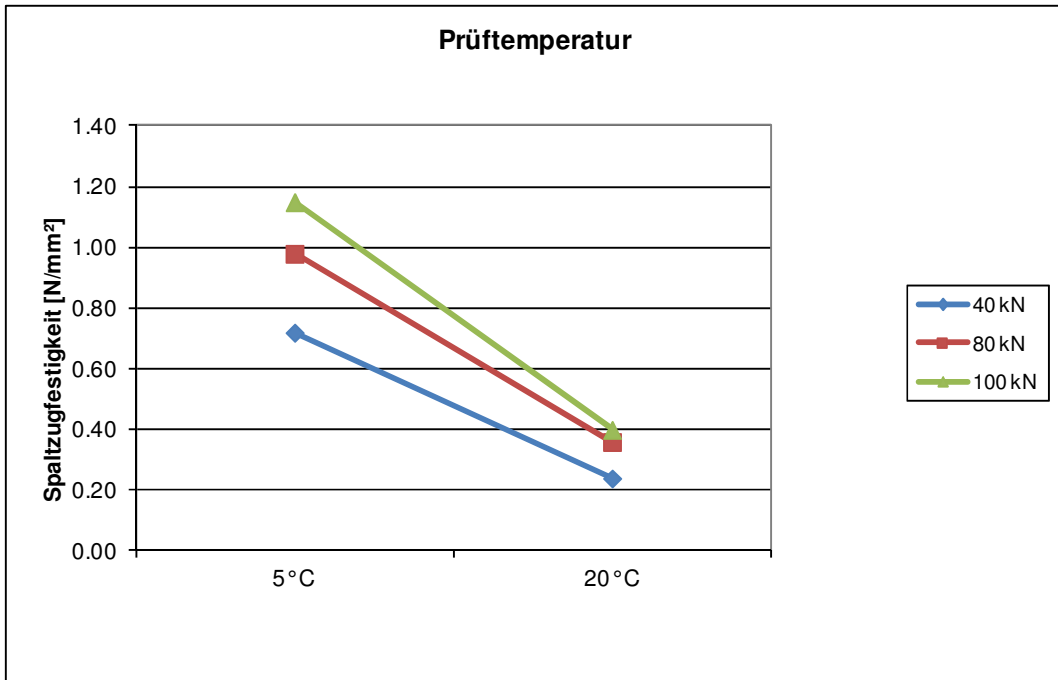


Abbildung 26: Einfluss der Prüftemperatur auf die Spaltzugfestigkeit. (Anhang XII)

### 7.3.5 Rezeptur

#### 7.3.5.1 Einfluss hydraulisches Bindemittel

Verglichen wird die Festigkeit einer Mischung mit 2 M-% CEM II Zement (Rezeptur A, Details siehe 5.2.3) mit einer Mischung ohne Zement (Rezept B, Details siehe 5.2.3). Als Festigkeitsparameter dient die Druckfestigkeit an Duriez-Prüfkörpern, welche mit unterschiedlicher Verdichtungskraft hergestellt wurden. Die Resultate sind in Abbildung 27 dargestellt. Die Zugabe von 1 M-% Zement bewirkt unabhängig der Verdichtungskraft eine Festigkeitserhöhung um ca. 30 %, respektive bis zu 1 N/mm<sup>2</sup>.

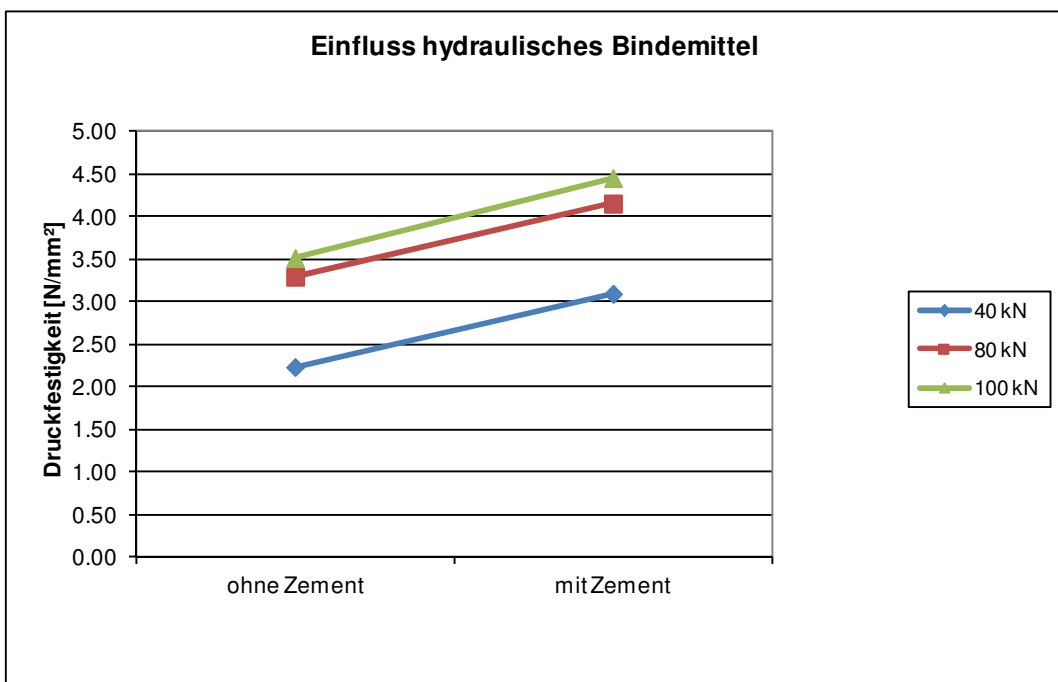


Abbildung 27: Einfluss des hydraulischen Bindemittels auf die Druckfestigkeit von Duriez-Prüfkörpern (Verdichtungskraft 100 kN). (Anhang XIII)

### 7.3.5.2 Einfluss Brechsand und Dosierung Emulsion

Zur Ermittlung des Einflusses des Emulsionsgehaltes wurden drei Mischungen mit Emulsionsanteilen von 2.5-4.5 M-% hergestellt und geprüft (Mischungen 1-3). Weiter wurde der Zementgehalt (Mischung 4) sowie der Gehalt an Brechsand (Mischung 5) variiert. Die detaillierten Rezepturen sind in Abschnitt 5.2.3 aufgeführt.

Die ermittelten Festigkeiten der mit 100 kN verdichteten Duriez-Prüfkörpern nach 7 Tagen Luftlagerung resp. nach 7 Tagen Luftlagerung gefolgt von 7 Tagen Wasserlagerung sind in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellt. Aus dem Vergleich der ersten drei Mischungen resultiert die Aussage, dass eine Zunahme des Emulsionsanteils mit einer Reduktion der Druckfestigkeit einhergeht, während die Wasserempfindlichkeit abnimmt. Aus dem Vergleich der Mischung 2 mit der Mischung 4 geht hervor, dass schon eine relativ geringe Erhöhung des hydraulischen Bindemittels um 0.5 M-% eine Festigkeitszunahme bewirkt. Aus dem Vergleich der Mischung 2 mit der Mischung 5 geht hervor, dass eine Erhöhung des Brechsandanteils von 15 auf 20 M-% keinen grossen Einfluss auf die Festigkeit hat; hingegen wird die Wasserempfindlichkeit erhöht.

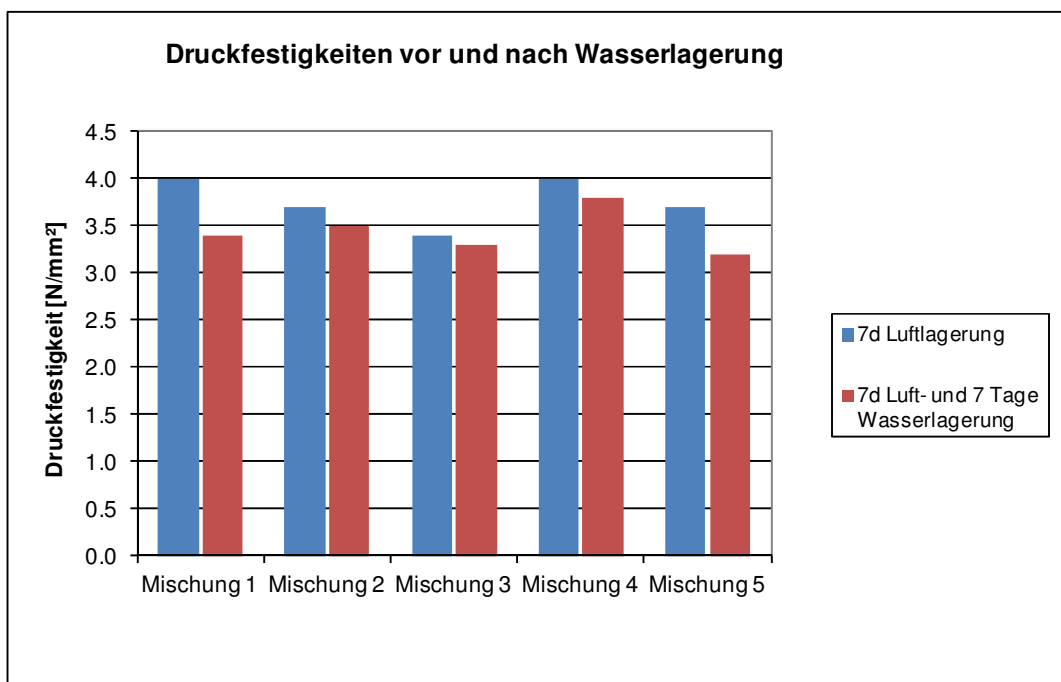


Abbildung 28: Einfluss der Rezeptur auf die Festigkeit. (Anhang XIV)

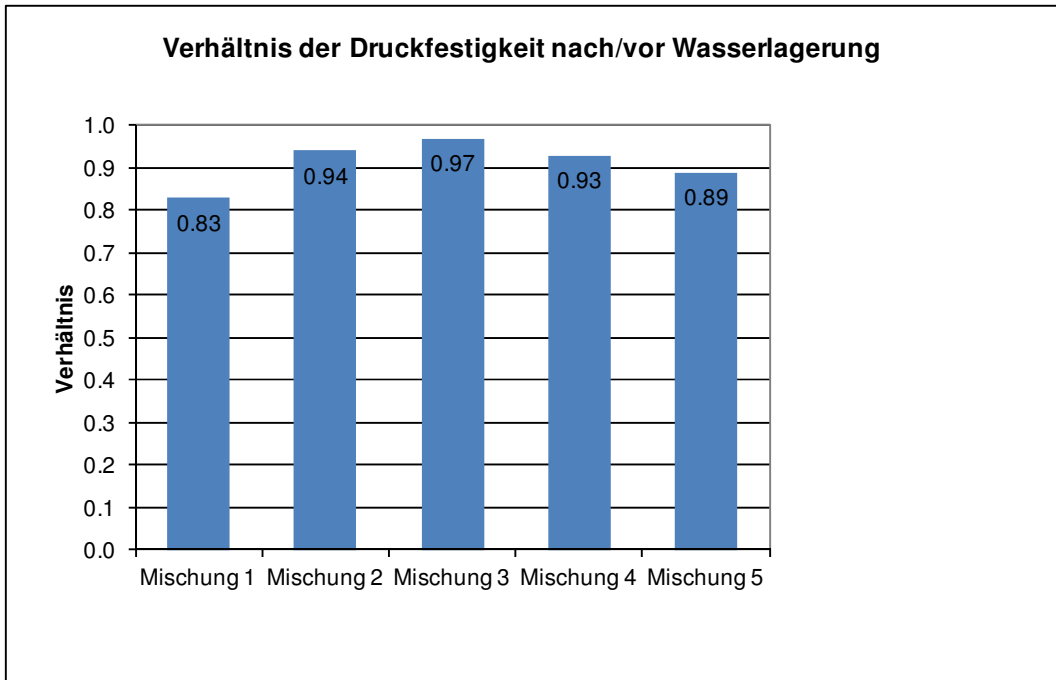


Abbildung 29: Einfluss der Rezeptur auf die Wasserempfindlichkeit. (Anhang XIV)

### 7.3.5.3 Einfluss Zuschlagstoff und Bindemitteldosierung

Zur Ermittlung des Einflusses der Zuschlagstoffe, wurden Mischungen unterschiedlicher Bindemitteldosierungen mit reinem Asphaltgranulat (AG) sowie mit je 50 % AG und Kies (KS) hergestellt (Anlagemischungen). Die Rezepte Nr. I-III enthalten als Zuschlagstoff nur AG, die Rezepte IV-VI enthalten je 50 % AG und KS (Details zu den Rezepturen siehe Abschnitt 5.2.3).

Die erreichten Festigkeiten der Duriez-Prüfkörper (alle mit 100 kN Verdichtungskraft hergestellt) nach 7 Tagen Luftlagerung, nach 7 Tagen Luftlagerung mit 7 Tagen Wasserlagerung und nach 28 Tagen Luftlagerung sind in Abbildung 30 dargestellt.

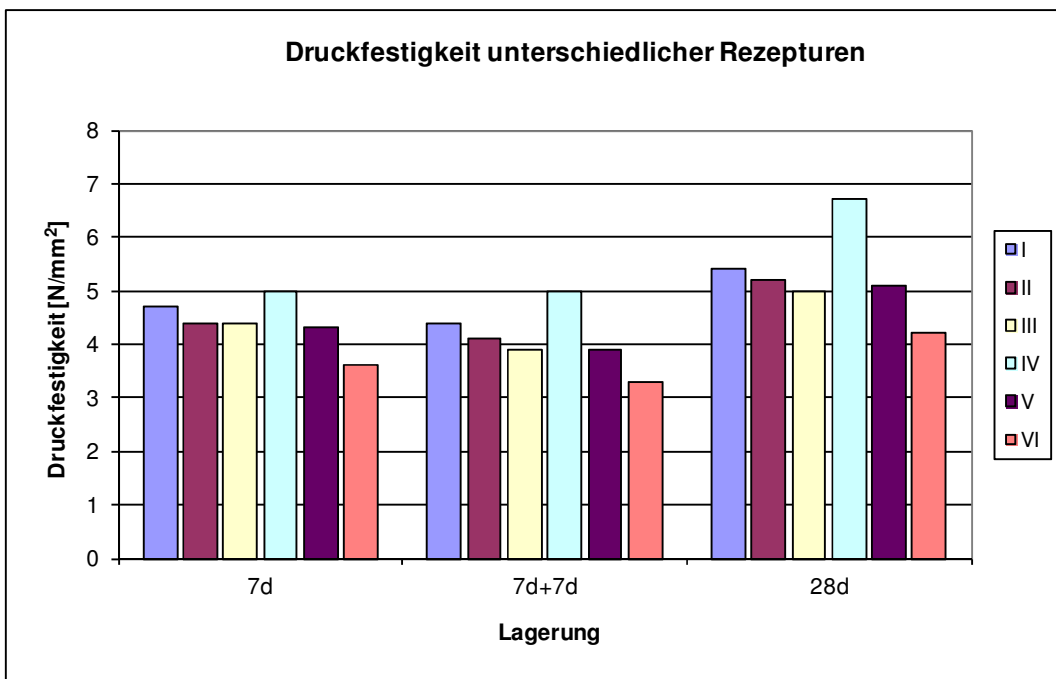


Abbildung 30: Einfluss der Rezeptur auf die Druckfestigkeit (Anlagemischungen); Mischungen I-III nur AG, Mischungen IV-VI je 50 % AG und KS. (Anhang XV)

Aus dem direkten Vergleich der sechs Mischungen resultieren folgende Erkenntnisse:

- Die Unterschiede zwischen den drei ersten Mischungen (I bis III) mit der Verwendung von Asphaltgranulat als Zuschlagstoff fallen relativ gering aus. Die Erhöhung des hydraulischen Bindemittels bewirkt eine leichte Erhöhung der Festigkeit, während eine Erhöhung des Emulsionsgehaltes eine leichte Reduktion der Wasserempfindlichkeit bewirkt.
- Wird die Hälfte des Asphaltgranulates durch ein Kiesgemisch (gebrochen) ersetzt, werden die Unterschiede in der Festigkeit deutlich grösser (Mischungen IV bis VI). Der höchste Zementgehalt kombiniert mit dem höchsten Gehalt an Emulsion ergibt die höchste Festigkeit und die geringste Wasserempfindlichkeit. Wird der Bindemittelgehalt sowohl vom Zement als auch von der Emulsion reduziert, resultiert eine deutliche Reduktion der Festigkeit.

Grundsätzlich zeigt sich bei den Mischungen mit einem Anteil an natürlichen Kiessand ein höherer Bindemittelbedarf (insbesondere an Emulsion) als bei den Mischungen mit reinem Asphaltgranulat als Zuschlagstoff. Die Mischungen mit reinem Asphaltgranulat reagieren weniger empfindlich auf Änderungen der Zement- und/oder Emulsionsgehalte.

## 7.4 Vergleich Kaltmischfundationsschicht – Heissmischfundationsschicht

Verglichen wurde schaumbitumengebundenes Kaltmischgut mit Heissmischgut AC F 22 für Fundationsschichten. Der Vergleich umfasst die Parameter Festigkeit, Wasserempfindlichkeit und Verformungsbeständigkeit. Der Vergleich gestaltet sich insofern nicht ganz einfach, da sich die ideale Prüfkörperart je nach Heiss- oder Kaltmischung unterscheidet. Während bei den Heissmischungen die Marshallprüfkörper mit Schlagverdichtung in den meisten Prüfungen als Referenzprüfkörper dienen, werden bei den Kaltmischungen üblicherweise statisch verdichtete Duriez-Prüfkörper verwendet.

### 7.4.1 Festigkeit

Für den Festigkeitsvergleich wurden AC F und KMF Marshallprüfkörper hergestellt. Die Verdichtung erfolgte mit 2 mal 50 Schlägen. Da an Asphaltprüfkörpern (Heissmischgut) üblicherweise keine Druckfestigkeit geprüft wird, wurde der Vergleich mit Spaltzugfestigkeiten an Marshall-Prüfkörpern bei 20°C an 7 Tage alten Prüfkörpern durchgeführt. Da die Marshall-Prüfkörperherstellung, wie schon festgestellt wurde, zu tiefen Raumgewichten führt und das Raumgewicht einen massgebenden Einfluss auf die Spaltzugfestigkeit hat, wurde zusätzlich die Spaltzugfestigkeiten an Duriez-Prüfkörpern mit 100 kN Verdichtungskraft in den Vergleich mit einbezogen. Der direkte Vergleich zwischen den Marshallkörpern zeigt einen deutlichen Unterscheid in der Festigkeit. Das AC F erreichte eine ca. 4-mal so hohe Festigkeit wie die KMF. Werden die Marshallkörper vom AC F mit den Duriez-Prüfkörpern vom KMF mit einer ähnlicheren Raumdichte verglichen, ist die Festigkeit vom AC F immer noch etwa 3-mal so hoch wie die des KMF. Die Resultate sind in Abbildung 31 graphisch dargestellt.

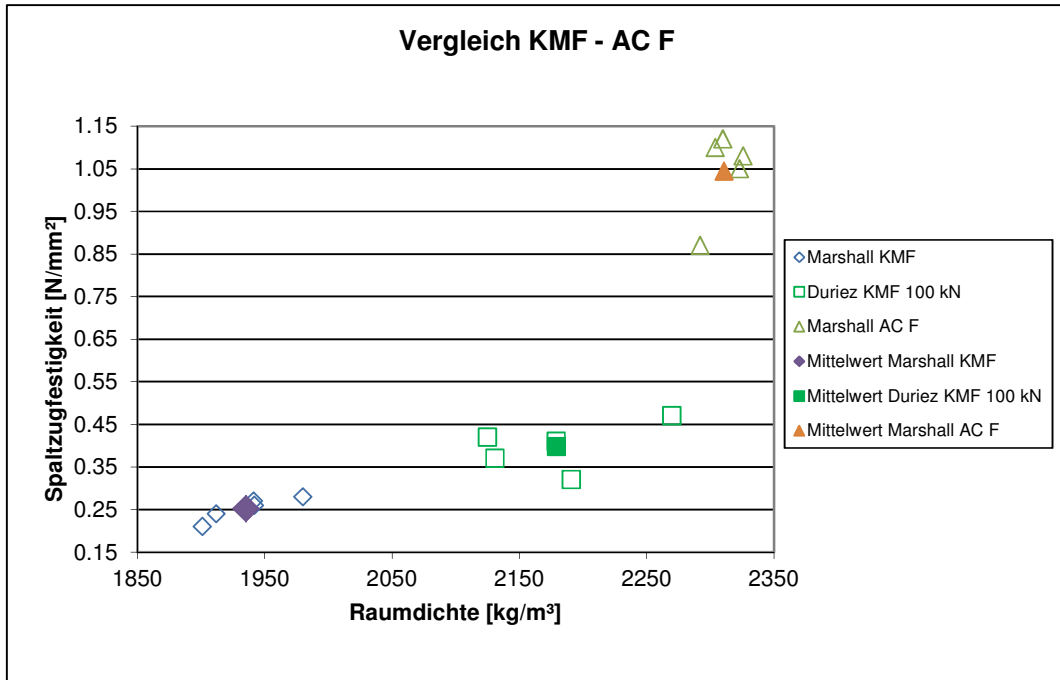


Abbildung 31: Vergleich Spaltzugfestigkeit KMF Marshall / KMF Duriez / AC F Marshall. (Anhang XVI)

### 7.4.2 Wasserempfindlichkeit

Die Ermittlung der Wasserempfindlichkeit erfolgte über das Verhältnis der Spaltzugfestigkeit (ITSR, SN 670 412 / EN 12697-12 [24]), analog dem Versuch an Heissmischgut. Der direkte Vergleich (siehe Abbildung 32) zeigt, dass die Wasserempfindlichkeit der Marshallprüfkörper mit Kaltmischgut deutlich höher ist. Da auch in diesem Fall die Raumdicke der Marshallprüfkörper mit Kaltmischgut eine tiefe Raumdicke aufwiesen, wurden als Vergleich erneut statisch verdichtete Duriez-Prüfkörper (Verdichtungskraft 100 kN) mit mitgeprüft. Der Vergleich mit dem Heissmischgut zeigt ebenfalls eine grössere Wasserempfindlichkeit des KMF, die Differenzen fallen jedoch geringer aus als bei den Marshall-Prüfkörpern.

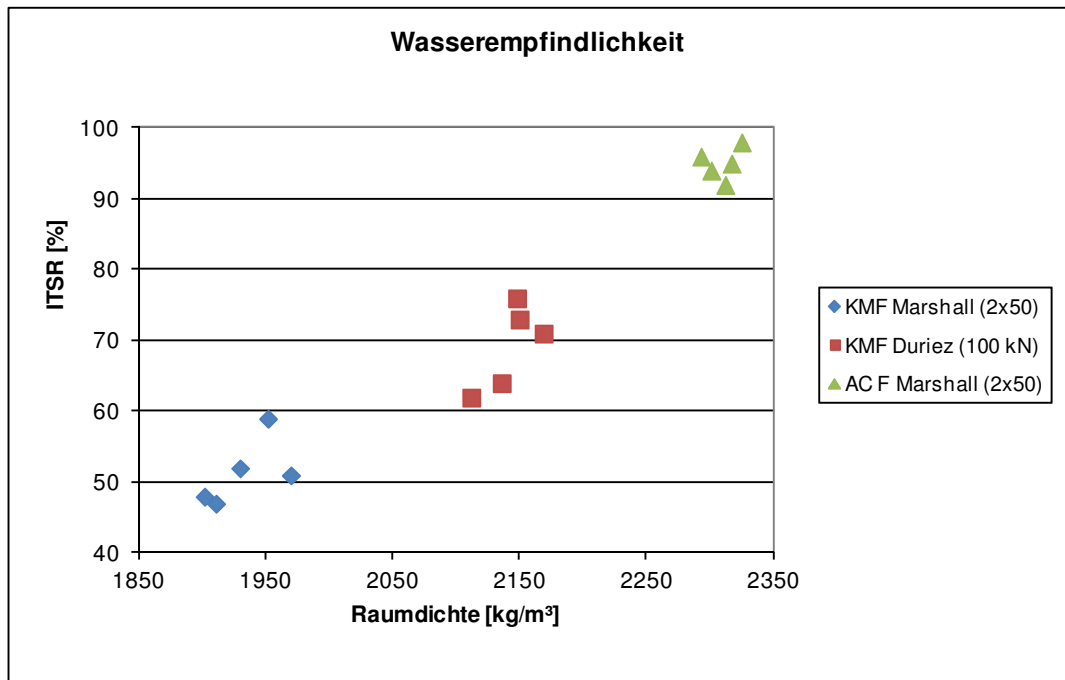


Abbildung 32: Vergleich Wasserempfindlichkeit KMF Marshall / KMF Duriez / AC F Marshall. (Anhang XVII)

### 7.4.3 Verformungsbeständigkeit

Der Vergleich der Verformungsbeständigkeit erfolgte über den Druckschwellversuch [25] wie er in Abbildung 33 dargestellt ist [4]. Geprüft wurden Marshall-Prüfkörper mit der für Asphalt normalen Verdichtung von 2 mal 50 Schlägen und einem Alter von 28 Tagen. In Abbildung 34 sind die Verformungskurven über 10'000 Zyklen dargestellt. Dabei zeigt sich eine deutlich schlechtere Verformungsbeständigkeit der Kaltmischungen gegenüber dem AC F. Bei den Kaltmischungen führt die zyklische Beanspruchung bei 50°C zur Zerstörung der Prüfkörper vor Versuchsende bei 10'000 Zyklen.



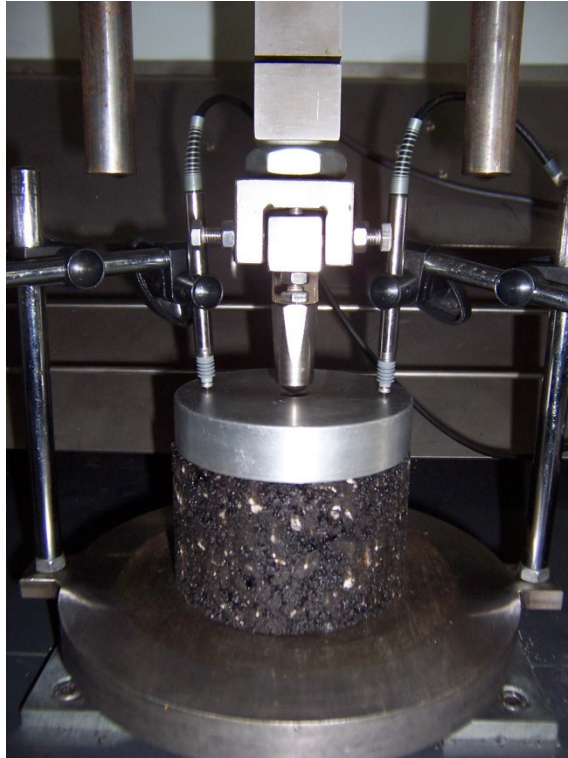


Abbildung 33: Druckschwellversuch an AC F, Marshall-Prüfkörpern.

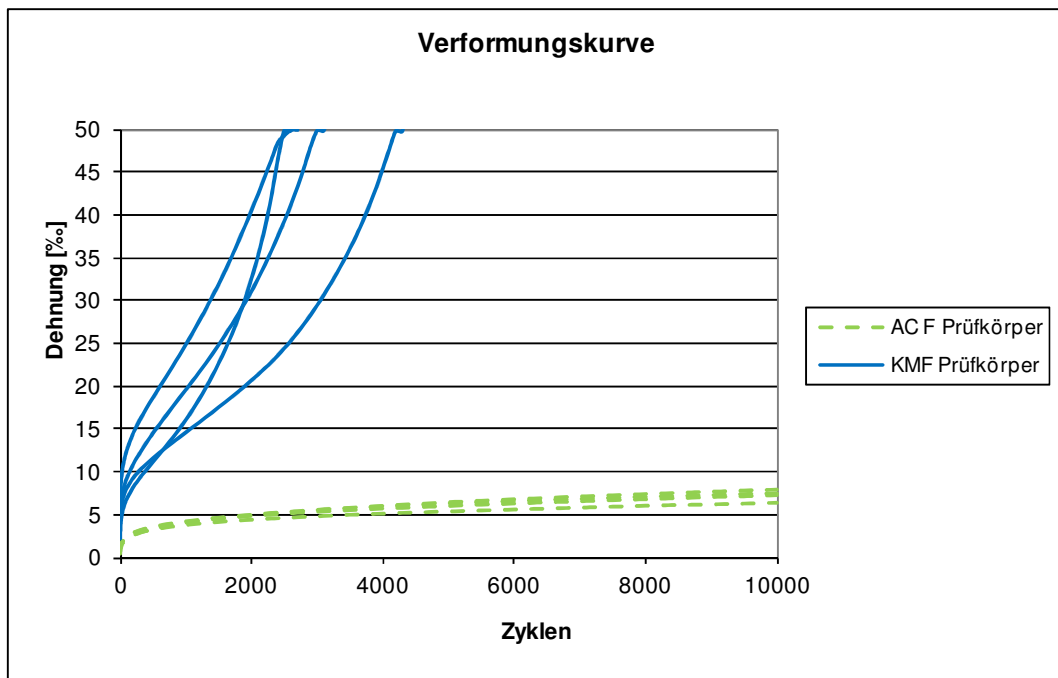


Abbildung 34: Vergleich der Verformungskurven zwischen AC F und KMF. (Anhang XVIII und Anhang XIX)

## 8 Praxisteil: Resultate und Beurteilung

### 8.1 Vergleich Labormodell mit Praxis

Sofern nicht anders erwähnt, wurde in diesem Kapitel KMF mit Schaumbitumen verwendet.

#### 8.1.1 Vergleich Raumdichte Laborprüfkörper – eingebaute Schicht

Die im Labor hergestellten Prüfkörper wurden mit den Bohrkernen aus der eingebauten Schicht verglichen. Dazu dienten 68 Bohrkern mit Durchmesser 150 mm, aufgeteilt auf 8 Baustellen. Verglichen wurden die Raumdichten der Bohrkern mit den Raumdichten der unterschiedlich hergestellten Prüfkörper:

- Marshall mit 2 x 50 Schlägen
- Marshall mit 2 x 75 Schlägen
- Duriez mit 80 kN Verdichtungskraft
- Duriez mit 100 kN Verdichtungskraft

Aufgrund der Häufigkeitsverteilung Abbildung 35 wird ersichtlich, dass die Raumdichten der schlagverdichteten Probekörper deutlich tiefer als die Raumdichten der Bohrkern und diejenigen der gemäss aktueller Norm statisch verdichteten Prüfkörper höher als die Raumdichten der Bohrkern sind. Dies bedeutet, dass sich die Verdichtung in der Praxis höher ist als bei den schlagverdichteten Laborprüfkörper und tiefer bei den statisch verdichteten Prüfkörpern. Im Verdichtungsgrad der eingebauten Schicht entspricht dies einem Verdichtungsgrad von über 100 % bei den Marshallprüfkörpern und von unter 100 % bei den statisch verdichteten Prüfkörpern. Als Modell kommen die Duriez-Prüfkörper mit einer auf 80 kN reduzierten Verdichtungskraft der Praxis am nächsten.

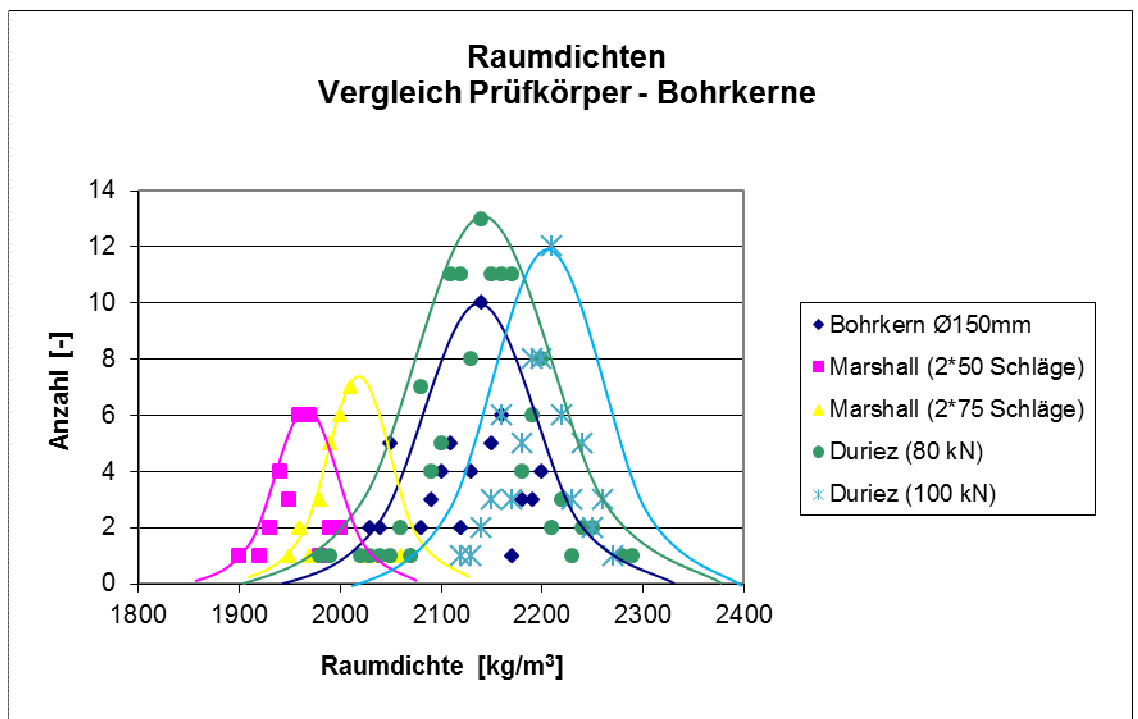


Abbildung 35: Vergleich Raumdichte an Bohrkernen und an Prüfkörpern.

### 8.1.2 Vergleich Verformungsbeständigkeit Laborprüfkörper – Bohrkern

Der Vergleich der Verformungsbeständigkeit erfolgte mit dem Druck-Schwell-Versuch. Die Resultate an Bohrkernen mit Durchmesser 150 mm wurden mit Gyratorprüfkörpern verglichen. Damit konnten Prüfkörper mit gleichen Abmessungen miteinander verglichen werden.

Grundsätzlich zeigt sich in Abbildung 36 bei den Bohrkernen ein ähnliches Bild wie bei den Laborprüfkörpern (vgl. Abschnitt 7.4.3): die Verformungskurven zeigen eine grosse Steigung im Wendepunkt und kollabieren vor Erreichung des Versuchsendes (siehe Abbildung 37). Auch bei den Bohrkernen kann die Verformungsbeständigkeit als „klein“ beurteilt werden. Auffallend ist die im Vergleich zu den Laborprüfkörpern grössere Streuung der Resultate bei den Bohrkernen.

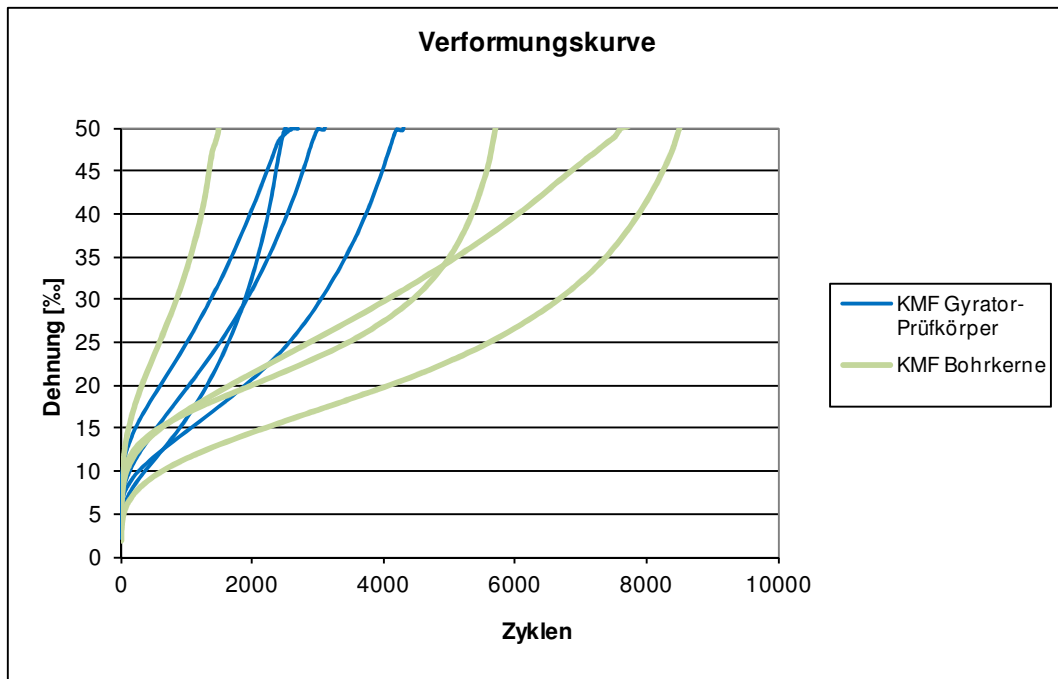


Abbildung 36: Vergleich der Verformungskurven zwischen KMF Gyratorprüfkörper und KMF Bohrkernen. (Anhang XX)



Abbildung 37: Kollaps eines Gyratorprüfkörpers, KMF.

## 8.2 Verdichtungskontrollen

### 8.2.1 Bohrkerne

Die Kontrolle der Verdichtung durch Ermittlung der Raum- und Rohdichten mit der Berechnung des Hohlraumgehaltes und des Verdichtungsgrades erfolgt bei Asphalttschichten normenkonform anhand von Bohrkernen aus der eingebauten Schicht. Dies lässt sich auch auf die eingebauten Schichten aus Kaltmischgut übertragen. Durch die tieferen Festigkeiten des Kaltmischgutes ist die Gewinnung der Bohrkerns jedoch anspruchsvoller als bei Heissmischgut. Eine Wartezeit von mindestens 7 Tagen, besser 28 Tagen, ab Einbaudatum verringert die Gefahr einer Zerstörung der Bohrkerns durch die mechanischen Beanspruchungen beim Bohrprozess. Auch bei Einhaltung dieser Zeiten kann insbesondere im unteren Bereich der Schicht nicht mit einer perfekten geometrischen Zylinderform gerechnet werden. Typischerweise haben die Bohrkerns eine Form wie in Abbildung 38 gezeigt wird.



Abbildung 38: Typischer Zustand von KMF-Bohrkern.

Aus der Häufigkeitsverteilung der Hohlraumgehalte geht hervor, dass sich die Werte hauptsächlich im Bereich von 7 bis 14 Vol-% bewegen.

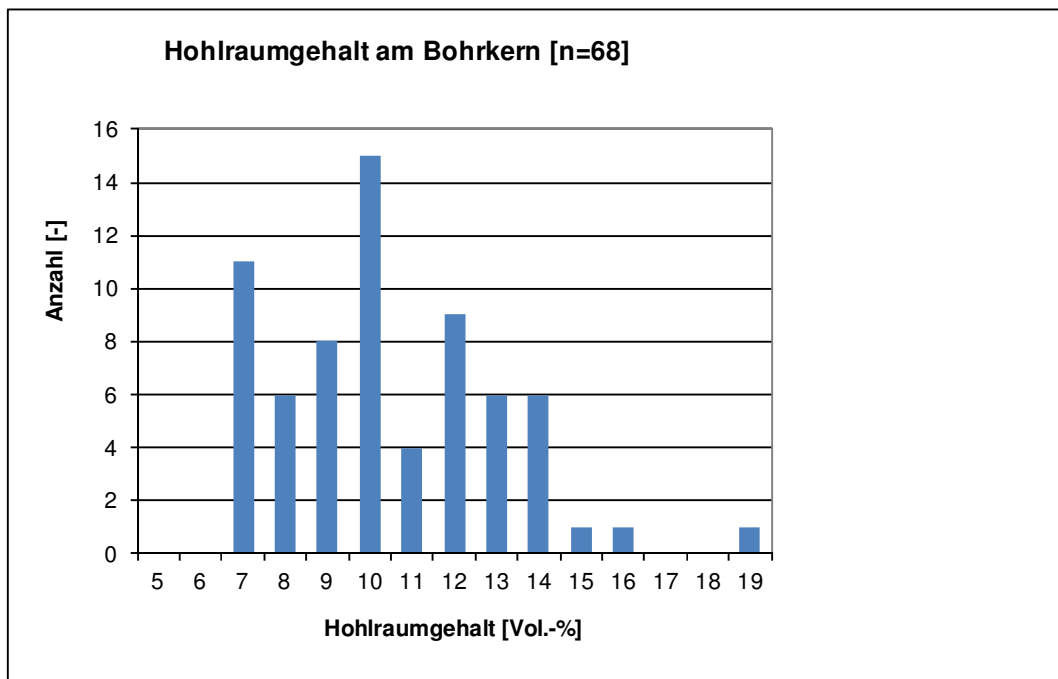


Abbildung 39: Verteilung Hohlraumgehalt Bohrkern. (Anhang XXI)

Als Ergänzung und zur Verifizierung dieser Ergebnisse wurden in Abbildung 40 die Ergebnisse von Einbaukontrollen der letzten 6 Jahre von 80 Baustellen mit über 500 Bohrkernen erfasst und in Abhängigkeit der Raumdichte grafisch dargestellt. Auch bei dieser Betrachtung liegt der Hohlraumgehalt mehrheitlich zwischen 7 und 14 Vol-%.

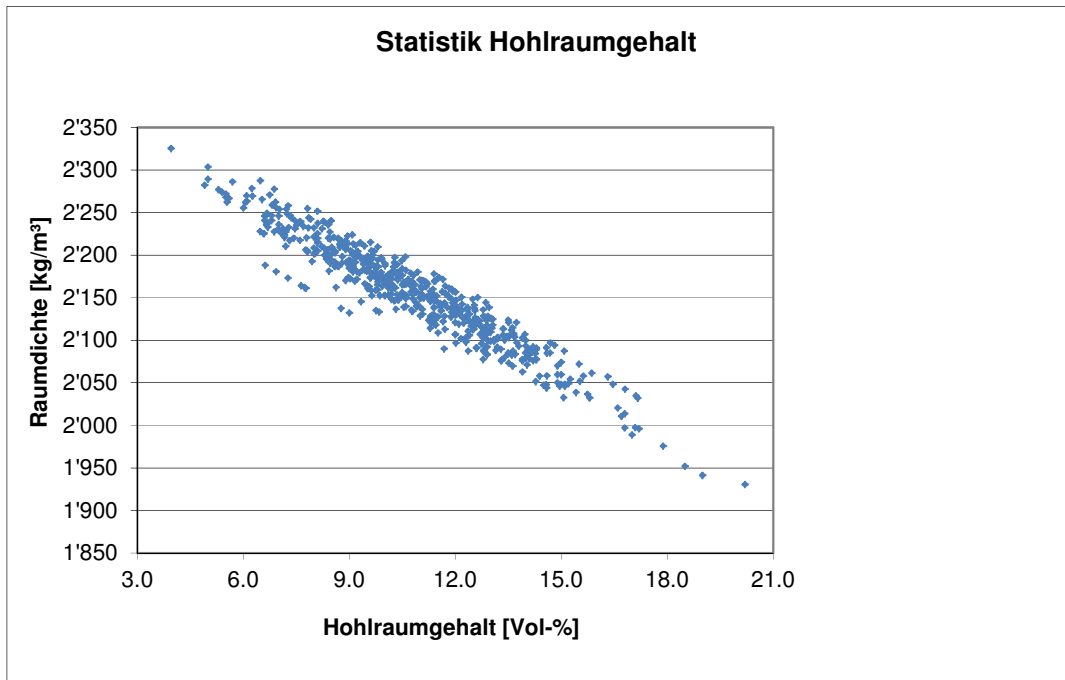


Abbildung 40: Hohlraumgehalte an KMF-Bohrkernen. (Anhang XXII)

### 8.2.2 Isotopenmessungen

Mit der Bestimmung der Raumdichte mittels zerstörungsfreier Isotopenmessungen besteht eine weitere Möglichkeit zur Verdichtungskontrolle. Gemessen wird im Erdbaumodus mit Bestimmung des Wassergehaltes und der Raumdichte. Neben den bekannten Messunsicherheiten dieser Methode kommt allerdings erschwerend hinzu, dass der Bitumenanteil in der KMF die Messung des Wassergehaltes stört und so die Dichtemessung beeinflusst. Diese Beeinflussung kann durch Referenzpunkte, bei welchen eine Materialprobe aus der Schicht entnommen wird an welcher der effektive Wassergehalt nachträglich im Labor bestimmt wird, rechnerisch korrigiert werden. Trotz dieser Korrekturmöglichkeit können Isotopenmessungen nur beschränkt für eine Aussage zu den absoluten Messgrößen der Verdichtungsparameter wie Hohlraumgehalt oder Verdichtungsgrad beigezogen werden. Aussagen zu relativen Messwerten der Verdichtung sind jedoch problemlos möglich. Insbesondere die Zunahme der Raumdichte resp. des Verdichtungsgrades in Abhängigkeit der Verdichtungsleistung kann, wie in Abbildung 41 dargestellt, gut erfasst werden. Dies bietet die Möglichkeit einer Optimierung des Verdichtungsprozesses auf der Baustelle (siehe Abbildung 42).



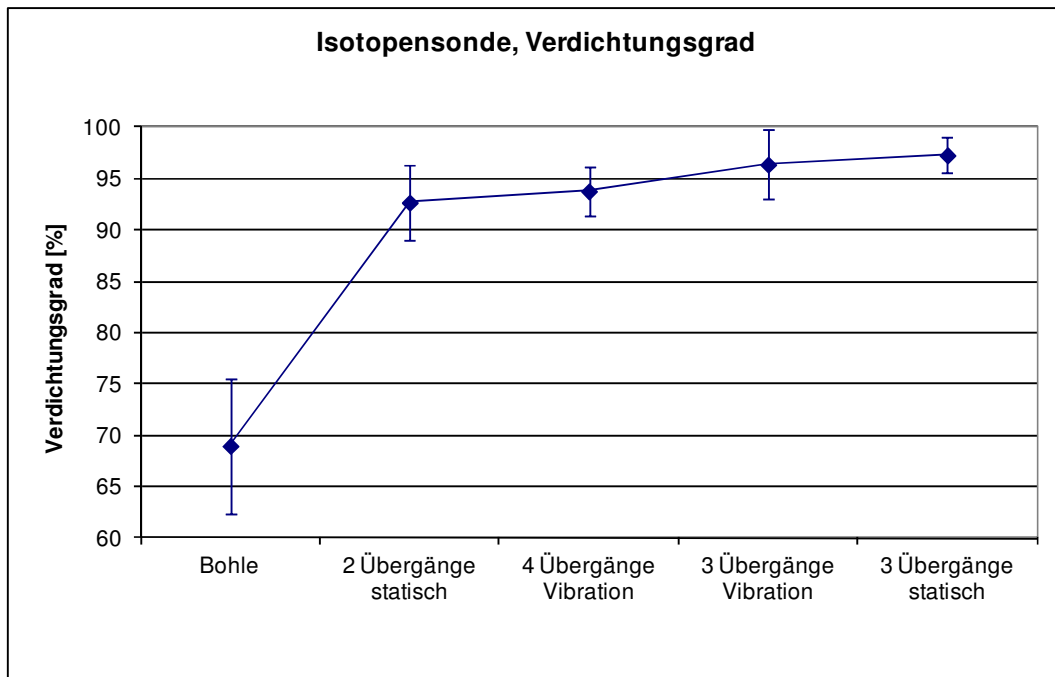


Abbildung 41: Veränderung des Verdichtungsgrades in Abhängigkeit der Walzübergänge. (Anhang XXIII)



Abbildung 42: Messung mit der Isotopsonde.

### 8.3 Tragfähigkeitsmessungen

Die Resultate der Tragfähigkeitsmessungen auf der Kaltmischfundationsschicht dienen als Entscheidungsgrundlage für die Wahl des Zeitpunktes der Überbauung mit der nächsten Schicht. Die Festigkeit der KMF muss so weit fortgeschritten sein, dass diese Schicht eine genügende Tragfähigkeit und somit Widerstand aufweist, damit die darauffolgende Schicht normenkonform verdichtet werden kann. Als Messmethoden wurden der statische Plattendruckversuch ME/EV nach SN 670 317b [26] und der dynamische Plattendruckversuch mit dem leichten Fallgewichtsgerät EVD nach TP BF-StB, Teil B 8.3 [27] auf ihre Eignung überprüft. Das deformationsmechanische Verhalten von bitumenhaltigen Baustoffen wird massgebend vom thermoviskosen Verhalten geprägt. Dabei spielt neben der Temperatur die Lasteinwirkungszeit eine massgebende Rolle. Gerade bei der Lasteinwirkungszeit unterscheiden sich die beiden Messmethoden: bei der ME/EV Methode erfolgt die Lasteinwirkung über eine statische Kraft mit langer Dauer, während bei der dynamischen Methode die Lasteinwirkung als Impuls in kurzer Zeit erfolgt.

Neben dem direkten Vergleich dieser Methoden wurde zudem die Frage nach dem Einfluss der Temperatur und dem Zeitpunkt der Messung abgeklärt. Hierfür wurden die Resultate einer Messkampagne in den frühen Morgenstunden bei tiefen Oberflächentempe-

raturen auf der Kaltmischfundationsschicht (14°C) mit den Resultaten einer um 5 Stunden späteren Messkampagne am Nachmittag bei hohen Oberflächentemperaturen (26°C) verglichen. Die Messungen erfolgten am Tag 2 nach dem Einbau.

Die Versuchsanordnung zum Vergleich der beiden Messmethoden wurde so konzipiert, dass vier rechtwinklig angeordneten Messpunkten der dynamischen Messung mit dem leichten Fallgewicht eine statische Messung im Zentrum gegenüberstand (siehe Skizze Abbildung 43).

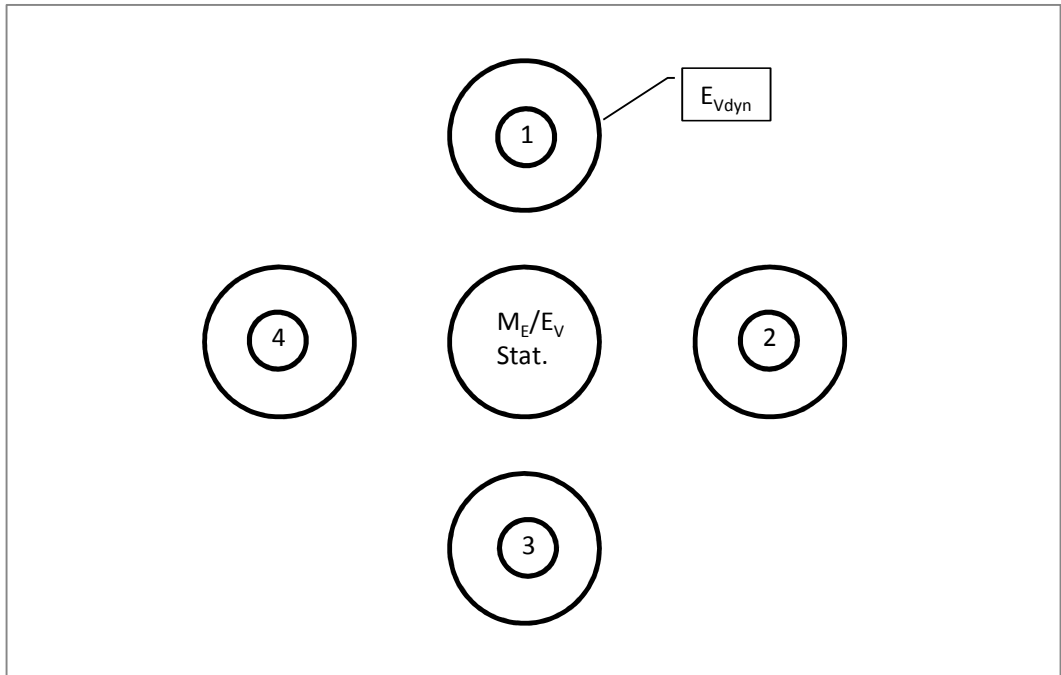


Abbildung 43: Messanordnung Tragfähigkeitsmessungen.

Der Vergleich zwischen dynamischen und statischen Plattendruckversuchen ist in Abbildung 44 und Abbildung 45 dargestellt; einmal bei der Prüftemperatur von 14°C und einmal bei 26°C.



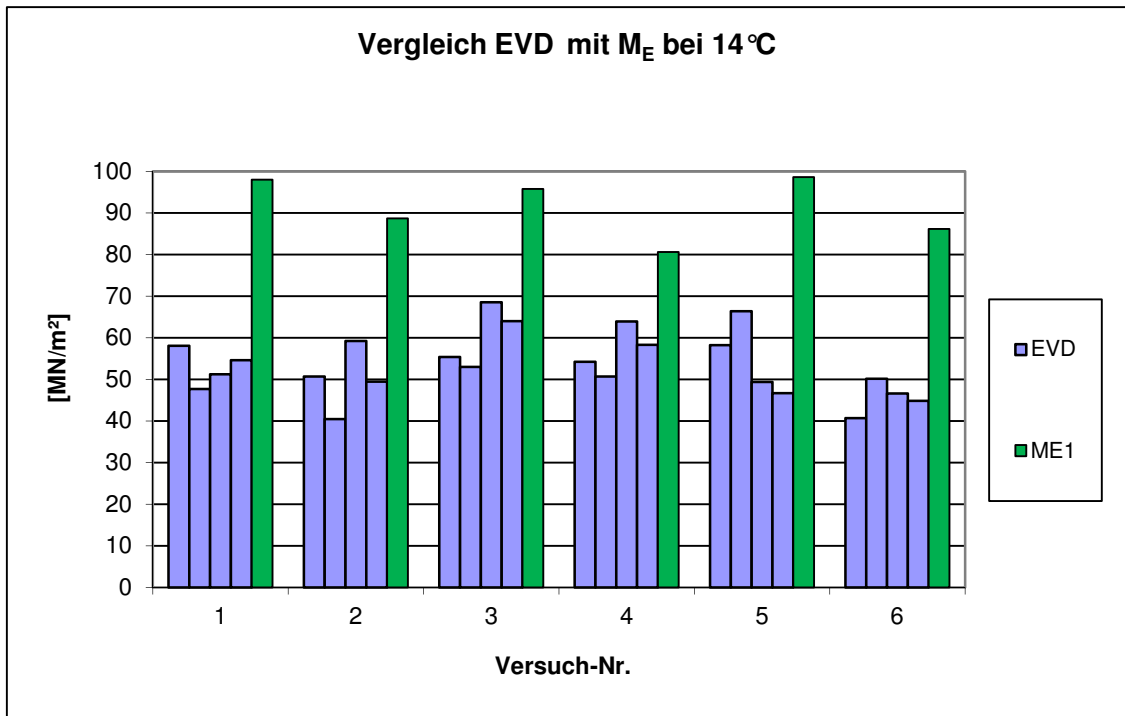


Abbildung 44: Vergleich EVD mit ME bei 14°C. (Anhang XXIV)

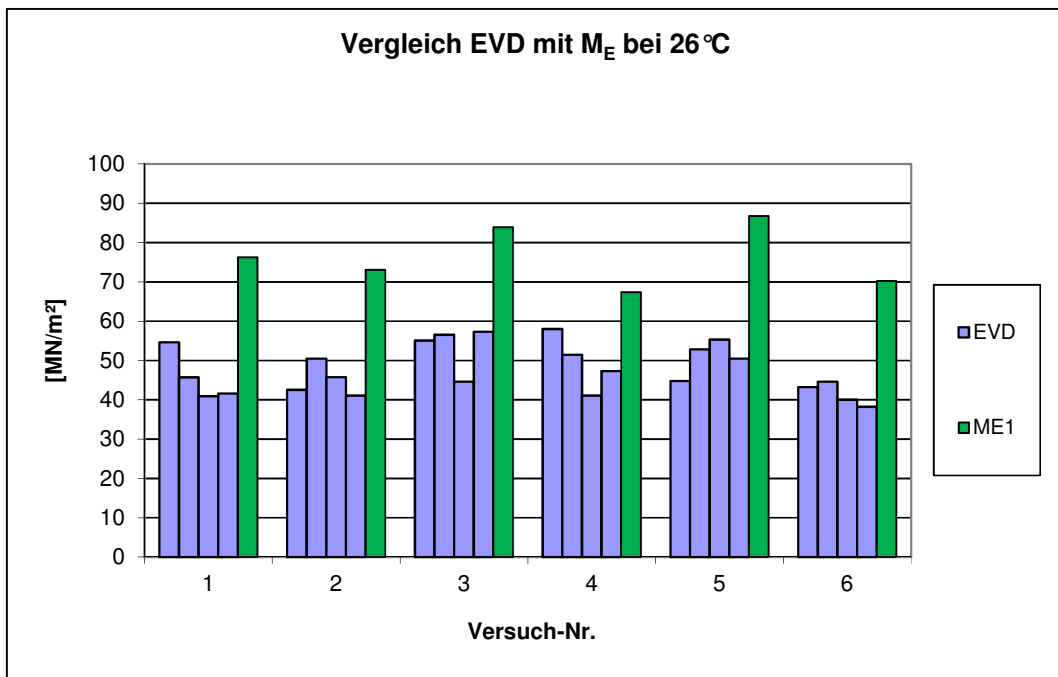


Abbildung 45: Vergleich EVD mit ME bei 26°C. (Anhang XXIV)

Die Temperaturänderung hat einen grossen Einfluss auf die Messwerte. Die mittlere prozentuale Erhöhung der gemessenen Tragfähigkeit aufgrund der um 12°C tieferen Temperatur beträgt bei den dynamischen Messungen 12 % und bei den statischen Messungen 20 % (Details siehe Abbildung 46). Das heisst, die Temperaturempfindlichkeit ist bei der dynamischen Messmethode geringer als bei der statischen Messmethode.

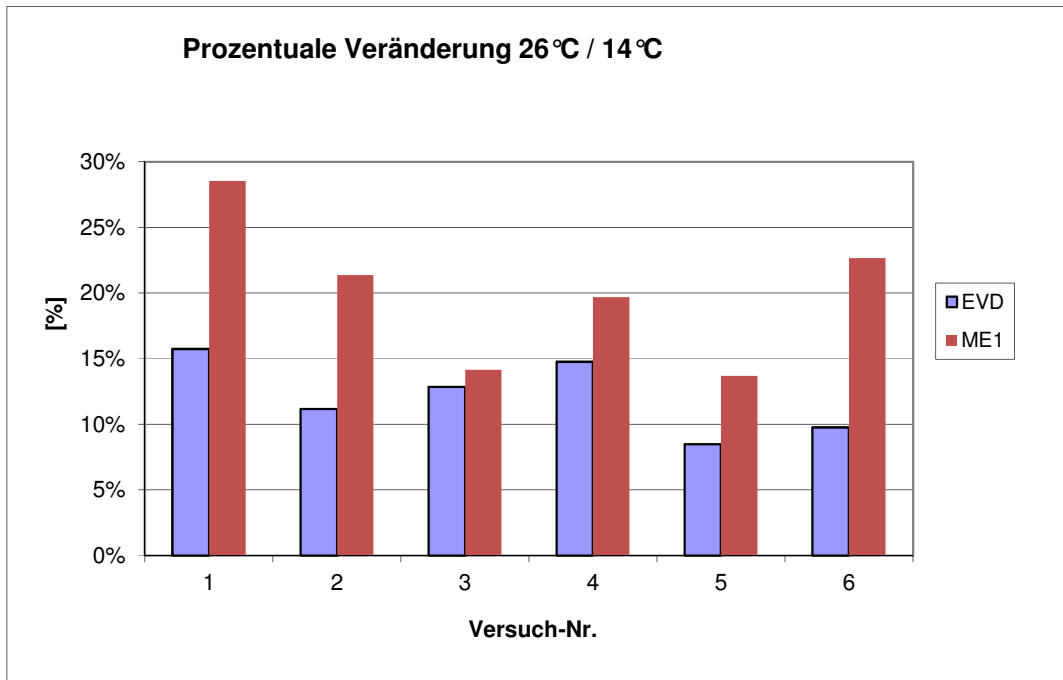


Abbildung 46: Erhöhung der Tragfähigkeitskennwerte bei einer Temperaturreduktion von 26 °C auf 14 °C.

Zur Ermittlung der Tragfähigkeitsentwicklung wurden auf der Kaltmischfundationsschicht ME/EV Messungen 1 Stunde, 8 Stunden und 24 Stunden nach dem Einbau verglichen. Die Entwicklung für die vier untersuchten Punkte ist in Abbildung 47 dargestellt.

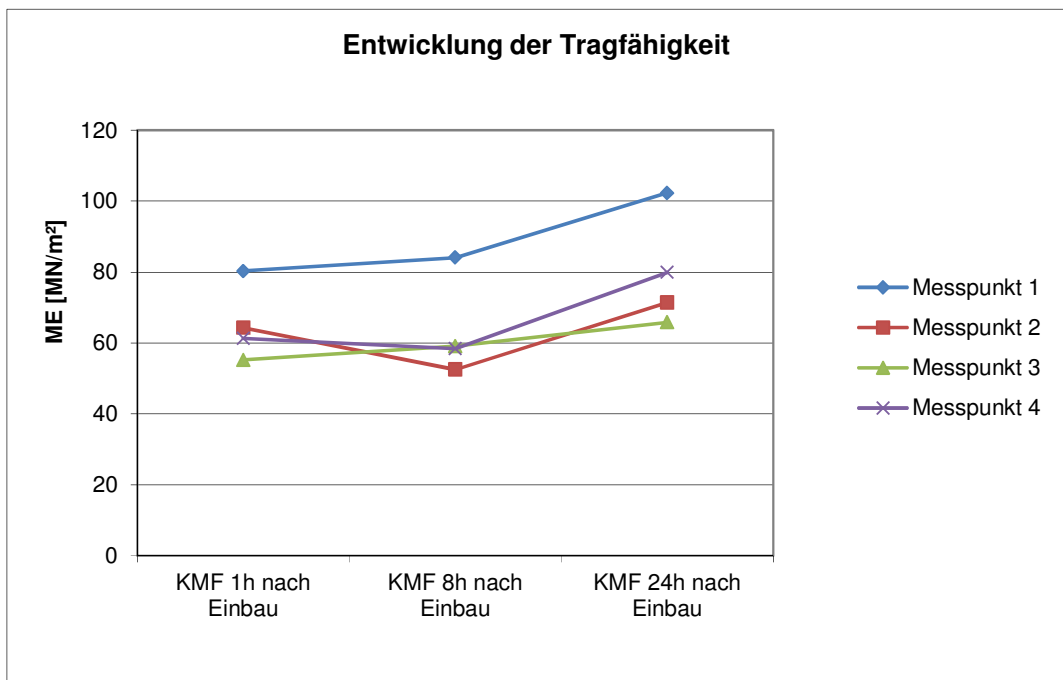


Abbildung 47: Zeitliche Entwicklung der Tragfähigkeit

Es fällt auf, dass in der Anfangsphase zwischen 1 und 8 Stunden nach dem Einbau keine massgebende Veränderung der Tragfähigkeit stattfindet. Die Zunahme findet erst nach einer Liegezeit von 24 Stunden statt. Dies lässt sich darauf zurückzuführen, dass das es einige Stunden dauert, bis der Abbindeprozess einsetzt.

## 8.4 Lagerfähigkeit von Kaltmischgut

### 8.4.1 Emulsionsgebundenes Mischgut, Lagerung im Labor

Zur Abklärung der Lagerfähigkeit von Kaltmischgut wurden Festigkeitsbestimmungen an Mischgütern mit unterschiedlicher Lagerungsdauer durchgeführt. Geprüft wurden zwei Rezepturen von emulsionsgebundenem Mischgut, einmal mit hydraulischem Bindemittel (Rezeptur A mit 2 M-% CEM II / A-LL 42.5N) und einmal ohne hydraulisches Bindemittel (Rezeptur B ohne hydraulisches Bindemittel).

Die Lagerung des losen Mischgutes im Labor erfolgte bei 20°C flächig ausgebreitet mit einer Schichtdicke von ca. 10 cm. Ein spezieller Verdunstungsschutz wurde nicht verwendet.

Bestimmungen vom Wassergehalt, der Raumdichte und der Festigkeit an Duriez-Prüfkörpern (Verdichtungskraft 100 kN) des im Labor gelagerten Mischgutes erfolgten an Material, welches einen Tag, drei oder sieben Tage gelagert wurde. Als Vergleich wurde dasselbe Mischgut ohne Lagerungszeit geprüft. Die Entwicklung über die Zeit ist in Abbildung 48 (Wassergehalt), Abbildung 49 (Raumdichte) und Abbildung 50 (Festigkeit) graphisch dargestellt.

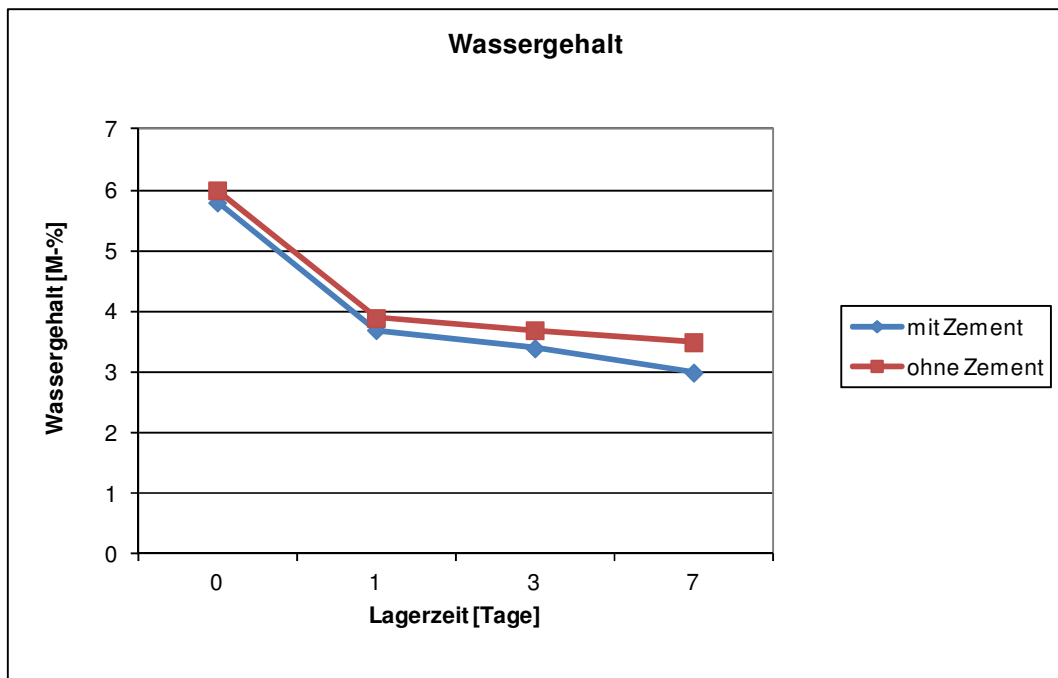


Abbildung 48: Veränderung des Wassergehaltes in Abhängigkeit der Lagerungsdauer. (Anhang XXV)

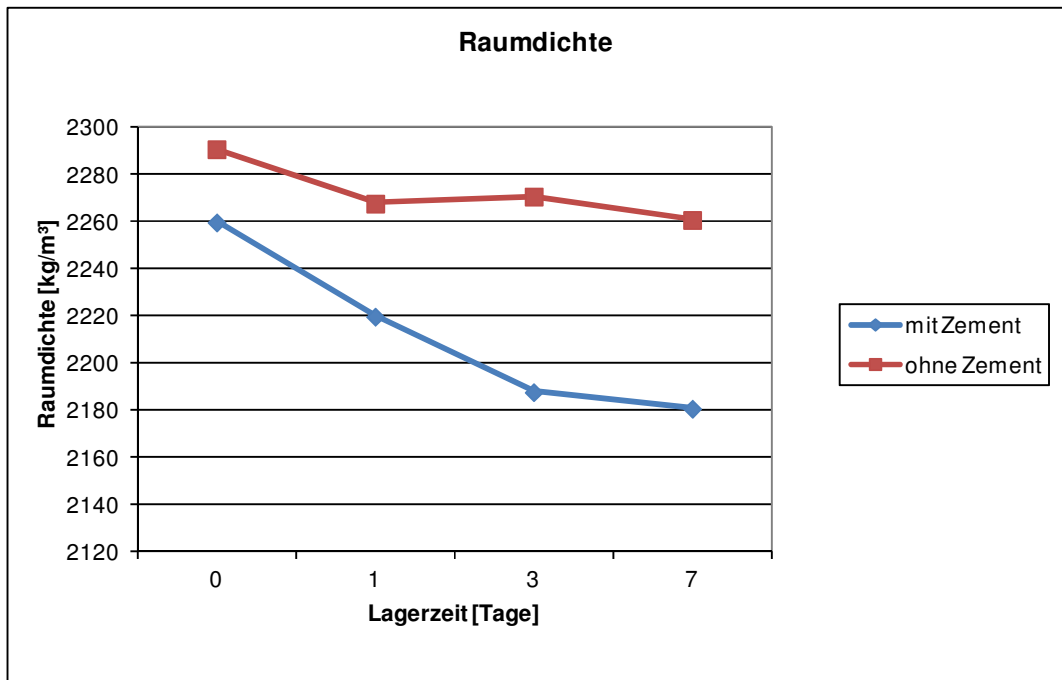


Abbildung 49: Veränderung der Raumdichte in Abhängigkeit der Lagerungsdauer. (Anhang XXV)

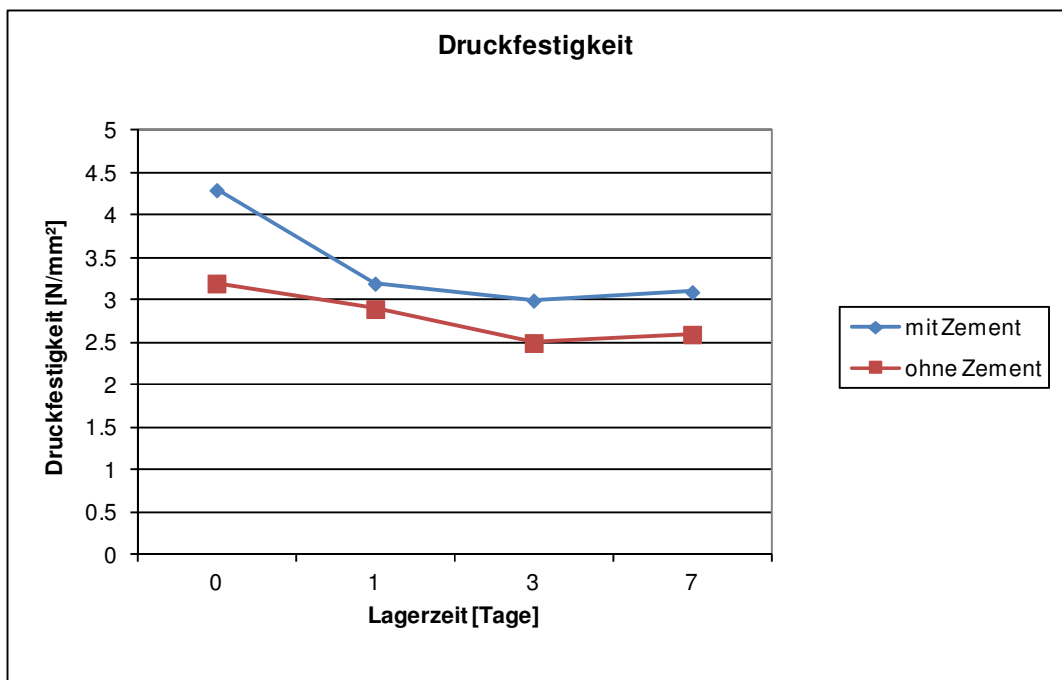


Abbildung 50: Veränderung der Druckfestigkeit in Abhängigkeit der Lagerungsdauer. (Anhang XXV)

Daraus ergibt sich Folgendes:

#### Rezeptur mit Zement

Feststellbar ist eine Festigkeitsabnahme zwischen dem frisch verarbeiteten und dem gelagerten Mischgut. Die Festigkeiten der Mischgüter mit unterschiedlicher Lagerungsdauer liegen in etwa auf dem gleichen Niveau. Die Raumdichte hingegen zeigt eine Abnahme bei zunehmender Lagerungsdauer. Trotz gleichbleibender Verdichtungskraft von 100 kN resultieren mit zunehmender Lagerungsdauer Prüfkörper mit geringerer Raumdichte. Dies deutet auf eine Abnahme der Verdichtungswilligkeit von gelagertem Mischgut hin.

Die Abnahme des Wassergehaltes findet bei der gewählten Lagerungsvariante v.a. in der Anfangsphase statt.

### Rezeptur ohne Zement

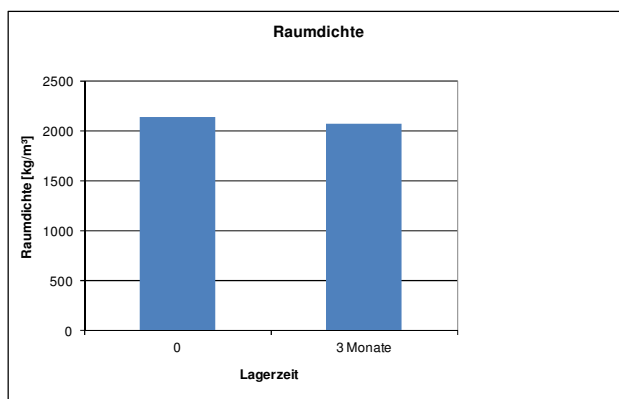
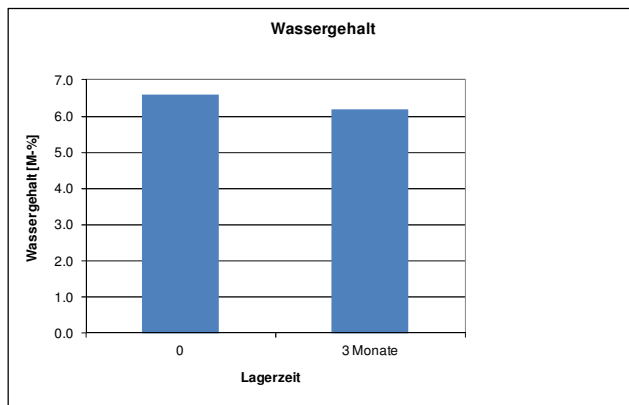
Auch bei dieser Rezeptur ist eine Festigkeitsabnahme zwischen dem frisch verarbeiteten Mischgut und dem gelagerten Mischgut vorhanden; sie fällt jedoch deutlich geringer aus als bei der Rezeptur mit Zement. Die Festigkeiten der Mischgüter mit unterschiedlicher Lagerungsdauer liegen in etwa auf dem gleichen Niveau. Eine Systematik in Abhängigkeit der Lagerungsdauer ist nicht vorhanden.

Die Raumdichte nimmt in der Anfangsphase ab, dann erfolgt keine weitere systematische Abnahme mehr. Die Abnahme der Verdichtungswilligkeit findet im Zusammenhang mit der Wassergehaltsänderung nur in der Anfangsphase statt.

Die Abnahme des Wassergehaltes findet bei der gewählten Lagerungsvariante v.a. in der Anfangsphase statt.

## 8.4.2 Schaumgebundenes Mischgut, Lagerung am Haufen im Freien

Im Weiteren wurde KMF-Mischgut mit Schaumbitumen geprüft, welches ca. 3 Monate am Haufen gelagert wurde. Die Rezeptur entsprach der Standardrezeptur mit 3.5 M-% Schaumbitumen und 1.0 M-% hydraulischem Bindemittel (CEM-II). Die Lagerung fand in den Wintermonaten ab November statt. Die Haufenhöhe betrug ca. 2.5 m. Der Haufen wurde durch eine Folie vor Wassergehaltsänderungen grösstenteils geschützt. Die Kennwerte des gelagerten Mischgutes wurden mit den Kennwerten unmittelbar nach der Produktion verglichen (siehe Abbildung 51).



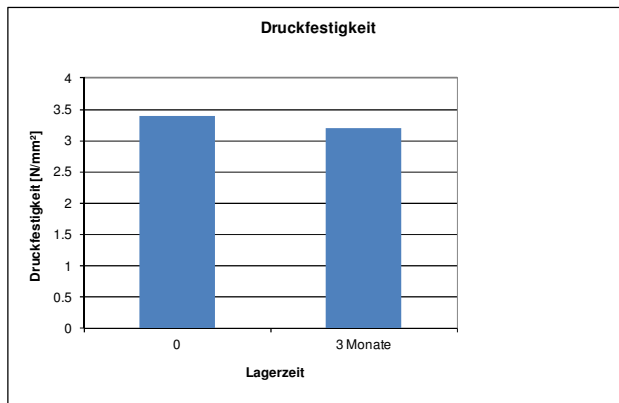


Abbildung 51: Veränderung von Wassergehalt, Raumdichte und Druckfestigkeit nach 3 Monaten Lagerungszeit. (Anhang XXVI)

Insgesamt kann trotz der 3-monatigen Lagerung nur eine geringe Veränderung der Kennwerte festgestellt werden. Die nicht ganz logische Erhöhung des Wassergehaltes kann mit der Lagerung in der kalten Jahreszeit kombiniert mit der nicht ganz dichten Abdeckung erklärt werden. Raumdichte und Druckfestigkeit nahmen leicht ab.

## 9 Resultatezusammenfassung und Schlussfolgerungen

### 9.1 Prüfkörperherstellung

Als Labormodell kommt die Prüfkörperherstellung mit statischer Verdichtung der Praxis näher als die Prüfkörperherstellung mit Schlagverdichtung. Die Streuung der Raumdichte ist bei der statischen Verdichtung geringer als bei der Schlagverdichtung. Die bisher angewandte statische Duriezverdichtung kann aus dieser Sicht beibehalten werden.

Bei einer Verdichtungskraft von 120 kN werden im Labor Prüfkörper hergestellt, welche gegenüber der Praxisverdichtung mit den üblichen Einbaubedingungen deutlich stärker verdichtet sind. Mit der Bestrebung das Labormodell möglichst nahe an die Praxis anzugleichen, ist eine Reduktion der Verdichtungskraft auf 80 kN sinnvoll. Die bisherigen Vorgaben in Bezug auf Festigkeitskennwerte können beibehalten werden. Die mit der Reduktion der Verdichtungskraft gekoppelte Reduktion der Raumdichte erhöht zudem die Selektivität bei der Bestimmung der Wasserempfindlichkeit.

### 9.2 Prüfparameter und Prüfbedingungen

#### 9.2.1 Festigkeit

Für die Festigkeitsbestimmung kommen grundsätzlich die Zylinderdruckfestigkeit oder die Spaltzugfestigkeit in Frage. Beide Festigkeitskennwerte bieten eine gute Definition der Materialeigenschaften. In Anbetracht der Tatsache, dass sich die bisherige Praxis mit der Zylinderdruckfestigkeit bewährt hat und bei diesem Kennwert ein bestehender Erfahrungshintergrund in Bezug auf die Anforderungen besteht, kann die Zylinderdruckfestigkeit beibehalten werden.

#### 9.2.2 Prüfkörperalter

Längere Lagerungszeiten der Prüfkörper bedeuten höhere Festigkeiten. Die Verbesserung der Festigkeitseigenschaften als Funktion der Zeit gilt als spezielle Materialeigenschaft der Kaltmischungen. Um dieser Eigenschaft Rechnung zu tragen, kann zur Dokumentation der Festigkeitsentwicklung neben der 7-Tage-Festigkeit auch die 28-Tage-Festigkeit als Prüfparameter erfasst werden. Dabei ist eine Festigkeitserhöhung zwischen 7 und 28 Tagen von ca. 10-15 % zu erwarten. Als Minimumanforderung ist eine Zunahme der Festigkeit zwischen 7 und 28 Tagen Lagerungsdauer zu definieren.

#### 9.2.3 Wasserempfindlichkeit

Für die Bestimmung der Wasserempfindlichkeit steht das bisherige Verfahren mit dem Verhältnis der Zylinderdruckfestigkeit nach/vor Wasserlagerung (7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung/7-Tage-Luftlagerung) dem Verfahren ITSr mit dem Vergleich der Spaltzugfestigkeiten nach/vor Wasserlagerung analog der Vorgehensweise bei Heissmischgut gegenüber. Die Wasserlagerungsbedingungen beim Verfahren ITSr sind deutlich höher (Lagerung bei Unterdruck, erhöhte Temperatur mit 40 °C). Dazu fehlt beim Kaltmischgut der Erfahrungshintergrund.

Da das bisherige Verfahren gut auf Rezepturveränderungen anspricht, was z.B. bei den Mischungen ohne Bindemittelzugabe aufgezeigt werden konnte (Abschnitt 7.2.5.2), kann es weiterhin zur Bestimmung dieses Parameters beibehalten werden. Aus der Statistik der Erfahrungswerte wird ersichtlich, dass die bisherige Anforderungsgrenze von min. 0.55 tief ist und praktisch ausnahmslos mit grosser Reserve erfüllt wird. Hier ist eine Anpassung der Normanforderungen an die tatsächlichen Materialeigenschaften zu diskutieren.

### 9.2.4 Prüftemperatur

Die Prüftemperatur hat einen grossen Einfluss auf die Festigkeit. Daher ist der zulässige Temperaturbereich zu definieren.

## 9.3 Rezepturen

### 9.3.1 Einfluss Bindemittel

Die Menge an bitumenhaltigen Bindemitteln beeinflusst die Wasserempfindlichkeit. Je höher die Dosierung desto geringer ist die Wasserempfindlichkeit. Dies gilt sowohl für Schaumbitumen wie für Emulsion. Eine Erhöhung des Emulsionsgehaltes bewirkt eine leichte Reduktion der Druckfestigkeit.

Die Menge an hydraulischem Bindemittel hat einen Einfluss auf die Festigkeit. Schon eine kleine Erhöhung der Dosierung (z.B. 0.5 M-%) bewirkt eine deutliche Zunahme der Druck- oder Spaltzugfestigkeit.

### 9.3.2 Einfluss Ausgangsmaterial

Die Zugabe von Brechsand wirkt sich auf die Festigkeit eher bescheiden aus. Tendenziell kann mit einer Verbesserung der Festigkeitseigenschaften gerechnet werden. Die Raum-dichte nimmt durch die Brechsandzugabe ab und die Wasserempfindlichkeit wird bei den Emulsionsmischungen erhöht.

Mischungen mit reinem Asphaltgranulat reagieren weniger empfindlich auf Änderungen der Bindemitteldosierungen als Mischungen aus einem Gemisch von Asphaltgranulat und natürlichen Gesteinskörnungen. Der Bindemittelbedarf, insbesondere an Emulsion, ist bei Mischungen mit einem Anteil an natürlichen Gesteinskörnungen höher als bei den Mischungen mit reinem Asphaltgranulat als Zuschlagstoff.

### 9.3.3 Vergleich Kaltmischgut (KMF) mit Heissmischgut (AC F)

Im direkten Vergleich zwischen Kalt- und Heissmischgut zeigt das Kaltmischgut eine höhere Wasserempfindlichkeit, eine deutlich geringere Festigkeit und eine höhere Verformungswilligkeit. Dieser Vergleich bezieht sich auf Prüfkörper die 28 Tage alt waren. Es ist anzunehmen, dass durch das spezielle Langzeitverhalten der Kaltmischungen mit einer Zunahme der Festigkeit, diese Differenz im Laufe der Zeit reduziert wird.

### 9.3.4 Emulsion vs. Schaumbitumen

In der aktuellen Norm ist als Bindemittel lediglich die Bitumenemulsion vorgesehen [4]. Die vorliegenden Untersuchungsreihen an Kaltmischgut mit Bitumenemulsion und mit Schaumbitumen zeigen auf, dass aus materialtechnischer Sicht die beiden Bindemittelvarianten als gleichwertig beurteilt werden können. Dies entspricht auch den Erfahrungen an Bauobjekten (z.B. Erneuerung N3/N13 mit Schaumbitumen, Erneuerung N1/N7 mit Bitumenemulsion). Die Anforderungen an die Kennwerte des Mischguts sowie der eingebauten Schicht werden von beiden Bindemittelvarianten erfüllt.

## 9.4 Praxis

### 9.4.1 Verdichtungskontrollen

Analog zu den Asphalt-schichten aus Heissmischgut eignen sich auch bei den Schichten aus Kaltmischgut Bohrkern zur Ermittlung des eingebauten Dichtezustandes. Eine Bohrkernentnahme sollte jedoch aufgrund der Festigkeitsentwicklung frühestens nach 7 Tagen erfolgen. Die Begrenzung des Hohlraumgehaltes stellt ein geeignetes Kriterium dar, um eine ausreichende Festigkeit und eine minimale Wasserempfindlichkeit zu erreichen und somit eine lange Nutzungsdauer zu garantieren.

Die Verdichtungskontrolle durch Isotopensonden ist grundsätzlich bei rechnerischer Berücksichtigung des Wassereinflusses möglich. Da gesicherte Aussagen zu absoluten



Messgrößen heikel sind, soll sich diese Methode im Sinne von Eigenkontrollen auf die Optimierung des Verdichtungsprozesses beschränken.

#### **9.4.2 Tragfähigkeitsmessungen und Wartezeit für die Überbauung mit der nächsten Schicht**

Die Temperaturempfindlichkeit sowie die Abhängigkeit der Lasteinwirkungszeit bieten spezielle Voraussetzungen bei der Messung der Tragfähigkeit bitumengebundener Schichten. Mit Berücksichtigung dieser Ausgangslage zeigt die dynamische Messmethode gegenüber der statischen Lastplattenmessung Vorteile bei der Temperaturempfindlichkeit. Basierend auf ausländischen Anforderungskennwerten, sowie der statistischen Auswertung der bestehenden Erfahrungswerte, bildet der dynamische Lastplattenversuch eine gute Möglichkeit zur Ermittlung der Tragfähigkeit.

#### **9.4.3 Lagerfähigkeit**

Grundsätzlich konnte eine gute Lagerfähigkeit des Kaltmischgutes nachgewiesen werden. Die Festigkeitskennwerte der Mischgüter mit unterschiedlicher Lagerungsdauer liegen auf dem gleichen Niveau. Die Raumdichte hingegen nimmt mit zunehmender Lagerungsdauer ab, was auf eine Abnahme der Verdichtungswilligkeit deutet. Der Verdichtung von gelagertem Kaltmischgut muss entsprechend ein noch höherer Stellenwert zugeordnet werden. Es ist auf einen möglichst konstanten Wasserhaushalt im gelagerten Gemisch zu achten, da zu wenig Wasser die Verdichtungswilligkeit ebenfalls einschränkt. Allenfalls ist das Gemisch vor dem Einbau mit einer dosierten Wasserzugabe zu behandeln. Der hydraulische Bindemittelanteil spielt eine untergeordnete Rolle.

## 10 Empfehlungen für die Normenrevision

Bei der Normenrevision können folgende Aspekte aus den vorliegenden Erkenntnissen einfließen:

- Wahl der Duriez-Prüfkörper als massgebende Prüfkörper. Andere Möglichkeiten sollen ausgeschlossen werden
- Wahl der Verdichtungskraft von 80 kN
- Wahl der Zylinderdruckfestigkeit als Festigkeitsprüfung
- Definition des Prüftemperaturbereichs für Duriez-Prüfkörper von  $20 \pm 2$  °C
- Prüfung der Zylinderdruckfestigkeit bei 7 Tagen Luftlagerung (Festigkeitsanforderung) und 7 Tagen Luft + 7 Tagen Wasserlagerung zur Erfassung der Wasserempfindlichkeit. Zusätzliche Prüfung bei 28 Tagen Luftlagerung zur Erfassung der Festigkeitsentwicklung.
- Kontrollprüfungen Mischgut und Einbau:
  - Mischgutzusammensetzung mit Bestimmung des Wassergehaltes, des Bindemittelgehaltes, der Korngrößenverteilung und der Rohdichte
  - Duriezfestigkeiten mit folgenden Anforderungen an Festigkeit und Wasserempfindlichkeit:
    - 7 Tage Luftlagerung: min. 3 N/mm<sup>2</sup>
    - Verhältnis nach/vor Wasserlagerung: min. 0.7
    - 28 Tage Luftlagerung: 28 d > 7 d
  - Verdichtungskontrolle durch Bohrkerne mit der Anforderung an den Hohlraumgehalt von < 15 Vol-%
  - Tragfähigkeitskontrolle der eingebauten Schicht durch den dynamischen Lastplattenversuch mit dem leichten Fallgewicht zur Freigabe des Einbaus der nächsten Schicht; Anforderung: EVD > 65 MN/m<sup>2</sup>
- Bituminöse Bindemittel: kationische Bitumenemulsion oder Schaumbitumen
- Hinweis auf Lagerfähigkeit des Kaltmischguts und insbesondere der Bedeutung des erhöhten Verdichtungsbedarfs.



## Anhänge

I	Einfluss der Prüfkörperherstellung auf die Raumdichte.....	77
II	Einfluss der Raumdichte auf die Druckfestigkeit.....	79
III	Druckfestigkeitsentwicklung in Abhängigkeit des Prüfkörperalters .....	81
IV	Einfluss der Prüfkörperherstellung auf die Wasserempfindlichkeit .....	82
V	Einfluss der Verdichtungsenergie auf die Wasserempfindlichkeit ITSr.....	83
VI	Einfluss der Prüftemperatur auf die Druckfestigkeit .....	86
VII	Einfluss der Prüftemperatur auf die Spaltzugfestigkeit .....	87
VIII	Einfluss von Brechsandzugabe auf die Raumdichte und die Druckfestigkeit.....	88
IX	Einfluss der Bindemittelzugabe auf die Festigkeit und die Wasserempfindlichkeit.....	89
X	Einfluss der Raumdichte auf die Spaltzugfestigkeit.....	90
XI	Einfluss der Raumdichte auf die 7-Tage-Druckfestigkeit.....	91
XII	Einfluss der Prüftemperatur auf die Spaltzugfestigkeit .....	93
XIII	Einfluss des hydraulischen Bindemittels .....	94
XIV	Einfluss des Brechsandes und des Emulsionsgehaltes auf die Druckfestigkeit und die Wasserempfindlichkeit.....	95
XV	Einfluss des Ausgangsmaterials und der Bindemitteldosierungen .....	97
XVI	Vergleich AC F - KMF.....	100
XVII	Vergleich AC F – KMF, Wasserempfindlichkeit.....	102
XVIII	Verformungskurven AC F.....	105
XIX	Verformungskurven KMF.....	106
XX	Verformungskurven KMF-Bohrkerne .....	107
XXI	Bohrkernuntersuchungen KMF.....	108
XXII	Statistik Bohrkerne KMF.....	110
XXIII	Verdichtungskontrolle mit Troxler Isotopensonde .....	121
XXIV	Vergleich Plattendruckversuch statisch (ME) mit dynamisch (EV <sub>D</sub> ).....	123
XXV	Lagerfähigkeit von Kaltmischgut.....	124
XXVI	Schaumgebundenes Mischgut.....	125

# I Einfluss der Prüfkörperherstellung auf die Raumdichte

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Brechsand : 15 M-%

Probenart	L-Nr.	Gewicht [g]	Raumdicke	Raumdicke	Wassergehalt Mischung [M-%]	Wassergehalt PK [M-%]
			trocken [kg/m³]	feucht [kg/m³]		
Duriez 40 kN	2803	3040	2055	2084	6.5	1.4
	2803	3010	2035	2063	6.5	1.4
	2803	3065	2065	2094	6.5	1.4
	2803	2994	2012	2052	6.5	2.0
	2803	2990	2011	2049	6.5	1.9
	<b>Mittelwert</b>			<b>2036</b>	<b>2068</b>	
Duriez 80 kN	2803	3058	2065	2096	6.5	1.5
	2803	3076	2081	2108	6.5	1.3
	2803	3123	2111	2141	6.5	1.4
	2803	3120	2113	2139	6.5	1.2
	2803	3104	2098	2128	6.5	1.4
	<b>Mittelwert</b>			<b>2094</b>	<b>2122</b>	
Duriez 100 kN	2803	3125	2117	2150	6.5	1.2
	2803	3105	2103	2128	6.5	1.2
	2803	3125	2119	2142	6.5	1.1
	2803	3086	2086	2115	6.5	1.4
	2803	3143	2129	2154	6.5	1.2
	<b>Mittelwert</b>			<b>2111</b>	<b>2138</b>	
Duriez 120 kN	2803	3145	2134	2156	6.5	1.0
	2803	3259	2216	2234	6.5	0.8
	2803	3099	2097	2124	6.5	1.3
	2803	3167	2149	2171	6.5	1.0
	2803	3107	2104	2130	6.5	1.2
	<b>Mittelwert</b>			<b>2140</b>	<b>2163</b>	
CBR standard	2804	3875	1811	1827	6.3	0.9
	2804	3490	1616	1645	6.3	1.8
	2804	3885	1810	1832	6.3	1.2
	2804	3897	1819	1837	6.3	1.0
	2804	3886	1816	1832	6.3	0.9
	<b>Mittelwert</b>			<b>1774</b>	<b>1795</b>	
CBR modified	2804	4178	1956	1970	6.3	0.7
	2804	4235	1979	1997	6.3	0.9
	2804	4207	1966	1983	6.3	0.9
	2804	3967	1848	1870	6.3	1.2
	2804	4217	1968	1988	6.3	1.0
	<b>Mittelwert</b>			<b>1943</b>	<b>1962</b>	
Proctor standard	2805	1606	1657	1670	6.4	0.8
	2805	1495	1540	1555	6.4	1.0
	2805	1600	1651	1664	6.4	0.8
	2805	1664	1717	1731	6.4	0.8
	2805	1658	1716	1725	6.4	0.5
	<b>Mittelwert</b>			<b>1656</b>	<b>1669</b>	

Probenart	L-Nr.	Höhe	Durchmesser	Gewicht	Raumdichte trocken	Raumdichte feucht	Wassergehalt Mischung	Wassergehalt PK
				[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[M-%]	[M-%]
Proctor modified	2805			1678	1733	1745	6.4	0.7
	2805			1648	1702	1714	6.4	0.7
	2805			1667	1722	1734	6.4	0.7
	2805			1690	1742	1758	6.4	0.9
	2805			1665	1716	1732	6.4	0.9
	<b>Mittelwert</b>				<b>1723</b>	<b>1737</b>		<b>0.8</b>
Marshall 50/50	2806	101	66.8	1020	1889	1906	6.4	0.9
	2806	101	64.2	1007	1940	1958	6.4	0.9
	2806	101	65.6	1015	1914	1931	6.4	0.9
	2806	101	65.0	1015	1924	1949	6.4	1.3
	2806	101	65.5	1013	1906	1930	6.4	1.3
	<b>Mittelwert</b>				<b>1915</b>	<b>1935</b>		<b>1.1</b>
Marshall 75/75	2806	101	65.6	1065	2000	2026	6.4	1.3
	2806	101	64.7	1068	2042	2060	6.4	0.9
	2806	101	66.2	1055	1971	1989	6.4	0.9
	2806	101	63.5	1065	2073	2093	6.4	1.0
	2806	101	66.1	1055	1974	1992	6.4	0.9
	<b>Mittelwert</b>				<b>2012</b>	<b>2032</b>		<b>1.0</b>

Abb. I.1 Daten zu Abbildung 9.

## II Einfluss der Raumdichte auf die Druckfestigkeit

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Brechsand : 15 M-%  
 Prüfalter : 7 Tage Luft

Probenart	L-Nr.	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit	
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez 40 kN	1556	2020	32.0	2.8
	1556	2065	27.5	2.4
	1556	2041	24.8	2.2
	1556	2032	28.5	2.5
	1556	2012	30.0	2.7
	1556	2037	23.6	2.1
	<b>Mittelwert</b>	<b>2035</b>	<b>27.7</b>	<b>2.5</b>
Duriez (80 kN)	1557	2060	34.6	3.1
	1557	2078	36.6	3.2
	1557	2055	34.0	3.0
	1557	2090	34.5	3.1
	1557	2085	32.3	2.9
	1557	2100	34.1	3.0
	<b>Mittelwert</b>	<b>2078</b>	<b>34.4</b>	<b>3.1</b>
Duriez (100 kN)	1558	2105	37.5	3.4
	1558	2100	36.5	3.2
	1558	2085	34.1	3.0
	1558	2120	37.3	3.3
	1558	2110	37.9	3.4
	1558	2110	36.4	3.2
	<b>Mittelwert</b>	<b>2105</b>	<b>36.6</b>	<b>3.3</b>
Duriez (120 kN)	1559	2120	36.0	3.2
	1559	2160	39.3	3.5
	1559	2110	34.3	3.0
	1559	2100	37.0	3.3
	1559	2145	34.6	3.1
	1559	2152	36.1	3.2
	<b>Mittelwert</b>	<b>2131</b>	<b>36.2</b>	<b>3.2</b>

Probenart	L-Nr.	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit	
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
CBR (s)	1560	1759	7.6	0.4
	1560	1803	9.3	0.5
	1560	1785	7.0	0.4
	1560	1818	5.9	0.3
	1560	1789	5.4	0.3
	1560	1615	5.7	0.3
	1560	1772	8.1	0.5
	1560	1794	9.0	0.5
	1560	1803	9.7	0.6
	1560	1807	13.9	0.8
	1560	1779	14.2	0.8
	1560	1779	14.6	0.8
		<b>Mittelwert</b>	<b>1775</b>	<b>9.2</b>
CBR (m)	1561	1967	16.0	0.9
	1561	1960	16.9	1.0
	1561	1954	16.5	0.9
	1561	1979	11.5	0.7
	1561	1954	10.3	0.6
	1561	1847	12.5	0.7
	1561	1928	19.2	1.1
	1561	1949	20.5	1.2
	1561	1952	20.9	1.2
	1561	1954	28.9	1.7
	1561	1941	31.0	1.8
	1561	1929	26.0	1.5
		<b>Mittelwert</b>	<b>1943</b>	<b>19.2</b>
Proctor (s)	1562	1667	1.1	0.1
	1562	1681	1.0	0.1
	1562	1653	1.1	0.1
	1562	1717	1.8	0.2
	1562	1684	1.6	0.2
	1562	1540	1.8	0.2
	1562	1652	2.7	0.3
	1562	1691	3.0	0.4
	1562	1624	2.0	0.3
	1562	1640	3.0	0.4
	1562	1688	3.8	0.5
	1562	1641	3.4	0.4
		<b>Mittelwert</b>	<b>1657</b>	<b>2.2</b>
Proctor (m)	1563	1715	3.1	0.4
	1563	1708	3.4	0.4
	1563	1702	2.2	0.3
	1563	1717	1.6	0.2
	1563	1721	1.7	0.2
	1563	1728	1.8	0.2
	1563	1732	3.7	0.5
	1563	1727	3.9	0.5
	1563	1728	3.1	0.4
	1563	1717	6.1	0.8
	1563	1741	6.2	0.8
	1563	1742	6.0	0.7
		<b>Mittelwert</b>	<b>1723</b>	<b>3.6</b>

Abb. II.2 Daten zu Abbildung 10.



### III Druckfestigkeitsentwicklung in Abhängigkeit des Prüfkörperalters

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Brechsand : 15 M-%

Probenart	Druckfestigkeit		
	7 d	28 d	1081 d
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez (40 kN)	2.5	3.0	5.1
Duriez (80 kN)	3.0	3.2	4.9
Duriez (100 kN)	3.2	3.4	5.2
Duriez (120 kN)	3.2	3.3	5.2
CBR (s)	0.4	0.5	0.8
CBR (m)	0.9	1.2	1.7
Proctor (s)	0.1	0.3	0.4
Proctor (m)	0.4	0.5	0.8

Abb. III.3 Daten zu Abbildung 12.

## IV Einfluss der Prüfkörperherstellung auf die Wasserempfindlichkeit

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Brechsand : 15 M-%

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		Verhältnis nach /vor Wasserlagerung
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	
Duriez 40 kN	2.8	2020	2.1	2066	
	2.4	2065	2.0	2087	
	2.2	2041	2.0	2036	
<b>Mittelwert</b>	<b>2.5</b>		<b>2.0</b>		<b>0.82</b>
Duriez 80 kN	3.1	2060	2.8	2045	
	3.2	2078	2.6	2089	
	3.0	2055	2.7	2078	
<b>Mittelwert</b>	<b>3.1</b>		<b>2.7</b>		<b>0.87</b>
Duriez 100 kN	3.4	2105	3.3	2109	
	3.2	2100	2.9	2099	
	3.0	2085	2.8	2088	
<b>Mittelwert</b>	<b>3.2</b>		<b>3.0</b>		<b>0.94</b>
Duriez 120 kN	3.2	2120	3.2	2145	
	3.5	2160	3.3	2165	
	3.0	2110	2.9	2115	
<b>Mittelwert</b>	<b>3.2</b>		<b>3.1</b>		<b>0.97</b>
CBR standard	0.4	1759	0.4	1762	
	0.5	1803	0.3	1789	
	0.4	1785	0.3	1780	
<b>Mittelwert</b>	<b>0.4</b>		<b>0.3</b>		<b>0.75</b>
CBR modified	0.9	1967	0.9	1958	
	1.0	1960	0.8	1935	
	0.9	1954	0.6	1983	
<b>Mittelwert</b>	<b>0.9</b>		<b>0.7</b>		<b>0.79</b>
Proctor standard	0.14	1653	0.08	1678	
	0.22	1717	0.11	1667	
	0.13	1684	0.06	1702	
<b>Mittelwert</b>	<b>0.16</b>		<b>0.08</b>		<b>0.51</b>
Proctor modified	0.42	1715	0.30	1678	
	0.44	1708	0.31	1667	
	0.34	1702	0.21	1702	
<b>Mittelwert</b>	<b>0.40</b>		<b>0.27</b>		<b>0.68</b>

Abb. IV.4 Daten zu Abbildung 14.

# V Einfluss der Verdichtungsenergie auf die Wasserempfindlichkeit ITSR

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Brechsand : 15 M-%

PK	L-Nr.	Verdichtung	Abmessung	Raumdicke	Bruchkraft	ITSR <sub>dlw</sub>	ITSR	Temp.	Luftlagerung
			Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[%]	[°C]	
	1380	2*75	101.8	63.8	2007	1.910	0.187	20	<b>7d</b>
	1380	2*75	101.8	64.2	1921	1.930	0.188		
	1380	2*75	101.8	63.7	2016	1.900	0.187		
	<b>Mittelwert</b>			<b>63.9</b>	<b>1981</b>	<b>1.913</b>	<b>0.187</b>		
	nass	2*75	101.8	63.7	2025	1.120	0.110		
	nass	2*75	101.8	64.0	1989	1.130	0.110		
	nass	2*75	101.8	64.0	2018	1.270	0.124		
	<b>Mittelwert</b>			<b>63.9</b>	<b>2011</b>	<b>1.173</b>	<b>0.115</b>		<b>61</b>
	1380	2*75	101.8	64.0	2050	2.350	0.230	20	<b>28d</b>
	1380	2*75	101.8	64.5	2003	2.210	0.214		
	1380	2*75	101.8	63.8	2049	2.340	0.229		
	<b>Mittelwert</b>			<b>64.1</b>	<b>2034</b>	<b>2.300</b>	<b>0.224</b>		
	nass	2*75	101.8	63.8	2009	1.260	0.124		
	nass	2*75	101.8	63.8	2006	1.290	0.126		
	nass	2*75	101.8	63.8	1986	1.350	0.132		
	<b>Mittelwert</b>			<b>63.8</b>	<b>2000</b>	<b>1.300</b>	<b>0.127</b>		<b>57</b>
	1380	2*75	101.8	63.7	1994	3.240	0.318	20	<b>1080d</b>
	1380	2*75	101.8	63.6	2007	2.930	0.288		
	1380	2*75	101.8	63.7	2004	3.440	0.338		
	<b>Mittelwert</b>			<b>63.7</b>	<b>2002</b>	<b>3.203</b>	<b>0.315</b>		
	nass	2*75	101.8	63.6	2005	1.960	0.193		
	nass	2*75	101.8	65.0	1985	2.090	0.201		
	nass	2*75	101.8	64.7	1985	1.980	0.191		
	<b>Mittelwert</b>			<b>64.4</b>	<b>1992</b>	<b>2.010</b>	<b>0.195</b>		<b>62</b>

PK	L-Nr.	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte	Bruchkraft	ITSR <sub>d,w</sub>	ITSR	Temp.	Luftlagerung
			Durchmesser	Höhe	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[°C]	
	1381	2*50	101.8	64.6	1951	1.930	0.187		20	7d
trocken	1381	2*50	101.8	64.2	1957	1.980	0.193			
trocken	1381	2*50	101.8	64.7	1948	1.980	0.191			
<b>Mittelwert</b>				<b>64.5</b>	<b>1952</b>	<b>1.963</b>	<b>0.190</b>			
nass	1381	2*50	101.8	64.6	1961	1.210	0.117			
nass	1381	2*50	101.8	64.2	1969	1.230	0.120			
nass	1381	2*50	101.8	64.3	1949	1.050	0.102			
<b>Mittelwert</b>				<b>64.4</b>	<b>1960</b>	<b>1.163</b>	<b>0.113</b>	<b>59</b>		
<hr/>										
	1381	2*50	101.8	64.0	1946	1.860	0.182		20	28d
trocken	1381	2*50	101.8	64.7	1930	2.040	0.197			
trocken	1381	2*50	101.8	65.1	1926	1.960	0.188			
<b>Mittelwert</b>				<b>64.6</b>	<b>1934</b>	<b>1.953</b>	<b>0.189</b>			
nass	1381	2*50	101.8	64.6	1945	1.010	0.098			
nass	1381	2*50	101.8	64.6	1954	0.950	0.092			
nass	1381	2*50	101.8	64.6	1946	0.980	0.095			
<b>Mittelwert</b>				<b>64.6</b>	<b>1948</b>	<b>0.980</b>	<b>0.095</b>	<b>50</b>		
<hr/>										
	1381	2*50	101.8	64.3	1941	3.020	0.294		20	1079d
trocken	1381	2*50	101.8	64.4	1954	3.100	0.301			
trocken	1381	2*50	101.8	65.8	1892	3.060	0.291			
<b>Mittelwert</b>				<b>64.8</b>	<b>1929</b>	<b>3.060</b>	<b>0.295</b>			
nass	1381	2*50	101.8	65.1	1909	1.730	0.166			
nass	1381	2*50	101.8	64.8	1939	1.420	0.137			
nass	1381	2*50	101.8	65.0	1929	1.650	0.159			
<b>Mittelwert</b>				<b>65.0</b>	<b>1926</b>	<b>1.600</b>	<b>0.154</b>	<b>52</b>		
<hr/>										
	1382	2*25	101.8	67.5	1842	1.260	0.117		20	7d
trocken	1382	2*25	101.8	67.2	1850	1.230	0.114			
trocken	1382	2*25	101.8	67.2	1853	1.360	0.127			
<b>Mittelwert</b>				<b>67.3</b>	<b>1848</b>	<b>1.283</b>	<b>0.119</b>			
nass	1382	2*25	101.8	66.7	1880	0.590	0.055			
nass	1382	2*25	101.8	67.4	1856	0.590	0.055			
nass	1382	2*25	101.8	67.4	1880	0.560	0.052			
<b>Mittelwert</b>				<b>67.2</b>	<b>1872</b>	<b>0.580</b>	<b>0.054</b>	<b>45</b>		

PK	L-Nr.	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte	Bruchkraft	ITSR <sub>d/w</sub>	ITSR	Temp.	Luftlagerung
			Durchmesser	Höhe	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[°C]	
			[mm]	[mm]						
trocken	1382	2*25	101.8	67.5	1830	1.350	0.125		20	28d
trocken	1382	2*25	101.8	66.9	1842	1.370	0.128			
trocken	1382	2*25	101.8	67.2	1852	1.320	0.123			
<b>Mittelwert</b>				<b>67.2</b>	<b>1841</b>	<b>1.347</b>	<b>0.125</b>			
nass	1382	2*25	101.8	67.2	1835	0.650	0.060			
nass	1382	2*25	101.8	67.1	1844	0.580	0.054			
nass	1382	2*25	101.8	67.1	1851	0.560	0.052			
<b>Mittelwert</b>				<b>67.1</b>	<b>1843</b>	<b>0.597</b>	<b>0.056</b>	<b>44</b>		
<hr/>										
trocken	1382	2*25	101.8	68.1	1807	1.960	0.180		20	1078d
trocken	1382	2*25	101.8	67.9	1821	1.870	0.172			
trocken	1382	2*25	101.8	67.1	1849	1.950	0.182			
<b>Mittelwert</b>				<b>67.7</b>	<b>1826</b>	<b>1.927</b>	<b>0.178</b>			
nass	1382	2*25	101.8	66.9	1846	0.950	0.089			
nass	1382	2*25	101.8	67.1	1851	0.890	0.083			
nass	1382	2*25	101.8	67.2	1852	0.840	0.078			
<b>Mittelwert</b>				<b>67.1</b>	<b>1850</b>	<b>0.893</b>	<b>0.083</b>	<b>47</b>		

Abb. V.5 Daten zu Abbildung 15.

## VI Einfluss der Prüftemperatur auf die Druckfestigkeit

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Brechsand : 15 M-%  
 Prüfalter : 7 Tage Luft

Probenart	L-Nr.	Temperatur °C	Raumdichte trocken [kg/m <sup>3</sup> ]	Druckfestigkeit	
				[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez (100 kN)	1558	20	2105	37.4	3.3
	1558	20	2100	36.5	3.2
	1558	20	2085	34.1	3.0
	1558	20	2120	37.3	3.3
	1558	20	2110	37.9	3.4
	1558	20	2110	36.4	3.2
		<b>Mittelwert</b>		<b>2105</b>	<b>36.6</b>
Duriez (100 kN)	1600	15	2131	38.6	3.4
	1600	15	2170	38.0	3.4
	1600	15	2109	41.9	3.7
	1600	15	2103	37.6	3.3
	1600	15	2094	39.4	3.5
	1600	15	2156	40.9	3.6
		<b>Mittelwert</b>		<b>2127</b>	<b>39.4</b>
Duriez (100 kN)	1601	25	2131	31.5	2.8
	1601	25	2170	35.6	3.1
	1601	25	2109	36.0	3.2
	1601	25	2103	32.5	2.9
	1601	25	2094	32.4	2.9
	1601	25	2156	36.1	3.2
		<b>Mittelwert</b>		<b>2127</b>	<b>34.0</b>

Abb. VI.6 Daten zu Abbildung 16.

## VII Einfluss der Prüftemperatur auf die Spaltzugfestigkeit

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Brechsand : 15 M-%  
 Prüfkörper : Marshall 50\*50  
 Lagerung : 7 Tage Luft

L-Nr.	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte	Bruchkraft	Spaltzugfestigkeit	Temp.
		Durchmesser	Höhe				
		[mm]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[°C]
1602	2*50	101.8	64.6	1907	4.48	0.43	5
1602	2*50	101.8	64.9	1890	4.30	0.41	5
1602	2*50	101.8	64.2	1971	5.05	0.49	5
1602	2*50	101.8	64.5	1914	5.45	0.53	5
1602	2*50	101.8	64.1	1978	4.95	0.48	5
	<b>Mittelwert</b>		<b>64.5</b>	<b>1932</b>	<b>4.85</b>	<b>0.47</b>	
1602	2*50	101.8	64.1	1980	3.50	0.34	15
1602	2*50	101.8	64.5	1910	3.15	0.31	15
1602	2*50	101.8	64.6	1905	3.39	0.33	15
1602	2*50	101.8	64.2	1975	2.98	0.29	15
1602	2*50	101.8	64.5	1927	3.05	0.30	15
	<b>Mittelwert</b>		<b>64.4</b>	<b>1939</b>	<b>3.21</b>	<b>0.31</b>	
1602	2*50	101.8	64.3	1941	2.78	0.27	20
1602	2*50	101.8	64.7	1901	2.15	0.21	20
1602	2*50	101.8	64.0	1980	2.89	0.28	20
1602	2*50	101.8	64.7	1912	2.50	0.24	20
1602	2*50	101.8	64.3	1942	2.65	0.26	20
	<b>Mittelwert</b>		<b>64.4</b>	<b>1935</b>	<b>2.59</b>	<b>0.25</b>	
1602	2*50	101.8	64.6	1912	1.95	0.19	25
1602	2*50	101.8	64.0	1978	2.25	0.22	25
1602	2*50	101.8	64.6	1951	1.80	0.17	25
1602	2*50	101.8	64.4	1943	2.20	0.21	25
1602	2*50	101.8	64.2	1971	2.09	0.20	25
	<b>Mittelwert</b>		<b>64.4</b>	<b>1951</b>	<b>2.06</b>	<b>0.20</b>	

Abb. VII.7 Daten zu Abbildung 17.

## VIII Einfluss von Brechsandzugabe auf die Raumdichte und die Druckfestigkeit

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Prüffalter : 7 Tage Luft

Probenart	L-Nr.	Brechsand	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit	
		M-%	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez (100 kN)	1519	15	2140	40.1	3.5
	1519	15	2084	35.2	3.1
	1519	15	2056	35.2	3.1
	1519	15	2145	38.6	3.4
	1519	15	2125	37.5	3.3
	1519	15	2115	39.5	3.5
			<b>Mittelwert</b>	<b>2111</b>	
Duriez (100 kN)	1520	0	2143	34.8	3.1
	1520	0	2195	36.5	3.2
	1520	0	2208	38.6	3.4
	1520	0	2179	38.9	3.4
	1520	0	2219	39.5	3.5
			<b>Mittelwert</b>	<b>2189</b>	

Abb. VIII.8 Daten zu Abbildung 18.



## IX Einfluss der Bindemittelzugabe auf die Festigkeit und die Wasserempfindlichkeit

### Kaltmischgut

Bindemittel :	Schaumbitumen
Dosierung :	3.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	1.0 M-% Doroport TB N
Brechsand :	15 M-%
Wassergehalt :	5.6 M-%

Prüfalter /Lagerung :	7 Tage Luft			
Probenart	L-Nr.	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit	
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez (100 kN)	1558	2105	37.5	3.3
	1558	2100	36.5	3.2
	1558	2110	37.9	3.4
<b>Mittelwert</b>				<b>3.3</b>

Prüfalter /Lagerung :	7 Tage Luft / 7 Tage Wasser			
Probenart	L-Nr.	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit	
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez (100 kN)	1558	2105	32.4	2.9
	1558	2021	34.9	3.1
	1558	2095	30.8	2.7
<b>Mittelwert</b>				<b>2.9</b>

Verhältnis nach / vor Wasserlagerung : 0.88

### Asphaltgranulat

Bindemittel :	keines
Dosierung :	-
Hydraulischer Zusatz :	-
Brechsand :	-
Wassergehalt :	3.2 M-%

Prüfalter /Lagerung :	7 Tage Luft			
Probenart	L-Nr.	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit	
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez (100 kN)	1465	2010	33.2	2.9
	1465	1986	30.5	2.7
	1465	1955	27.5	2.4
<b>Mittelwert</b>				<b>2.7</b>

Prüfalter /Lagerung :	7 Tage Luft / 7 Tage Wasser			
Probenart	L-Nr.	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit	
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez (100 kN)	1465	1968	13.5	1.2
	1465	1986	18.0	1.6
	1465	1994	12.5	1.1
<b>Mittelwert</b>				<b>1.3</b>

Verhältnis nach / vor Wasserlagerung : 0.48

Abb. IX.9 Daten zu Abbildung 19 und Abbildung 20.

## X Einfluss der Raumdichte auf die Spaltzugfestigkeit

Bindemittel : Emulsion Webacid Recycling C60  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% CEM II/A-LL42.5N  
 Brechsand : 15 M-%  
 Prüfkörper : Duriez  
 Lagerung : 7 Tage Luft

Labor-Nr.	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte	Bruchkraft	Spaltzug- festigkeit	Prüf- temperatur
		Durchmesser	Höhe				
		[mm]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[°C]
1631	100 kN	120	127.7	2125	10.10	0.42	20
1631	100 kN	120	127.5	2131	8.83	0.37	20
1631	100 kN	120	126.1	2270	11.20	0.47	20
1631	100 kN	120	126.7	2179	10.05	0.42	20
1631	100 kN	120	126.5	2191	7.74	0.32	20
			<b>Mittelwert</b>	<b>2179</b>	<b>9.58</b>	<b>0.40</b>	
1632	80 kN	120	129.4	2110	9.52	0.39	20
1632	80 kN	120	129.9	2090	7.54	0.31	20
1632	80 kN	120	128.2	2133	8.30	0.34	20
1632	80 kN	120	128.7	2119	10.09	0.42	20
1632	80 kN	120	128.4	2127	8.02	0.33	20
			<b>Mittelwert</b>	<b>2116</b>	<b>8.69</b>	<b>0.36</b>	
1633	40 kN	120	132.1	2010	5.21	0.21	20
1633	40 kN	120	131.4	2082	6.65	0.27	20
1633	40 kN	120	131.0	2114	5.25	0.21	20
1633	40 kN	120	131.7	2057	7.09	0.29	20
1633	40 kN	120	131.9	2031	6.05	0.24	20
			<b>Mittelwert</b>	<b>2059</b>	<b>6.05</b>	<b>0.24</b>	
1631	100 kN	120	127.7	2145	25.30	1.05	5
1631	100 kN	120	127.5	2163	29.50	1.23	5
1631	100 kN	120	126.1	2201	26.80	1.13	5
1631	100 kN	120	126.7	2179	24.60	1.03	5
1631	100 kN	120	126.5	2196	30.90	1.30	5
			<b>Mittelwert</b>	<b>2177</b>	<b>27.42</b>	<b>1.15</b>	
1632	80 kN	120	129.4	2109	21.50	0.88	5
1632	80 kN	120	129.9	2095	22.90	0.94	5
1632	80 kN	120	128.2	2086	25.90	1.07	5
1632	80 kN	120	128.7	2119	24.80	1.02	5
1632	80 kN	120	128.4	2127	24.30	1.00	5
			<b>Mittelwert</b>	<b>2107</b>	<b>23.88</b>	<b>0.98</b>	
1633	40 kN	120	132.1	2006	18.60	0.75	5
1633	40 kN	120	131.4	2045	15.70	0.63	5
1633	40 kN	120	131.0	2094	16.20	0.66	5
1633	40 kN	120	131.7	2066	19.50	0.79	5
1633	40 kN	120	131.9	2109	18.90	0.76	5
			<b>Mittelwert</b>	<b>2064</b>	<b>17.78</b>	<b>0.72</b>	

Abb. X.10 Daten zu Abbildung 21.

## XI Einfluss der Raumdichte auf die 7-Tage-Druckfestigkeit

Bindemittel : Emulsion Webacid Recycling C60  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% CEM II/A-LL42.5N  
 Brechsand : 15 M-%  
 Prüfalter : 7 Tage Luft, 7 Tage Luft + 7 Tage Wasser, 28 Tage Luft

Probenart	L-Nr.	Prüfalter	Raumdichte trocken		Druckfestigkeit	
			d	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez (100 kN)	1631	7 L		2140	51.2	4.5
	1631	7 L		2210	52.3	4.6
	1631	7 L		2201	51.2	4.5
	1631	7 L		2167	48.2	4.3
	1631	7 L		2180	49.5	4.4
				<b>Mittelwert</b>	<b>2180</b>	<b>50.5</b>
Duriez (80 kN)	1632	7 L		2110	46.2	4.1
	1632	7 L		2147	43.9	3.9
	1632	7 L		2101	49.4	4.4
	1632	7 L		2094	47.5	4.2
	1632	7 L		2112	47.0	4.2
				<b>Mittelwert</b>	<b>2113</b>	<b>46.8</b>
Duriez (40 kN)	1633	7 L		2050	35.2	3.1
	1633	7 L		2081	38.2	3.4
	1633	7 L		2031	33.2	2.9
	1633	7 L		2044	34.0	3.0
	1633	7 L		2012	35.5	3.1
				<b>Mittelwert</b>	<b>2044</b>	<b>35.2</b>
Duriez (100 kN)	1631	7 L + 7 W		2200	48.5	4.3
	1631	7 L + 7 W		2165	50.3	4.4
	1631	7 L + 7 W		2241	47.5	4.2
	1631	7 L + 7 W		2148	48.9	4.3
	1631	7 L + 7 W		2098	49.5	4.4
				<b>Mittelwert</b>	<b>2170</b>	<b>48.9</b>
Duriez (80 kN)	1632	7 L + 7 W		2105	42.5	3.8
	1632	7 L + 7 W		2156	42.8	3.8
	1632	7 L + 7 W		2145	44.6	3.9
	1632	7 L + 7 W		2100	40.6	3.6
	1632	7 L + 7 W		2109	47.8	4.2
				<b>Mittelwert</b>	<b>2123</b>	<b>43.7</b>
Duriez (40 kN)	1633	7 L + 7 W		2021	31.5	2.8
	1633	7 L + 7 W		2085	29.7	2.6
	1633	7 L + 7 W		2045	32.9	2.9
	1633	7 L + 7 W		2063	31.2	2.8
	1633	7 L + 7 W		2089	30.5	2.7
				<b>Mittelwert</b>	<b>2061</b>	<b>31.2</b>

Probenart	L-Nr.	Prüfalter	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit	
			d	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez (100 kN)	1631	28 L	2197	55.9	4.9
	1631	28 L	2204	57.8	5.1
	1631	28 L	2183	53.6	4.7
	1631	28 L	2225	54.6	4.8
	1631	28 L	2187	56.0	5.0
			<b>Mittelwert</b>	<b>2199</b>	<b>55.6</b>
Duriez (80 kN)	1632	28 L	2085	52.1	4.6
	1632	28 L	2112	55.3	4.9
	1632	28 L	2145	51.6	4.6
	1632	28 L	2087	56.3	5.0
	1632	28 L	2104	49.5	4.4
			<b>Mittelwert</b>	<b>2107</b>	<b>53.0</b>
Duriez (40 kN)	1633	28 L	2068	37.8	3.3
	1633	28 L	2043	40.6	3.6
	1633	28 L	2090	41.2	3.6
	1633	28 L	2012	42.3	3.7
	1633	28 L	2056	35.9	3.2
			<b>Mittelwert</b>	<b>2054</b>	<b>39.6</b>

Abb. XI.11 Daten zu Abbildung 22 bis Abbildung 25.

## XII Einfluss der Prüftemperatur auf die Spaltzugfestigkeit

Bindemittel : Emulsion Webacid Recycling C60  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% CEM II/A-LL42.5N  
 Brechsand : 15 M-%  
 Prüfkörper : Duriez  
 Lagerung : 7 Tage Luft

L-Nr.	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte	Bruchkraft	Spaltzugfestigkeit
		Durchmesser	Höhe			
		[mm]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1631	100 kN	120	127.7	2125	10.10	0.42
1631	100 kN	120	127.5	2131	8.83	0.37
1631	100 kN	120	126.1	2270	11.20	0.47
1631	100 kN	120	126.7	2179	10.05	0.42
1631	100 kN	120	126.5	2191	7.74	0.32
			<b>Mittelwert</b>	<b>2179</b>	<b>9.58</b>	<b>0.40</b>
1602	80 kN	120	129.4	2110	9.52	0.39
1602	80 kN	120	129.9	2090	7.54	0.31
1602	80 kN	120	128.2	2133	8.30	0.34
1602	80 kN	120	128.7	2119	10.09	0.42
1602	80 kN	120	128.4	2127	8.02	0.33
			<b>Mittelwert</b>	<b>2116</b>	<b>8.69</b>	<b>0.36</b>
1602	40 kN	120	132.1	2010	5.21	0.21
1602	40 kN	120	131.4	2082	6.65	0.27
1602	40 kN	120	131.0	2114	5.25	0.21
1602	40 kN	120	131.7	2057	7.09	0.29
1602	40 kN	120	131.9	2031	6.05	0.24
			<b>Mittelwert</b>	<b>2059</b>	<b>6.05</b>	<b>0.24</b>

Abb. XII.12 Daten zu Abbildung 26.

## XIII Einfluss des hydraulischen Bindemittels

Bindemittel : Emulsion Webacid Recycling C60  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : CEM II/A-LL42.5N  
 Brechsand : 15 M-%  
 Prüfalter : 7 Tage Luft

Probenart	L-Nr.	Prüfalter	Raumdichte	Druckfestigkeit		Hydraulischer
			trocken	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	Zusatz
		[d]	[kg/m <sup>3</sup> ]			[M-%]
Duriez (100 kN)	1631	7 L	2140	51.2	4.5	1
	1631	7 L	2210	52.3	4.6	1
	1631	7 L	2201	51.2	4.5	1
	1631	7 L	2167	48.2	4.3	1
	1631	7 L	2180	49.5	4.4	1
	<b>Mittelwert</b>		<b>2180</b>	<b>50.5</b>	<b>4.5</b>	
Duriez (80 kN)	1632	7 L	2110	46.2	4.1	1
	1632	7 L	2147	43.9	3.9	1
	1632	7 L	2101	49.4	4.4	1
	1632	7 L	2094	47.5	4.2	1
	1632	7 L	2112	47.0	4.2	1
	<b>Mittelwert</b>		<b>2113</b>	<b>46.8</b>	<b>4.1</b>	
Duriez (40 kN)	1633	7 L	2050	35.2	3.1	1
	1633	7 L	2081	38.2	3.4	1
	1633	7 L	2031	33.2	2.9	1
	1633	7 L	2044	34.0	3.0	1
	1633	7 L	2012	35.5	3.1	1
	<b>Mittelwert</b>		<b>2044</b>	<b>35.2</b>	<b>3.1</b>	
Duriez (100 kN)	1631	7 L	2185	38.7	3.4	0
	1631	7 L	2132	37.6	3.3	0
	1631	7 L	2165	40.8	3.6	0
	1631	7 L	2105	41.8	3.7	0
	1631	7 L	2136	40.2	3.6	0
	<b>Mittelwert</b>		<b>2145</b>	<b>39.8</b>	<b>3.5</b>	
Duriez (80 kN)	1632	7 L	2091	37.8	3.3	0
	1632	7 L	2086	35.4	3.1	0
	1632	7 L	2145	39.5	3.5	0
	1632	7 L	2106	34.6	3.1	0
	1632	7 L	2115	37.2	3.3	0
	<b>Mittelwert</b>		<b>2109</b>	<b>36.9</b>	<b>3.3</b>	
Duriez (40 kN)	1633	7 L	2045	24.2	2.1	0
	1633	7 L	2053	26.8	2.4	0
	1633	7 L	2067	23.2	2.1	0
	1633	7 L	2085	24.6	2.2	0
	1633	7 L	2043	23.6	2.1	0
	<b>Mittelwert</b>		<b>2059</b>	<b>24.5</b>	<b>2.2</b>	

Abb. XIII.13 Daten zu Abbildung 27.

## XIV Einfluss des Brechsandes und des Emulsionsgehaltes auf die Druckfestigkeit und die Wasserempfindlichkeit

### Mischung 1

Bindemittel :	Emulsion Webacid Recycling C60
Dosierung Emulsion :	2.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	1.5 M-%
Brechsand :	15 M-%
Labor -Nr.	1635

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		Verhältnis nach /vor Wasserlagerung
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	
Duriez 100 kN	3.8	2189	3.3	2198	
Duriez 100 kN	4.1	2162	3.3	2182	
Duriez 100 kN	4.1	2202	3.5	2183	
<b>Mittelwert</b>	<b>4.0</b>	<b>2184</b>	<b>3.3</b>	<b>2188</b>	<b>0.83</b>

### Mischung 2

Bindemittel :	Emulsion Webacid Recycling C60
Dosierung Emulsion :	3.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	1.5 M-%
Brechsand :	15 M-%
Labor -Nr.	1636

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		Verhältnis nach /vor Wasserlagerung
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	
Duriez 100 kN	3.5	2159	3.5	2173	
Duriez 100 kN	3.8	2185	3.4	2170	
Duriez 100 kN	3.8	2189	3.5	2198	
<b>Mittelwert</b>	<b>3.7</b>	<b>2178</b>	<b>3.5</b>	<b>2180</b>	<b>0.94</b>

**Mischung 3**

Bindemittel :	Emulsion Webacid Recycling C60
Dosierung Emulsion :	4.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	1.5 M-%
Brechsand :	15 M-%
Labor -Nr.	1637

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		Verhältnis nach /vor Wasserlagerung
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	
	Duriez 100 kN	3.6	2175	3.4	
Duriez 100 kN	3.2	2143	3.1	2155	
Duriez 100 kN	3.4	2145	3.4	2153	
<b>Mittelwert</b>	<b>3.4</b>	<b>2154</b>	<b>3.3</b>	<b>2151</b>	<b>0.97</b>

**Mischung 4**

Bindemittel :	Emulsion Webacid Recycling C60
Dosierung Emulsion :	4.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	2.0 M-%
Brechsand :	15 M-%
Labor -Nr.	1638

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		Verhältnis nach /vor Wasserlagerung
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	
	Duriez 100 kN	4.2	2145	3.9	
Duriez 100 kN	4.0	2155	3.6	2154	
Duriez 100 kN	3.8	2178	3.8	2160	
<b>Mittelwert</b>	<b>4.0</b>	<b>2159</b>	<b>3.8</b>	<b>2159</b>	<b>0.93</b>

**Mischung 5**

Bindemittel :	Emulsion Webacid Recycling C60
Dosierung Emulsion :	3.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	1.5 M-%
Brechsand :	20 M-%
Labor -Nr.	1639

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		Verhältnis nach /vor Wasserlagerung
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	
	Duriez 100 kN	3.5	2105	3.2	
Duriez 100 kN	3.7	2136	3.2	2120	
Duriez 100 kN	3.9	2095	3.2	2100	
<b>Mittelwert</b>	<b>3.7</b>	<b>2112</b>	<b>3.2</b>	<b>2111</b>	<b>0.89</b>

Abb. XIV.14 Daten zu Abbildung 28 und Abbildung 29.



## XV Einfluss des Ausgangsmaterials und der Bindemitteldosierungen

### Mischung I

Bindemittel :	Vialit RE 60 Z
Dosierung Emulsion :	2.0 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	2.0 M-%
Brechsand :	0 M-%
Asphaltgranulat :	96 M-%
Labor -Nr.	8801

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		nach / vor Wasser- lagerung	28 Tage Luftlagerung	
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]		N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]
Duriez 100 kN	4.7	2287	4.3	2256		5.2	2264
Duriez 100 kN	4.5	2264	4.3	2295		5.7	2275
Duriez 100 kN	4.9	2294	4.5	2291		5.4	2296
<b>Mittelwert</b>	<b>4.7</b>	<b>2282</b>	<b>4.4</b>	<b>2281</b>	<b>0.93</b>	<b>5.4</b>	<b>2278</b>

### Mischung II

Bindemittel :	Vialit RE 60 Z
Dosierung Emulsion :	2.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	1.0 M-%
Brechsand :	0 M-%
Asphaltgranulat :	96 M-%
Labor -Nr.	8804

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		nach / vor Wasser- lagerung	28 Tage Luftlagerung	
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]		N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]
Duriez 100 kN	4.5	2270	4.0	2268		5.2	2265
Duriez 100 kN	4.3	2276	4.2	2278		5.1	2262
Duriez 100 kN	4.4	2275	4.2	2274		5.2	2274
<b>Mittelwert</b>	<b>4.4</b>	<b>2274</b>	<b>4.1</b>	<b>2273</b>	<b>0.94</b>	<b>5.2</b>	<b>2267</b>

**Mischung III**

Bindemittel :	Vialit RE 60 Z
Dosierung Emulsion :	1.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	1.5 M-%
Brechsand :	0 M-%
Asphaltgranulat :	97 M-%
Labor -Nr.	8807

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		nach /vor Wasser- lagerung	28 Tage Luftlagerung	
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]		N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]
Duriez 100 kN	4.4	2257	3.8	2266		5.1	2264
Duriez 100 kN	4.3	2247	3.8	2254		4.9	2258
Duriez 100 kN	4.4	2249	4.0	2258		5.1	2258
<b>Mittelwert</b>	<b>4.4</b>	<b>2251</b>	<b>3.9</b>	<b>2259</b>	<b>0.89</b>	<b>5.0</b>	<b>2260</b>

**Mischung IV**

Bindemittel :	Vialit RE 60 Z
Dosierung Emulsion :	4.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	2.5 M-%
Brechsand :	0 M-%
Asphaltgranulat :	47 M-%
Kiesgemisch :	47 M-%
Labor -Nr.	8810

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		nach /vor Wasser- lagerung	28 Tage Luftlagerung	
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]		N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]
Duriez 100 kN	4.9	2275	5.1	2278		6.8	2278
Duriez 100 kN	5.2	2274	5.0	2274		6.7	2270
Duriez 100 kN	5.0	2270	5.0	2272		6.7	2274
<b>Mittelwert</b>	<b>5.0</b>	<b>2273</b>	<b>5.0</b>	<b>2275</b>	<b>1.00</b>	<b>6.7</b>	<b>2274</b>

**Mischung V**

Bindemittel :	Vialit RE 60 Z
Dosierung Emulsion :	4.0 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	2.0 M-%
Brechsand :	0 M-%
Asphaltgranulat :	47 M-%
Kiesgemisch :	47 M-%
Labor -Nr.	8813

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		nach /vor Wasser- lagerung	28 Tage Luftlagerung	
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]		N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]
Duriez 100 kN	4.4	2294	3.9	2284		5.0	2287
Duriez 100 kN	4.3	2289	3.9	2294		5.1	2288
Duriez 100 kN	4.2	2290	4.0	2295		5.1	2284
<b>Mittelwert</b>	<b>4.3</b>	<b>2291</b>	<b>3.9</b>	<b>2291</b>	<b>0.91</b>	<b>5.1</b>	<b>2286</b>

**Mischung VI**

Bindemittel :	Vialit RE 60 Z
Dosierung Emulsion :	3.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	CEM II/A-LL42.5N
Dosierung Hydr. Zusatz :	2.0 M-%
Brechsand :	0 M-%
Asphaltgranulat :	47 M-%
Kiesgemisch :	47 M-%
Labor -Nr.	8816

Prüfkörper	7 Tage Luftlagerung		7 Tage Luft- und 7 Tage Wasserlagerung		nach /vor Wasser- lagerung	28 Tage Luftlagerung	
	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]	N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]		N/mm <sup>2</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]
Duriez 100 kN	3.6	2286	3.2	2283		4.0	2294
Duriez 100 kN	3.6	2296	3.3	2287		4.4	2285
Duriez 100 kN	3.6	2284	3.3	2282		4.2	2284
<b>Mittelwert</b>	<b>3.6</b>	<b>2289</b>	<b>3.3</b>	<b>2284</b>	<b>0.91</b>	<b>4.2</b>	<b>2288</b>

Abb. XV.15 Daten zu Abbildung 30.

## XVI Vergleich AC F - KMF

### KMF

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Lagerung : Luft, 7 Tage  
 Prüftemperatur : 20 °C  
 Brechsand : 15 M-%  
 L-Nr.: 1385

Probe- körper	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte	Bruchkraft	Spaltzug- festigkeit
		Durchmesser	Höhe			
		[mm]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Marshall	2*50	101.8	63.7	1941	2.75	0.27
	2*50	101.8	64.7	1901	2.20	0.21
	2*50	101.8	63.4	1980	2.84	0.28
	2*50	101.8	64.0	1912	2.41	0.24
	2*50	101.8	63.7	1942	2.65	0.26
<b>Mittelwert :</b>				<b>1935</b>	<b>2.57</b>	<b>0.25</b>

### KMF

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Lagerung : Luft, 7 Tage  
 Prüftemperatur : 20 °C  
 Brechsand : 15 M-%  
 L-Nr.: 1631

Probe- körper	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte	Bruchkraft	Spaltzug- festigkeit
		Durchmesser	Höhe			
		[mm]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Duriez	100 kN	120	127.7	2125	10.10	0.42
	100 kN	120	127.5	2131	8.83	0.37
	100 kN	120	126.1	2270	11.20	0.47
	100 kN	120	126.7	2179	10.05	0.42
	100 kN	120	126.5	2191	7.74	0.32
<b>Mittelwert :</b>				<b>2179</b>	<b>9.58</b>	<b>0.40</b>

**AC F**

Bindemittel : Bitumen 70/100

Dosierung : 3.6 M-%

Hydraulischer Zusatz : -

Lagerung : Luft, 7 Tage

Prüftemperatur : 20 °C

Brechsand : -

L-Nr.: 1070

Probe- körper	Verdichtung	Abmessung Durchmesser	Höhe	Raumdicthe [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruchkraft [kN]	Spaltzug- festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
		[mm]	[mm]			
Marshall	2*50	101.8	62.0	2323	10.42	1.05
	2*50	101.8	62.8	2292	8.69	0.87
	2*50	101.8	62.4	2304	10.95	1.10
	2*50	101.8	62.0	2326	10.68	1.08
	2*50	101.8	62.2	2310	11.10	1.12
			<b>Mittelwert :</b>	<b>2311</b>	<b>10.37</b>	<b>1.04</b>

Abb. XVI.16 Daten zu Abbildung 31.

## XVII Vergleich AC F – KMF, Wasserempfindlichkeit

### KMF

Bindemittel :	Schaumbitumen
Dosierung :	3.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	1.0 M-% Doroport TB N
Lagerung :	Luft, 7 Tage
Prüfkörper :	Marshall
Prüftemperatur :	20 °C
Brechsand :	15 M-%
L-Nr.:	1385

PK	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruchkraft [kN]	ITSR <sub>d/w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ITSR [%]	Temp. [°C]
		Durchmesser [mm]	Höhe [mm]					
trocken	2*50	101.8	63.7	1941	2.75	0.27		20
	nass	2*50	101.8	1918	1.45	0.14	52	
			<b>MW</b>	<b>1930</b>				
trocken	2*50	101.8	64.7	1901	2.20	0.21		20
	nass	2*50	101.8	1920	1.03	0.10	47	
			<b>MW</b>	<b>1911</b>				
trocken	2*50	101.8	63.4	1980	2.84	0.28		20
	nass	2*50	101.8	1923	1.69	0.16	59	
			<b>MW</b>	<b>1952</b>				
trocken	2*50	101.8	64.0	1912	2.41	0.24		20
	nass	2*50	101.8	1892	1.16	0.11	48	
			<b>MW</b>	<b>1902</b>				
trocken	2*50	101.8	63.7	1942	2.65	0.26		20
	nass	2*50	101.8	1995	1.32	0.13	51	
			<b>MW</b>	<b>1969</b>				

**AC F**

Bindemittel : Bitumen 70/100  
 Dosierung : 3.6 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : -  
 Lagerung : Luft, 7 Tage  
 Prüfkörper : Marshall  
 Prüftemperatur : 20 °C  
 Brechsand : -  
 L-Nr.: 1070

PK	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruchkraft [kN]	ITSR <sub>d/w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ITSR [%]	Temp. [°C]
		Durchmesser [mm]	Höhe [mm]					
trocken	2*50	101.8	62.0	2323	10.42	1.05		20
nass	2*50	101.8	64.2	2260	10.41	1.01	96	
<b>MW</b>				<b>2292</b>				
trocken	2*50	101.8	62.8	2292	8.69	0.87		20
nass	2*50	101.8	62.5	2310	8.12	0.81	94	
<b>MW</b>				<b>2301</b>				
trocken	2*50	101.8	62.4	2304	10.95	1.10		20
nass	2*50	101.8	62.0	2345	10.65	1.07	98	
<b>MW</b>				<b>2325</b>				
trocken	2*50	101.8	62.0	2326	10.68	1.08		20
nass	2*50	101.8	63.4	2300	10.05	0.99	92	
<b>MW</b>				<b>2313</b>				
trocken	2*50	101.8	62.2	2310	11.10	1.12		20
nass	2*50	101.8	62.0	2323	10.51	1.06	95	
<b>MW</b>				<b>2317</b>				

**KMF**

Bindemittel :	Schaumbitumen
Dosierung :	3.5 M-%
Hydraulischer Zusatz :	1.0 M-% Doroport TB N
Lagerung :	Luft, 7 Tage
Prüfkörper :	Duriez
Prüftemperatur :	20 °C
Brechsand :	15 M-%
L-Nr.:	1631

PK	Verdichtung	Abmessung		Raumdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruchkraft [kN]	ITSR <sub>d/w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ITSR [%]	Temp. [°C]
		Durchmesser [mm]	Höhe [mm]					
trocken	100 kN	120	127.7	2125	10.10	0.42		20
nass	100 kN	120	126.8	2102	6.23	0.26	62	
<b>MW</b>				<b>2114</b>				
trocken	100 kN	120	127.5	2131	8.83	0.37		20
nass	100 kN	120	127.2	2154	6.25	0.26	71	
<b>MW</b>				<b>2143</b>				
trocken	100 kN	120	126.1	2270	11.20	0.47		20
nass	100 kN	120	126.7	2248	8.55	0.36	76	
<b>MW</b>				<b>2259</b>				
trocken	100 kN	120	126.7	2179	10.05	0.42		20
nass	100 kN	120	126.9	2151	7.32	0.31	73	
<b>MW</b>				<b>2165</b>				
trocken	100 kN	120	126.5	2191	7.74	0.32		20
nass	100 kN	120	126.9	2154	4.95	0.21	64	
<b>MW</b>				<b>2173</b>				

Abb. XVII.17 Daten zu Abbildung 32.



# XVIII Verformungskurven AC F



## Prüfbericht : Mischgutuntersuchung

Hinweis : Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die aufgeführten Prüfgegenstände.

Objekt: **FA 2002/401**

Auftraggeber: **ASTRA**

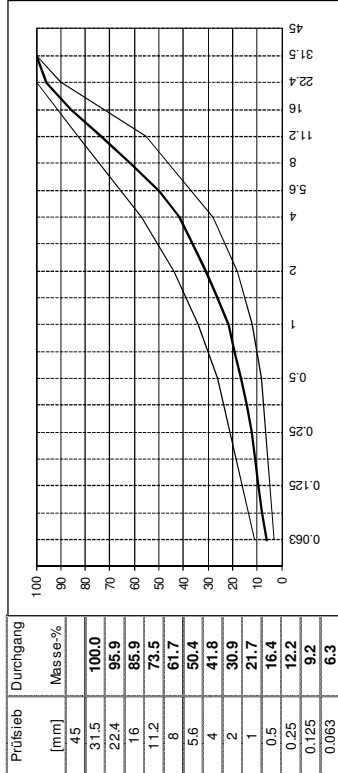
Auftrag-Nr.: **2514-08**  
 Labor-Nr.: **7611**

Probe: **AC F 22**  
 Aufbereitungsanlage: **Implenia, Beringen**  
 Lieterschein-Nr.: **1689**  
 Entnahmeort: **km 82.700 / NS**  
 Unternehmer: **ARGE N4plus**  
 Probenahme durch: **Consultest AG**  
 Probenahme Datum / Zeit: **18.09.2008 / 14.15 h**  
 Mischguttemperatur: **162 °C**  
 Probeeingang: **18.09.2008**  
 Prüfdatum: **19.09.2008**

**Bindemittel** Art / Sorte: **160/220** Dosisierung: - lösl. Anteil: **3.94** Masse-%  
 EN 12697-1

**Zusätze** Art / Menge: **RM 60 M-%**

### Korngrößenverteilung **AC F 22**



**Marshall-Versuch** Verdichtungstemperatur: **135 °C**  
 Raumdicke EN 12697-6 **2'398** kg/m<sup>3</sup>  
 Rohdicke EN 12697-5 **2'529** kg/m<sup>3</sup>  
 Hohlraumgehalt EN 12697-8 **5.2** Vol.-%  
 HM-Füllungsgrad EN 12697-8 **64** %  
 Stabilität **S** kN  
 Fließen **F** mm  
 EN 12697-34

### Eigenschaften des rückgewonnenen Bindemittels

Erweichungspunkt R. u. K. **60.0** °C  
 EN 1427  
 Penetration bei 25 °C **34** 1/10 mm  
 EN 1426  
 Penetrationsindex PI **0.1**  
 EN 12591

Bemerkungen: -



## Einaxialer Druckschwellversuch (TP A-SIB)

pEN 12697-25 / SN 640 431-1aNA / TP A-SIB

Hinweis : Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die aufgeführten Prüfgegenstände.

Objekt: **FA 2002/401**

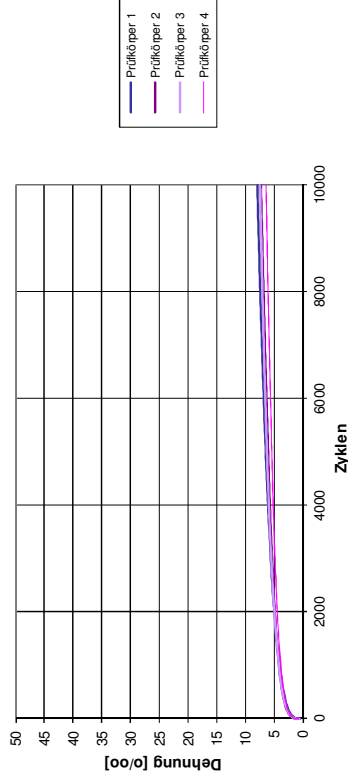
Auftraggeber: **ASTRA**

Auftrag-Nr.: **2594-08**  
 Labor-Nr.: **7611**

Mischgutsorte/-typ: **AC F 22**  
 Bindemittel: **160/220**  
 Zusätze: **RM 60 M-%**  
 Aufbereitungsanlage: **Implenia, Beringen**  
 Unternehmer: **ARGE N4plus**  
 Probenahme durch: **Consultest AG**  
 Probenahme Datum / Zeit: **18.09.2008 / 14.15**  
 Mischguttemperatur: **162 °C**  
 Entnahmeort: **km 82.700 / NS**  
 Probeeingang: **18.09.2008**

**Prüfparameter**  
 Prüfkörperart: **Gyrator**  
 Belastung: **Haversine**  
 Belastungsart: **0.025 MPa**  
 Anzahl Zyklen: **10000**  
 Prüftemperatur: **50 °C**  
 Oberspannung: **0.200 MPa**  
 Lastimpuls: **0.2 s**  
 Lastpause: **1.5 s**

### Verformungskurve TPA - SIB



### Resultatzusammenfassung

Prüfkörper	Höhe [mm]	Durchmesser [mm]	Zyklanzahl im Wendepunkt [Z]	Dehnung im Wendepunkt [%]	Steigung im Wendepunkt kw [(%) / 10 <sup>-4</sup> m]
Prüfkörper 1	60.0	150.0	10000	8	3
Prüfkörper 2	60.0	150.0	10000	7	3
Prüfkörper 3	60.0	150.0	10000	7	2
Prüfkörper 4	60.0	150.0	10000	6	1
<b>Mittelwert:</b>	<b>60.0</b>	<b>150.0</b>	<b>10000</b>	<b>7</b>	<b>2</b>

Abb. XVIII.18 Daten zu Abbildung 34.

# XIX Verformungskurven KMF

Deisstrasse 11  
CH - 8472 Ohringen  
Tel 052 335 28 21  
Fax 052 335 28 24



**CONSULTEST AG**  
Institut für Materialprüfung, Beratung  
und Qualitätssicherung im Bauwesen  
STS 091

Seite 1 von 1

## Prüfbericht : Mischgutuntersuchung

Hinweis : Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die aufgeführten Prüfgegenstände.

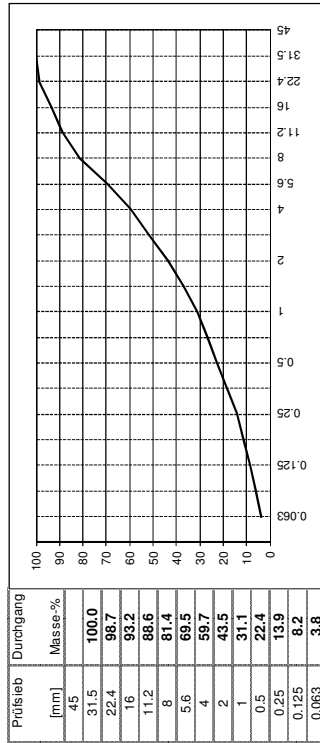
Objekt : **FA 2002/401**  
Auftraggeber : **ASTRA**  
Auftrag-Nr. : **2594-08**  
Labor-Nr. : **7782**

Probe : **KMF 22**  
Ausbereitungsanlage : **ARGOBIT AG Schalfsheim**  
Lieferschein-Nr. : **10831**  
Entnahmemoort : **K472, 10 m ab K112 rechts -> Auenstein**  
Unternehmer : **Implenia Bau AG, Buchs**  
Probenahme durch : **Consultest AG**  
Probenahme Datum / Zeit : **23.09.2008 / 10.00 h**  
Mischguttemperatur : **20 °C**  
Probeneingang : **23.09.2008**  
Prüfdatum : **26.09.2008**

**Bindemittel** Art / Sorte : **Schaumbitumen / 3.5 Dosierung** - lösl. Anteil : **7.30** Masse-%  
EN 12697-1

**Zusätze** Art / Menge : **CEM II / 1.0 M-%**  
EN 12697-2

## Korngrößenverteilung KMF 22



**Marshall-Versuch**  
Raumdichte EN 12697-6 - **2.405** kg/m<sup>3</sup>  
Rohdichte EN 12697-5 - **2.405** kg/m<sup>3</sup>  
Hohraumgehalt EN 12697-8 - **-** Vol-%  
HM-Füllungsgrad EN 12697-8 - **-** %  
Verdichtungstemperatur: -  
Stabilität S - **KN**  
Fließen F - **mm**  
EN 12697-34

## Eigenschaften des rückgewonnenen Bindemittels

Erweichungspunkt R. u. K. - **-** °C  
EN 1427  
Penetration bei 25 °C - **1/10** mm  
EN 1426  
Penetrationsindex PI - **-**  
EN 12591

Bemerkungen: **Wassergehalt : 6.7 M-%**

Deisstrasse 11  
CH - 8472 Ohringen  
Tel 052 335 28 21  
Fax 052 335 28 24

**CONSULTEST AG**  
Institut für Materialprüfung, Beratung  
und Qualitätssicherung im Bauwesen

## Einaxialer Druckschwellversuch (TP A-StB)

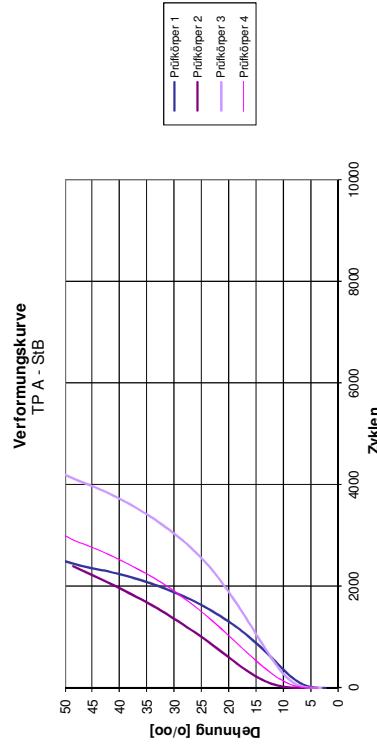
p/EN 12697-25 / SN 640 431-1aNA / TP A-StB

Hinweis : Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die aufgeführten Prüfgegenstände.

Objekt : **FA 2002/401**  
Auftraggeber : **ASTRA**  
Auftrag-Nr. : **2594-08**  
Labor-Nr. : **7782**

Mischgutsorte/-typ : **KMF 22**  
Bindemittel : **Schaumbitumen / 3.5 M-%**  
Zusätze : **CEM II / 1 M-%**  
Ausbereitungsanlage : **ARGOBIT AG, Schalfsheim**  
Unternehmer : **Implenia Bau AG, Buchs**  
Probenahme durch : **Consultest AG**  
Probenahme Datum / Zeit : **23.09.2008 / 10.00**  
Mischguttemperatur : **20 °C**  
Entnahmemoort : **K 472**  
Probeneingang : **26.09.2008**

**Prüfparameter**  
Prüfkörperart : **Gyrator**  
Belastung : **Haversine**  
Belastungsart : **10000**  
Unterspannung : **0.025 MPa**  
Anzahl Zyklen : **50**  
Oberspannung : **0.200 MPa**  
Prüftemperatur : **50 °C**  
Lastimpuls : **0.2 s**  
Lastpause : **1.5 s**



## Resultatezusammenfassung

Prüfkörper	Höhe [mm]	Durchmesser [mm]	Zyklenzahl im Wendepunkt		Dehnung im Wendepunkt		Steigung im Wendepunkt kw [(%) / (10 <sup>-4</sup> n)]
			Wendepunkt [s]	Wendepunkt [n]	Wendepunkt [% <sub>s</sub> ]	Wendepunkt [n]	
Prüfkörper 1	60.0	150.0	700	13	93		
Prüfkörper 2	60.0	150.0	2400	48	102		
Prüfkörper 3	60.0	150.0	1200	16	58		
Prüfkörper 4	60.0	150.0	1100	21	100		
<b>Mittelwert:</b>	<b>60.0</b>	<b>150.0</b>	<b>1433</b>	<b>24</b>	<b>88</b>		

Abb. XIX.19 Daten zu Abbildung 34.

## XX Verformungskurven KMF-Bohrkerne

**CONSULTEST AG**Institut für Materialprüfung, Beratung  
und Qualitätssicherung im BauwesenDeisrütistrasse 11  
CH - 8472 Ohringen  
Tel 052 335 28 21  
Fax 052 335 28 24**Einaxialer Druckschwellversuch (TP A-StB)**

prEN 12697-25 / SN 640 431-1aNA / TP A-StB

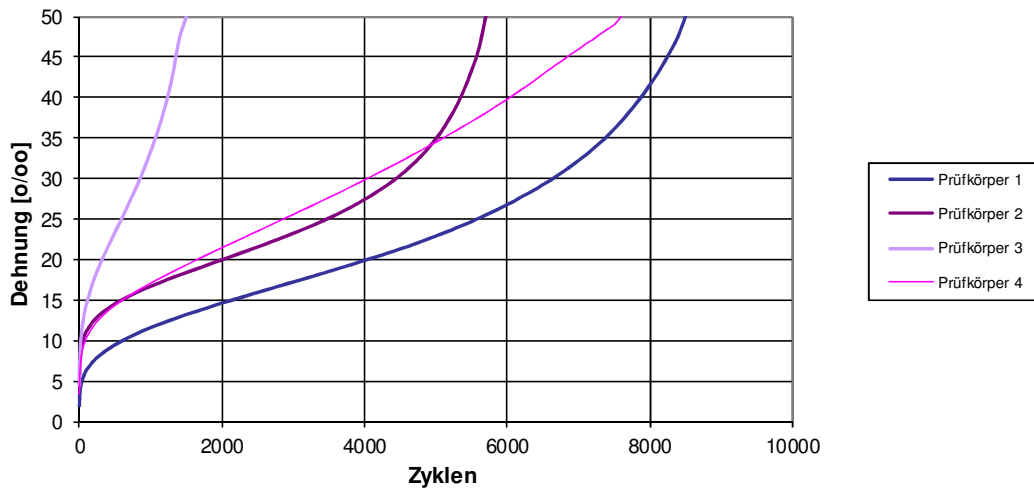
Hinweis: Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die aufgeführten Prüfgegenstände.

Objekt : **FA 2002/401**Auftrag-Nr.: **2917-08**Auftraggeber : **ASTRA**

Mischgutsorte/-typ:	<b>KMF</b>	Probenahme durch:	<b>Consultest AG</b>
Bindemittel:	<b>Schaumbitumen 3.5 M-%</b>	Probenahme Datum / Zeit:	<b>23.10.2008</b>
Zusätze:	<b>CEM II, 1.0 M-%</b>	Probeneingang:	<b>23.10.2008</b>
Aufbereitungsanlage:	<b>KAMPAG</b>		

**Prüfparameter**

Prüfkörperart:	<b>Bohrkern</b>	Belastung			
		Belastungsart :	<b>Haversine</b>	Anzahl Zyklen:	<b>10000</b>
		Unterspannung:	<b>0.025 MPa</b>	Prüftemperatur:	<b>50 °C</b>
		Oberspannung:	<b>0.200 MPa</b>		
		Lastimpuls:	<b>0.2 s</b>		
		Lastpause :	<b>1.5 s</b>		

**Verformungskurve**  
TP A - StB**Resultatezusammenfassung**

	Höhe [mm]	Durchmesser [mm]	Zyklanzahl im Wendepunkt nw [-]	Dehnung im Wendepunkt [%]	Steigung im Wendepunkt kw [(%) / 10 <sup>4</sup> n]
Prüfkörper 1	60.0	150.0	3300	18	<b>26</b>
Prüfkörper 2	60.0	150.0	2000	20	<b>31</b>
Prüfkörper 3	60.0	150.0	700	27	<b>185</b>
Prüfkörper 4	60.0	150.0	2800	25	<b>41</b>
<b>Mittelwert:</b>	60.0	150.0	2200	22	<b>71</b>

Abb. XX.20 Daten zu Abbildung 36.

## XXI Bohrkernuntersuchungen KMF

Bindemittel : Schaumbitumen

Dosierung : 3.5 M-%

Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N

Brechsand : 15 M-%

### Bohrkernliste

Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	BK Nr.	Probenart	Schicht- dicke	Raumdicke [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdicke [kg/m <sup>3</sup> ]	Hohlraum- gehalt [Vol.-%]
2012-03	4673	1	BK Ø150mm	90	2075	2398	13.5
	4674	2	BK Ø150mm	91	2091	2398	12.8
	4675	3	BK Ø150mm	62	2095	2398	12.6
212-04	742	1	BK Ø150mm	85	2058	2398	14.2
	743	2	BK Ø150mm	105	2067	2398	13.8
1640-05	4688	1.2	BK Ø150mm	81	2079	2419	14.0
	4689	2.2	BK Ø150mm	75	2078	2419	14.1
	4690	3.2	BK Ø150mm	91	2076	2419	14.2
	4691	4.2	BK Ø150mm	92	2060	2419	14.9
468-06	1777	3	BK Ø150mm	125	1943	2388	18.6
2189-06	6074	2	BK Ø150mm	115	2131	2457	13.2
	6075	3	BK Ø150mm	100	2067	2457	15.9
2891-06	7731	4.2	BK Ø150mm	90	2151	2410	10.7
	7735	8.2	BK Ø150mm	120	2185	2410	9.4
	7737	10.2	BK Ø150mm	110	2129	2410	11.7
2270-07	6064	2.2	BK Ø150mm	80	2186	2436	10.3
	6065	3.2	BK Ø150mm	90	2136	2436	12.3
	6066	4.2	BK Ø150mm	85	2118	2436	13.1
1392-07	4056	1.2	BK Ø150mm	80	2167	2419	10.4
	4057	2.2	BK Ø150mm	60	2170	2419	10.3
	4058	3.2	BK Ø150mm	80	2185	2419	9.7
	4059	4.2	BK Ø150mm	140	2105	2419	13.0
	4060	5.2	BK Ø150mm	105	2119	2419	12.4
	4061	6.2	BK Ø150mm	95	2177	2419	10.0
2961-07	7857	1.3	BK Ø150mm	100	2225	2382	6.6
	7858	2.3	BK Ø150mm	85	2210	2382	7.2
	7859	3.3	BK Ø150mm	110	2181	2382	8.4
	7863	7.3	BK Ø150mm	95	2170	2382	8.9
	7864	8.3	BK Ø150mm	85	2228	2382	6.5
	7866	10.3	BK Ø150mm	90	2153	2382	9.6
	7867	11.3	BK Ø150mm	100	2077	2382	12.8
	7868	12.4	BK Ø150mm	115	2087	2382	12.4
	7869	13.3	BK Ø150mm	75	2136	2382	10.3
	7870	14.3	BK Ø150mm	95	2225	2382	6.6
	7871	15.3	BK Ø150mm	120	2193	2382	7.9

Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	BK Nr.	Probenart	Schicht- dicke	Raumdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Hohlraum- gehalt [Vol.-%]
2417-07	6434	W3.4	BK Ø150mm	90	2221	2452	9.4
	6435	K5.4	BK Ø150mm	105	2274	2452	7.3
	6436	SG2.4	BK Ø150mm	100	2164	2452	11.8
	6437	B4.4	BK Ø150mm	80	2235	2452	8.8
	6438	F1.4	BK Ø150mm	80	2210	2452	9.9
2926-07	7788	2.2	BK Ø150mm	115	2138	2400	10.9
	7789	3.2	BK Ø150mm	100	2113	2400	12.0
303-08	1202	2.4	BK Ø150mm	85	2230	2398	7.0
	1203	3.4	BK Ø150mm	88	2195	2398	8.5
	1204	4.4	BK Ø150mm	84	2220	2398	7.4
	1205	5.4	BK Ø150mm	85	2238	2398	6.7
305-08	1219	4.4	BK Ø150mm	70	2180	2431	10.3
468-08	1825	1.2	BK Ø150mm	57	2193	2424	9.5
	1826	2.2	BK Ø150mm	108	2173	2424	10.4
	1827	3.2	BK Ø150mm	85	2212	2424	8.7
	1828	4.2	BK Ø150mm	75	2124	2424	12.4
	1829	5.2	BK Ø150mm	92	2169	2424	10.5
	1830	6.2	BK Ø150mm	80	2220	2424	8.4
	1831	7.2	BK Ø150mm	90	2132	2424	12.0
	1832	8.2	BK Ø150mm	95	2143	2424	11.6
	1833	9.2	BK Ø150mm	75	2167	2424	10.6
536-08	2084	2.3	BK Ø150mm	105	2167	2412	10.2
	2085	3.3	BK Ø150mm	100	2176	2412	9.8
	2086	4.3	BK Ø150mm	92	2167	2412	10.1
665-08	2447	8.3	BK Ø150mm	80	2168	2412	10.1
885-08	3197	1.3	BK Ø150mm	62	2138	2343	8.8
	3200	4.3	BK Ø150mm	115	2162	2343	7.7
	3202	6.3	BK Ø150mm	160	2161	2343	7.8
	3204	8.3	BK Ø150mm	135	2181	2343	6.9
	3205	9.3	BK Ø150mm	63	2164	2343	7.6
	3206	10.3	BK Ø150mm	130	2173	2343	7.3
	3207	11.3	BK Ø150mm	45	2132	2343	9.0
	3208	12.3	BK Ø150mm	62	2188	2343	6.6
Mittelwert:					<b>2'154</b>	<b>2'405</b>	<b>10.4</b>
Min.:					1'943	2'343	6.5
Max.:					2'274	2'457	18.6
Standardabw.:					56	30	2.6

Abb. XXI.21 Daten zu Abbildung 39.

## XXII Statistik Bohrkerne KMF

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N / CEM II  
 Brechsand : 10 M-% / 15 M-%

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte	Raumdichte	Hohlraumgehalt
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Vol-%]
2013	0033-13-1	00221/13	2'435	2'238	8.1
2013	0033-13-1	00222/13	2'435	2'163	11.2
2013	0033-13-1	00223/13	2'435	2'213	9.1
2013	0033-13-1	00224/13	2'435	2'271	6.7
2013	0033-13-1	00225/13	2'435	2'244	7.8
2013	0033-13-1	00226/13	2'435	2'243	7.9
2013	0033-13-1	00227/13	2'435	2'200	9.7
2012	0053-12-16	10556/12	2'418	2'107	12.9
2012	0053-12-16	10558/12	2'418	2'149	11.1
2012	0053-12-16	10561/12	2'418	2'117	12.5
2012	0226-12-5	05280/12	2'396	2'077	13.3
2012	0226-12-5	05281/12	2'396	2'147	10.4
2012	0226-12-5	05282/12	2'396	2'123	11.4
2012	0226-12-5	05283/12	2'396	2'069	13.6
2012	0226-12-5	05284/12	2'396	2'131	11.1
2012	0226-12-5	05285/12	2'396	2'125	11.3
2012	0304-12-17	08018/12	2'449	2'170	11.4
2012	0304-12-17	08019/12	2'449	2'136	12.8
2012	0349-12-14	06447/12	2'455	2'124	13.5
2012	0349-12-14	06448/12	2'455	2'035	17.1
2012	0349-12-14	06449/12	2'455	2'042	16.8
2012	0349-12-14	06450/12	2'455	2'148	12.5
2012	0389-12-1	02294/12	2'404	2'168	9.8
2012	0389-12-1	02295/12	2'404	2'203	8.4
2012	0389-12-1	02296/12	2'404	2'130	11.4
2012	0389-12-1	02297/12	2'404	2'058	14.4
2012	0389-12-1	02298/12	2'404	2'174	9.6
2012	0389-12-1	02299/12	2'404	2'161	10.1
2012	0389-12-1	02300/12	2'404	2'088	13.1
2012	0389-12-1	02301/12	2'404	2'185	9.1
2012	0389-12-1	02302/12	2'404	2'127	11.5
2012	0389-12-1	02303/12	2'404	2'152	10.5
2012	0389-12-1	02304/12	2'404	2'106	12.4
2012	0389-12-1	02305/12	2'404	2'127	11.5
2012	0389-12-4	05286/12	2'429	2'123	12.6
2012	0389-12-4	05287/12	2'429	2'165	10.9
2012	0389-12-4	05288/12	2'429	2'221	8.6
2012	0389-12-4	05289/12	2'429	2'181	10.2
2012	0389-12-4	05290/12	2'429	2'160	11.1
2012	0389-12-4	05291/12	2'429	2'134	12.1
2012	0389-12-4	05292/12	2'429	2'254	7.2
2012	0389-12-4	05293/12	2'429	2'204	9.2
2012	0389-12-4	05294/12	2'429	2'179	10.3
2012	0389-12-4	05295/12	2'429	2'129	12.3
2012	0400-12-6	05656/12	2'408	2'191	9.0
2012	0400-12-6	05657/12	2'408	2'153	10.6

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte	Raumdichte	Hohlraumgehalt
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Vol-%]
2012	0400-12-6	05658/12	2'408	2'152	10.6
2012	0400-12-6	05659/12	2'408	2'110	12.4
2012	0400-12-6	05660/12	2'408	2'203	8.5
2012	0479-12-12	10551/12	2'416	2'174	10.0
2012	0479-12-12	10552/12	2'416	2'106	12.8
2012	0542-12-6	10912/12	2'444	2'125	13.1
2012	0542-12-6	10913/12	2'444	2'137	12.5
2012	0594-12-17	09772/12	2'406	2'191	8.9
2012	0594-12-17	09774/12	2'406	2'187	9.1
2012	0594-12-8	05147/12	2'406	2'144	10.9
2012	0594-12-8	05148/12	2'406	2'046	15.0
2012	0594-12-8	05149/12	2'406	2'162	10.1
2012	0594-12-8	05149/12	2'406	1'976	17.9
2012	0626-12-15	10920/12	2'430	2'216	8.8
2012	0626-12-15	10921/12	2'430	2'262	6.9
2012	0626-12-15	10922/12	2'430	2'278	6.2
2012	0626-12-15	10923/12	2'430	2'219	8.7
2012	0626-12-15	10924/12	2'430	2'199	9.5
2012	0626-12-15	10925/12	2'430	2'213	8.9
2012	0648-12-3	08067/12	2'421	2'175	10.2
2012	0648-12-3	08068/12	2'421	2'325	4.0
2012	0648-12-3	08069/12	2'421	2'209	8.7
2012	0648-12-3	08070/12	2'421	2'194	9.4
2012	0648-12-3	08071/12	2'421	2'166	10.6
2012	0648-12-3	08072/12	2'421	2'240	7.5
2012	0648-12-3	08073/12	2'421	2'269	6.3
2012	0707-12-1	04883/12	2'431	2'104	13.5
2012	0707-12-1	04884/12	2'431	2'140	12.0
2012	0707-12-1	04885/12	2'431	2'188	10.0
2012	0707-12-1	04886/12	2'431	2'169	10.8
2012	0707-12-1	04887/12	2'431	2'124	12.6
2012	0707-12-1	04888/12	2'431	2'137	12.1
2012	0707-12-1	04889/12	2'431	2'213	9.0
2012	0707-12-1	04890/12	2'431	2'088	14.1
2012	0707-12-1	04892/12	2'431	2'180	10.3
2012	0707-12-1	04893/12	2'431	2'172	10.7
2012	0707-12-1	04894/12	2'431	2'220	8.7
2012	0707-12-1	04895/12	2'431	2'097	13.7
2012	0707-12-1	04896/12	2'431	2'178	10.4
2012	0707-12-1	04897/12	2'431	2'138	12.0
2012	0707-12-1	04898/12	2'431	2'114	13.0
2012	0707-12-1	04899/12	2'431	2'152	11.5
2012	0707-12-1	04900/12	2'431	2'196	9.7
2012	0707-12-1	04901/12	2'431	2'106	13.4
2012	0707-12-1	04902/12	2'431	2'231	8.2
2012	0707-12-1	04903/12	2'431	2'140	12.0
2012	0707-12-1	04904/12	2'431	2'163	11.0
2012	0707-12-1	04905/12	2'431	2'154	11.4
2012	0732-12-13	07850/12	2'424	2'286	5.7
2012	0732-12-13	07851/12	2'424	2'256	6.9
2012	0732-12-13	07852/12	2'424	2'259	6.8
2012	0732-12-13	07853/12	2'424	2'204	9.1
2012	0732-12-13	07854/12	2'424	2'254	7.0
2012	0732-12-13	07855/12	2'424	2'219	8.5
2012	0732-12-13	07856/12	2'424	2'209	8.9

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte	Raumdichte	Hohlraumgehalt
			[kg/m³]	[kg/m³]	[Vol-%]
2012	0732-12-13	07857/12	2'424	2'247	7.3
2012	0732-12-13	07858/12	2'424	2'239	7.6
2012	0732-12-13	07859/12	2'424	2'187	9.8
2012	0732-12-13	07860/12	2'424	2'212	8.7
2012	0732-12-13	07861/12	2'424	2'212	8.7
2012	0732-12-7	06329/12	2'424	2'212	8.8
2012	0732-12-7	06330/12	2'424	2'240	7.6
2012	0732-12-7	06331/12	2'424	2'248	7.2
2012	0732-12-7	06332/12	2'424	2'266	6.5
2012	0732-12-7	06333/12	2'424	2'205	9.0
2012	0760-12-6	10564/12	2'409	2'071	14.0
2012	0760-12-6	10565/12	2'409	2'163	10.2
2012	0769-12-1	05391/12	2'383	2'109	11.5
2012	0769-12-1	05392/12	2'383	2'114	11.3
2012	0769-12-1	05393/12	2'383	2'097	12.0
2012	0799-12-10	07616/12	2'446	2'224	9.1
2012	0799-12-10	07617/12	2'446	2'255	7.8
2012	0799-12-10	07618/12	2'446	2'278	6.9
2012	0799-12-10	07619/12	2'446	2'287	6.5
2012	0869-12-15	09488/12	2'435	2'212	9.2
2012	0869-12-15	09489/12	2'435	2'258	7.3
2012	1064-12-1	08012/12	2'442	2'191	10.3
2012	1064-12-1	08013/12	2'442	2'240	8.3
2012	1064-12-1	08014/12	2'442	2'215	9.3
2012	1064-12-1	08015/12	2'442	2'189	10.4
2012	1065-12-1	08020/12	2'457	2'139	13.0
2012	1065-12-1	08021/12	2'457	2'174	11.5
2012	1336-12-1	10965/12	2'439	2'113	13.4
2012	1336-12-1	10966/12	2'439	2'151	11.8
2012	1336-12-1	10967/12	2'439	2'113	13.4
2012	1336-12-1	10969/12	2'439	2'106	13.7
2011	0733-11-32	09759/11	2'402	2'231	7.1
2011	0733-11-32	09760/11	2'402	2'093	12.9
2011	0733-11-32	09761/11	2'402	2'181	9.2
2011	0733-11-32	09762/11	2'402	2'092	12.9
2011	0733-11-32	09764/11	2'402	2'136	11.1
2011	0733-11-32	09765/11	2'402	2'139	10.9
2011	0733-11-32	09766/11	2'402	2'140	10.9
2011	0733-11-32	09767/11	2'402	2'129	11.3
2011	0733-11-32	09768/11	2'402	2'191	8.8
2011	0733-11-32	09769/11	2'402	2'140	10.9
2011	0733-11-32	09770/11	2'402	2'080	13.4
2011	0733-11-32	09771/11	2'402	2'153	10.4
2011	0734-11-5	02193/11	2'388	2'158	9.6
2011	0734-11-5	02194/11	2'388	2'161	9.5
2011	0734-11-5	02195/11	2'388	2'169	9.2
2011	0734-11-5	02196/11	2'388	2'174	9.0
2011	0734-11-5	02197/11	2'388	2'152	9.9
2011	0734-11-5	02198/11	2'388	2'172	9.0
2011	0743-11-18	10337/11	2'441	2'168	11.2
2011	0743-11-18	10338/11	2'441	2'170	11.1
2011	0743-11-18	10339/11	2'441	2'155	11.7
2011	0743-11-18	10340/11	2'441	2'155	11.7
2011	0743-11-18	10342/11	2'441	2'147	12.0
2011	0743-11-18	10343/11	2'441	2'135	12.6



Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte	Raumdichte	Hohlraumgehalt
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Vol-%]
2011	0743-11-18	10344/11	2'441	2'179	10.7
2011	0743-11-18	10345/11	2'441	2'211	9.4
2011	0790-11-1	01827/11	2'416	2'120	12.2
2011	0790-11-1	01828/11	2'416	2'185	9.5
2011	0790-11-1	01829/11	2'416	2'157	10.7
2011	0790-11-1	01830/11	2'416	2'150	11.0
2011	0790-11-20	06261/11	2'441	2'127	12.9
2011	0790-11-20	06262/11	2'441	2'169	11.2
2011	0790-11-20	06263/11	2'441	2'182	10.6
2011	0790-11-20	06264/11	2'441	2'204	9.7
2011	0795-11-4	10328/11	2'434	2'144	11.9
2011	0824-11-12	12109/11	2'449	2'151	12.2
2011	0824-11-12	12110/11	2'449	2'197	10.3
2011	0824-11-12	12111/11	2'449	2'107	14.0
2011	0863-11-5	08027/11	2'452	2'048	16.5
2011	0863-11-5	08028/11	2'452	2'121	13.5
2011	0863-11-5	08031/11	2'452	2'072	15.5
2011	0863-11-5	08032/11	2'452	2'160	11.9
2011	0925-11-16	9961/11	2'441	2'239	8.3
2011	0925-11-16	9962/11	2'441	2'236	8.4
2011	0925-11-16	9963/11	2'441	2'223	8.9
2011	0925-11-16	9965/11	2'441	2'157	11.6
2011	0925-11-16	9967/11	2'441	2'108	13.7
2011	0940-11-31	12028/11	2'416	2'113	12.5
2011	0943-11-18	09425/11	2'458	2'087	15.1
2011	0943-11-18	09427/11	2'458	2'198	10.6
2011	0943-11-18	09428/11	2'458	2'178	11.4
2011	0943-11-18	09429/11	2'458	2'097	14.7
2011	0943-11-18	09431/11	2'458	2'121	13.7
2011	0943-11-18	09433/11	2'458	2'057	16.3
2011	0943-11-18	09434/11	2'458	2'094	14.8
2011	0943-11-18	09435/11	2'458	2'172	11.6
2011	1039-11-14	06030/11	2'411	2'099	12.9
2011	1039-11-14	06031/11	2'411	2'231	7.5
2011	1039-11-14	06034/11	2'411	2'164	10.3
2011	1076-11-7	09968/11	2'448	2'240	8.5
2011	1076-11-7	09969/11	2'448	2'240	8.5
2011	1076-11-7	09970/11	2'448	2'115	13.6
2011	1076-11-7	09971/11	2'448	2'091	14.6
2011	1076-11-7	09972/11	2'448	2'180	10.9
2011	1076-11-7	09973/11	2'448	2'141	12.5
2011	1085-11-5	07617/11	2'444	2'085	14.7
2011	1085-11-5	07618/11	2'444	2'126	13.0
2011	1085-11-5	07619/11	2'444	2'128	12.9
2011	1085-11-5	07620/11	2'444	2'112	13.6
2011	1153-11-2	05299/11	2'391	2'139	10.5
2011	1153-11-2	05300/11	2'391	2'204	7.8
2011	1175-11-15	11275/11	2'439	2'058	15.6
2011	1175-11-15	11276/11	2'439	2'107	13.6
2011	1193-11-4	11341/11	2'431	2'122	12.7
2011	1193-11-4	11342/11	2'431	2'084	14.3
2011	1193-11-4	11343/11	2'431	2'117	12.9
2011	1193-11-4	11344/11	2'431	2'089	14.1
2011	1223-11-3	11155/11	2'450	2'158	11.9
2011	1223-11-3	11156/11	2'450	2'215	9.6

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte	Raumdichte	Hohlraumgehalt
			[kg/m³]	[kg/m³]	[Vol-%]
2011	1223-11-3	11157/11	2'450	2'193	10.5
2011	1223-11-3	11158/11	2'450	2'252	8.1
2011	1223-11-3	11160/11	2'450	2'061	15.9
2011	1223-11-3	11161/11	2'450	2'210	9.8
2011	1223-11-3	11162/11	2'450	2'170	11.4
2011	1233-11-5	10020/11	2'461	2'150	12.6
2011	1233-11-5	10021/11	2'461	2'144	12.9
2011	1465-11-8	09920/11	2'440	2'139	12.4
2011	1465-11-8	09921/11	2'440	2'176	10.8
2011	1465-11-8	09922/11	2'440	2'170	11.1
2011	1465-11-8	09923/11	2'440	2'166	11.2
2011	1465-11-8	09924/11	2'440	2'205	9.6
2011	1472-11-5	11579/11	2'451	2'161	11.8
2011	1472-11-5	11580/11	2'451	2'157	12.0
2011	1472-11-5	11581/11	2'451	2'164	11.7
2011	1501-11-9	10185/11	2'453	2'032	17.2
2011	1561-11-1	09772/11	2'402	2'096	12.7
2011	1561-11-1	09773/11	2'402	2'179	9.3
2011	1561-11-1	09774/11	2'402	2'122	11.7
2011	1561-11-1	09775/11	2'402	2'163	9.9
2011	1562-11-1	09777/11	2'429	2'052	15.5
2010	0463-10	1882	2'410	2'214	8.1
2010	0463-10	1883	2'410	2'191	9.1
2010	0463-10	1884	2'410	2'190	9.1
2010	0463-10	1885	2'410	2'163	10.2
2010	0463-10	1886	2'410	2'165	10.2
2010	0463-10	1887	2'410	2'149	10.8
2010	0463-10	1888	2'410	2'207	8.4
2010	0463-10	1889	2'410	2'161	10.3
2010	0507-10	2060	2'410	2'156	10.5
2010	0764-10	2815	2'431	2'176	10.5
2010	0764-10	2817	2'431	2'180	10.3
2010	0971-10	3485	2'411	2'246	6.8
2010	0971-10	3486	2'411	2'194	9.0
2010	0971-10	3487	2'411	2'128	11.7
2010	0971-10	3488	2'411	2'290	5.0
2010	0971-10	3489	2'411	2'169	10.0
2010	0971-10	3490	2'411	2'216	8.1
2010	0971-10	3491	2'411	2'181	9.5
2010	0971-10	3492	2'411	2'198	8.8
2010	0971-10	3493	2'411	2'263	6.1
2010	2792-10	8952	2'399	2'180	9.1
2010	2792-10	8944	2'399	2'103	12.3
2010	2792-10	8945	2'399	1'997	16.8
2010	2792-10	8946	2'399	2'128	11.3
2010	2792-10	8947	2'399	2'256	6.0
2010	2792-10	8948	2'399	2'200	8.3
2010	2792-10	8949	2'399	2'205	8.1
2010	2792-10	8950	2'399	2'126	11.4
2010	2792-10	8951	2'399	2'192	8.6
2010	2801-10	8991	2'423	2'166	10.6
2010	2801-10	8992	2'423	2'151	11.2
2010	2801-10	8993	2'423	2'103	13.2
2010	2801-10	8994	2'423	2'077	14.3
2010	2801-10	8995	2'423	2'191	9.6

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte	Raumdichte	Hohlraumgehalt
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Vol-%]
2010	2801-10	8996	2'423	2'133	12.0
2010	2801-10	8997	2'423	2'186	9.8
2010	2801-10	8998	2'423	2'201	9.1
2010	2801-10	8999	2'423	2'207	8.9
2010	3186-10	10034	2'421	2'157	10.9
2010	3186-10	10035	2'421	2'139	11.6
2010	3186-10	10036	2'421	2'151	11.2
2010	3186-10	10037	2'421	2'130	12.0
2010	3186-10	10038	2'421	2'146	11.4
2010	3580A-10	11351	2'404	2'139	11.0
2010	3580A-10	11352	2'404	2'149	10.6
2010	3580A-10	11353	2'404	2'150	10.6
2010	3580B-10	11358	2'404	2'274	5.4
2010	3580C-10	11359	2'404	2'277	5.3
2010	3580C-10	11360	2'404	2'272	5.5
2010	3580D-10	11361	2'404	2'246	6.6
2010	3580D-10	11362	2'404	2'240	6.8
2010	3580D-10	11363	2'404	2'236	7.0
2010	3580D-10	11364	2'404	2'188	9.0
2010	3889-10	12212	2'414	2'099	13.1
2010	3889-10	12213	2'414	2'112	12.5
2010	3889-10	12214	2'414	2'135	11.6
2010	3889-10	12215	2'414	2'139	11.4
2010	3889-10	12216	2'414	2'221	8.0
2010	3889-10	12217	2'414	2'220	8.1
2010	3889-10	12218	2'414	2'107	12.7
2010	3889-10	12219	2'414	2'128	11.9
2010	3889-10	12220	2'414	2'134	11.6
2010	3889-10	12221	2'414	2'099	13.0
2010	3921-10	12299	2'439	2'149	11.9
2010	3921-10	12300	2'439	2'074	15.0
2010	3921-10	12301	2'439	2'197	9.9
2010	3921-10	12302	2'439	2'092	14.2
2010	3921-10	12303	2'439	2'152	11.8
2010	3924-10	12330	2'420	2'111	12.8
2010	3924-10	12334	2'420	2'190	9.5
2010	3925-10	12342	2'416	2'176	9.9
2010	3925-10	12343	2'416	2'235	7.5
2010	3925-10	12344	2'416	2'107	12.8
2010	3925-10	12345	2'416	2'150	11.0
2010	3990-10	12510	2'411	2'058	14.6
2010	3994-10	12524	2'411	2'121	12.0
2010	3994-10	12525	2'411	2'205	8.6
2010	3994-10	12526	2'411	2'076	13.9
2010	3994-10	12527	2'411	2'048	15.1
2010	3994-10	12528	2'411	2'102	12.8
2010	3994-10	12529	2'411	2'076	13.9
2010	3994-10	12530	2'411	2'085	13.5
2010	4095-10	12790	2'424	2'077	14.3
2010	4095-10	12791	2'424	2'083	14.1
2010	4095-10	12792	2'424	2'198	9.3
2010	4095-10	12795	2'424	2'144	11.5
2010	4165-10	13014	2'405	2'173	9.6
2010	4165-10	13015	2'405	2'161	10.2
2010	4165-10	13016	2'405	2'159	10.2

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte	Raumdichte	Hohlraumgehalt
			[kg/m³]	[kg/m³]	[Vol-%]
2010	4167-10	13021	2'439	2'089	14.3
2010	4167-10	13022	2'439	2'091	14.3
2010	4167-10	13023	2'439	2'125	12.9
2010	4167-10	13024	2'439	2'171	11.0
2010	4176-10	13060	2'441	2'184	10.5
2010	4176-10	13061	2'441	2'142	12.2
2010	4176-10	13062	2'441	2'103	13.9
2010	4176-10	13063	2'441	2'100	14.0
2010	4176-10	13064	2'441	2'085	14.6
2010	4176-10	13065	2'441	2'128	12.8
2010	4178-10	13069	2'422	2'201	9.1
2010	4178-10	13070	2'422	2'020	16.6
2010	4178-10	13071	2'422	2'103	13.2
2010	4178-10	13072	2'422	2'102	13.2
2010	4178-10	13073	2'422	2'133	11.9
2010	4178-10	13074	2'422	2'132	12.0
2010	4178-10	13075	2'422	2'187	9.7
2010	4178-10	13076	2'422	2'148	11.3
2010	4178-10	13077	2'422	2'060	15.0
2010	4334-10	13581	2'410	2'050	14.9
2010	4334-10	13582	2'410	2'046	15.1
2010	4334-10	13583	2'410	1'996	17.2
2010	4334-10	13584	2'410	1'997	17.1
2010	4334-10	13585	2'410	2'048	15.0
2010	4334-10	13586	2'410	2'082	13.6
2010	4334-10	13587	2'410	2'119	12.1
2010	4372-10	13685	2'415	2'209	8.5
2010	4372-10	13687	2'415	2'246	7.0
2010	4372-10	13688	2'415	2'099	13.1
2010	4372-10	13689	2'415	2'153	10.8
2010	4372-10	13690	2'415	2'049	15.2
2010	4381-10	13712	2'427	2'093	13.8
2010	4381-10	13713	2'427	2'179	10.2
2010	4381-10	13714	2'427	2'137	11.9
2010	4381-10	13715	2'427	2'144	11.7
2010	4381-10	13716	2'427	2'175	10.4
2010	4381-10	13718	2'427	2'153	11.3
2010	4381-10	13719	2'427	2'203	9.2
2010	4381-10	13720	2'427	2'232	8.0
2010	4460-10	13935	2'366	2'162	8.6
2010	4460-10	13936	2'366	2'145	9.3
2010	4460-10	13937	2'366	2'133	9.8
2010	4460-10	13938	2'366	2'090	11.7
2010	4460-10	13939	2'366	2'135	9.8
2009	2070-09	7209	2'392	2'129	11.0
2009	2070-09	7210	2'392	2'134	10.8
2009	2070-09	7211	2'392	2'118	11.5
2009	2070-09	7212	2'392	2'152	10.0
2009	2155-09	7500	2'417	2'190	9.4
2009	2155-09	7502	2'417	2'151	11.0
2009	2155-09	7503	2'417	2'037	15.7
2009	2155-09	7504	2'417	2'101	13.1
2009	2165-09	7545	2'392	2'206	7.8
2009	2165-09	7546	2'392	2'221	7.2
2009	2165-09	7547	2'392	2'186	8.6

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte	Raumdichte	Hohlraumgehalt
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Vol-%]
2009	2431-09	8219	2'392	2'146	10.3
2009	2431-09	8221	2'392	2'217	7.3
2009	2432-09	8223	2'392	2'121	11.3
2009	2432-09	8224	2'392	2'121	11.3
2009	2432-09	8225	2'392	2'123	11.2
2009	2432-09	8226	2'392	2'163	9.6
2009	2432-09	8227	2'392	2'159	9.7
2009	2432-09	8228	2'392	2'122	11.3
2009	3396-09	10680	2'395	2'262	5.5
2009	3396-09	10681	2'395	2'223	7.2
2009	3396-09	10682	2'395	2'187	8.7
2009	3396-09	10683	2'395	2'187	8.7
2009	3396-09	10684	2'395	2'187	8.7
2009	3396-09	10685	2'395	2'236	6.7
2009	3396-09	10686	2'395	2'153	10.1
2009	3396-09	10687	2'395	2'195	8.3
2009	3396-09	10688	2'395	2'226	7.1
2009	3396-09	10690	2'395	2'202	8.0
2009	3807-09	11342	2'392	2'119	11.4
2009	3807-09	11343	2'392	2'083	12.9
2009	3807-09	11344	2'392	2'202	8.0
2009	3807-09	11345	2'392	2'165	9.5
2009	3807-09	11346	2'392	2'090	12.6
2009	3807-09	11347	2'392	2'134	10.8
2009	3831-09	11417	2'420	2'234	7.7
2009	3831-09	11418	2'420	2'197	9.2
2009	3853-09	11507	2'433	2'141	12.0
2009	3853-09	11508	2'433	2'093	14.0
2009	3853-09	11509	2'433	2'131	12.4
2009	3853-09	11510	2'433	2'217	8.9
2009	3853-09	11511	2'433	2'104	13.5
2009	3853-09	11512	2'433	2'070	14.9
2009	3853-09	11513	2'433	2'180	10.4
2009	3853-09	11514	2'433	2'190	10.0
2009	3853-09	11515	2'433	2'088	14.2
2009	3853-09	11516	2'433	2'179	10.4
2009	3853-09	11517	2'433	2'135	12.2
2009	3853-09	11518	2'433	2'157	11.3
2009	3891-09	11658	2'426	2'100	13.4
2009	3891-09	11660	2'426	2'118	12.7
2009	3891-09	11666	2'426	2'304	5.0
2009	3891-09	11673	2'426	2'110	13.0
2009	3894-09	11688	2'413	2'010	16.7
2009	3894-09	11689	2'413	2'083	13.7
2009	3894-09	11690	2'413	2'077	13.9
2009	3894-09	11691	2'413	2'032	15.8
2009	3894-09	11692	2'413	2'138	11.4
2009	3906-09	11734	2'408	2'208	8.3
2009	3906-09	11735	2'408	2'247	6.7
2009	3906-09	11736	2'408	2'165	10.1
2009	3906-09	11737	2'408	2'248	6.6
2009	3906-09	11738	2'408	2'233	7.3
2009	3906-09	11739	2'408	2'173	9.8
2009	3906-09	11740	2'408	2'262	6.1
2009	3906-09	11741	2'408	2'220	7.8

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte [kg/m³]	Raumdichte [kg/m³]	Hohlraumgehalt [Vol-%]
2009	3906-09	11742	2'408	2'210	8.2
2009	3908-09	11751	2'393	2'140	10.6
2009	3908-09	11752	2'393	2'083	12.9
2009	3908-09	11753	2'393	2'091	12.6
2009	3942-09	11821	2'393	2'107	12.0
2009	3942-09	11822	2'393	2'091	12.6
2009	3942-09	11823	2'393	2'153	10.0
2009	3942-09	11824	2'393	2'159	9.8
2009	3942-09	11825	2'393	2'120	11.4
2009	3942-09	11826	2'393	2'098	12.3
2009	3942-09	11827	2'393	2'099	12.3
2009	3942-09	11828	2'393	2'088	12.8
2009	3942-09	11829	2'393	2'147	10.3
2009	3943-09	11832	2'420	2'200	9.1
2009	3943-09	11833	2'420	2'151	11.1
2009	3943-09	11834	2'420	2'152	11.1
2009	3943-09	11835	2'420	2'165	10.5
2009	3943-09	11839	2'420	1'931	20.2
2009	3943-09	11840	2'420	2'014	16.8
2009	3943-09	11842	2'420	2'159	10.8
2009	3943-09	11843	2'420	2'225	8.1
2009	3943-09	11844	2'420	2'187	9.6
2009	3943-09	11845	2'420	2'154	11.0
2009	3943-09	11846	2'420	2'180	9.9
2009	3943-09	11847	2'420	2'172	10.2
2009	4071-09	12165	2'393	2'233	6.7
2009	4071-09	12166	2'393	2'051	14.3
2009	4071-09	12167	2'393	2'044	14.6
2008	0084-08	326	2'417	2'270	6.1
2008	0084-08	327	2'417	2'116	12.5
2008	0135-08	546	2'433	2'227	8.5
2008	0135-08	547	2'433	2'194	9.8
2008	0994-08	3582	2'422	2'149	11.3
2008	0994-08	3583	2'422	2'130	12.0
2008	0994-08	3584	2'422	2'189	9.6
2008	0994-08	3585	2'422	2'132	12.0
2008	0994-08	3586	2'422	2'177	10.1
2008	0994-08	3587	2'422	2'121	12.4
2008	0994-08	3588	2'422	2'159	10.8
2008	1005-08	3605	2'437	2'123	12.9
2008	1005-08	3606	2'437	2'104	13.7
2008	1005-08	3607	2'437	2'160	11.4
2008	1005-08	3608	2'437	2'195	9.9
2008	2435-08	7385	2'393	2'190	8.5
2008	2435-08	7386	2'393	2'033	15.1
2008	2435-08	7387	2'393	2'113	11.7
2008	2435-08	7388	2'393	2'102	12.2
2008	2435-08	7389	2'393	2'121	11.3
2008	2435-08	7390	2'393	2'086	12.8
2008	2435-08	7391	2'393	2'135	10.8
2008	2814-08	8436	2'397	2'048	14.6
2008	2814-08	8437	2'397	2'073	13.5
2008	2901-08	8677	2'422	2'171	10.4
2008	2901-08	8678	2'422	2'194	9.4
2008	2901-08	8679	2'422	2'126	12.2

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte	Raumdichte	Hohlraumgehalt
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Vol-%]
2008	2901-08	8680	2'422	2'232	7.8
2008	2901-08	8682	2'422	2'244	7.4
2008	2901-08	8683	2'422	2'119	12.5
2008	3057-08	9188	2'424	2'148	11.4
2008	3057-08	9189	2'424	2'130	12.1
2008	3057-08	9190	2'424	2'115	12.7
2008	3057-08	9191	2'424	2'186	9.8
2008	3057-08	9192	2'424	2'139	11.8
2008	3057-08	9193	2'424	2'210	8.8
2008	3057-08	9194	2'424	2'164	10.7
2008	3057-08	9195	2'424	2'134	12.0
2008	3057-08	9196	2'424	2'111	12.9
2008	3057-08	9197	2'424	2'196	9.4
2008	3057-08	9198	2'424	2'199	9.3
2008	3057-08	9199	2'424	2'054	15.3
2008	3057-08	9200	2'424	2'085	14.0
2008	3057-08	9201	2'424	2'124	12.4
2008	3057-08	9202	2'424	2'113	12.8
2008	3107-08	9378	2'392	2'227	6.9
2008	3107-08	9379	2'392	2'166	9.4
2008	3107-08	9380	2'392	2'205	7.8
2008	3107-08	9381	2'392	2'172	9.2
2008	3107-08	9383	2'392	2'148	10.2
2007	0039-07	184	2'418	2'175	10.1
2007	0039-07	186	2'419	2'146	11.3
2007	0039-07	187	2'420	2'116	12.5
2007	0272-07	1206	2'410	2'090	13.3
2007	0272-07	1207	2'411	2'170	10.0
2007	0272-07	1208	2'412	2'175	9.8
2007	0272-07	1209	2'413	2'192	9.2
2007	0272-07	1210	2'414	2'127	11.9
2007	0272-07	1211	2'415	2'180	9.7
2007	0272-07	1212	2'416	2'177	9.9
2007	0272-07	1213	2'417	2'087	13.6
2007	3485-07	9037	2'410	2'179	9.6
2006	0004-06	13	2'395	2'076	13.3
2006	0004-06	14	2'395	1'989	17.0
2006	0004-06	15	2'395	1'941	19.0
2006	0004-06	16	2'395	2'063	13.9
2006	0004-06	17	2'395	2'107	12.0
2006	0004-06	18	2'395	1'952	18.5
2006	0004-06	19	2'395	2'047	14.5
2006	0859-06	2905	2'432	2'103	13.5
2006	0859-06	2906	2'432	2'127	12.6
2006	0859-06	2907	2'432	2'105	13.5
2006	0859-06	2908	2'432	2'124	12.7
2006	3300-06	8455	2'410	2'182	9.4
2006	3300-06	8456	2'410	2'038	15.4
2006	3300-06	8457	2'410	2'192	9.1
2006	3300-06	8548	2'410	2'092	13.2
2006	3300-06	8459	2'410	2'183	9.4
2006	3300-06	8461	2'410	2'203	8.6
2006	3300-06	8462	2'410	2'176	9.7
2005	2532a-05	6667	2'400	2'154	10.2
2005	2532a-05	6668	2'400	2'282	4.9

Jahr	Auftrag-Nr.	Labor-Nr.	Rohdichte [kg/m³]	Raumdichte [kg/m³]	Hohlraumgehalt [Vol-%]
2005	2532a-05	6669	2'400	2'241	6.6
2005	2532a-05	6670	2'400	2'268	5.5
2005	2532a-05	6671	2'400	2'266	5.6
2005	2532a-05	6674	2'400	2'218	7.6
2005	2532a-05	6675	2'400	2'184	9.0
2005	2532a-05	6676	2'400	2'227	7.2
2005	2532a-05	6678	2'400	2'165	9.8
2005	2532a-05	6679	2'400	2'200	8.4
2005	2532a-05	6680	2'400	2'185	9.0
2005	2532a-05	6681	2'400	2'208	8.0
Mittelwert:			<b>2'419</b>	<b>2'154</b>	<b>10.9</b>
Min.:			2'366	1'931	4.0
Max.:			2'461	2'325	20.2
Standardabw.:			19	60	2.5

Abb. XXII.22 Daten zu Abbildung 40.



## XXIII Verdichtungskontrolle mit Troxler Isotopensonde

Messtiefe: **Oberfläche**  
 Material: **KMF 22**

Trockenrohdichte: **2.185**  
 [g/cm<sup>3</sup>] (Sollwert)

### Nach Bohle

Messpunkt	Profil ** [m]	ab Axe		D feucht [g/cm <sup>3</sup> ]	D trocken [g/cm <sup>3</sup> ]	Wassergehalt [%]	Verdichtungsgrad [%]	Sättigungsgrad [%]
		links	rechts					
1	10	1.8m		1.502	1.400	7.3	64.1	21
2				1.532	1.424	7.6	65.2	23
3				1.602	1.490	7.5	68.2	25
4				1.645	1.537	7.0	70.4	25
Mittelwert				1.570	1.463	7.4	66.9	23.5
5	10	1.8m		1.652	1.540	7.3	70.5	26
6				1.632	1.521	7.3	69.6	25
7				1.785	1.656	7.8	75.8	33
8				1.678	1.567	7.1	71.7	27
Mittelwert				1.687	1.571	7.4	71.9	27.9
<b>Mittelwert</b>				<b>1.629</b>	<b>1.517</b>	<b>7.4</b>	<b>69.4</b>	<b>25.7</b>

### + 2 Übergänge statisch

Messpunkt	Profil **	ab Axe		D feucht [g/cm <sup>3</sup> ]	D trocken [g/cm <sup>3</sup> ]	Wassergehalt [%]	Verdichtungsgrad [%]	Sättigungsgrad [%]
		links	rechts					
1	20	1.8 m		2.220	2.104	5.5	96.3	52
2				2.160	2.055	5.1	94.1	44
3				2.185	2.065	5.8	94.5	51
4				2.165	2.050	5.6	93.8	48
Mittelwert				2.183	2.069	5.5	94.7	48.7
5	20	1.8 m		2.100	1.992	5.4	91.2	41
6				2.095	1.988	5.4	91.0	41
7				2.056	1.947	5.6	89.1	39
8				2.120	2.015	5.2	92.2	41
Mittelwert				2.093	1.986	5.4	90.9	40.5
<b>Mittelwert</b>				<b>2.138</b>	<b>2.027</b>	<b>5.5</b>	<b>92.8</b>	<b>44.6</b>

**+ 4 Übergänge Vibration**

Messpunkt	Profil **	ab Axe		D feucht [g/cm <sup>3</sup> ]	D trocken [g/cm <sup>3</sup> ]	Wassergehalt [%]	Verdichtungsgrad [%]	Sättigungsgrad [%]
		links	rechts					
1	30	1.8 m		2.188	2.076	5.4	95.0	48
2				2.212	2.099	5.4	96.0	51
3				2.198	2.081	5.6	95.3	51
4				2.184	2.068	5.6	94.7	49
Mittelwert				2.196	2.081	5.5	95.2	49.9
5	30		1.8 m	2.100	1.996	5.2	91.4	40
6				2.133	2.026	5.3	92.7	43
7				2.135	2.028	5.3	92.8	43
8				2.125	2.022	5.1	92.5	41
Mittelwert				2.123	2.018	5.2	92.3	41.8
<b>Mittelwert</b>				<b>2.159</b>	<b>2.049</b>	<b>5.4</b>	<b>93.8</b>	<b>45.8</b>

**+ 3 Übergänge Vibration**

Messpunkt	Profil **	ab Axe		D feucht [g/cm <sup>3</sup> ]	D trocken [g/cm <sup>3</sup> ]	Wassergehalt [%]	Verdichtungsgrad [%]	Sättigungsgrad [%]
		links	rechts					
1	40	1.8 m		2.275	2.154	5.6	98.6	60
2				2.274	2.155	5.5	98.6	59
3				2.301	2.181	5.5	99.8	62
4				2.254	2.139	5.4	97.9	56
Mittelwert				2.276	2.157	5.5	98.7	59.1
5	40		1.8 m	2.193	2.085	5.2	95.4	48
6				2.205	2.090	5.5	95.7	51
7				2.185	2.069	5.6	94.7	50
8				2.154	2.044	5.4	93.5	45
Mittelwert				2.184	2.072	5.4	94.8	48.4
<b>Mittelwert</b>				<b>2.230</b>	<b>2.115</b>	<b>5.5</b>	<b>96.8</b>	<b>53.7</b>

**+ 3 Übergänge statisch**

Messpunkt	Profil **	ab Axe		D feucht [g/cm <sup>3</sup> ]	D trocken [g/cm <sup>3</sup> ]	Wassergehalt [%]	Verdichtungsgrad [%]	Sättigungsgrad [%]
		links	rechts					
1	50	1.8 m		2.278	2.163	5.3	99.0	58
2				2.268	2.158	5.1	98.8	55
3				2.256	2.144	5.2	98.1	54
4				2.254	2.143	5.2	98.1	54
Mittelwert				2.264	2.152	5.2	98.5	55.2
5	50		1.8 m	2.232	2.118	5.4	96.9	53
6				2.200	2.091	5.2	95.7	48
7				2.223	2.111	5.3	96.6	51
8				2.214	2.105	5.2	96.3	50
Mittelwert				2.217	2.106	5.3	96.4	50.5
<b>Mittelwert</b>				<b>2.241</b>	<b>2.129</b>	<b>5.2</b>	<b>97.4</b>	<b>52.9</b>

Abb. XXIII.23 Daten zu Abbildung 41.

## XXIV Vergleich Plattendruckversuch statisch (ME) mit dynamisch (EV<sub>D</sub>)

### Kaltmischgut KMF

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N  
 Brechsand : 15 M-%

### Temperatur Boden 14 °C

Versuch- Nr.	statischer Plattendruckversuch		dynamischer Plattendruckversuch			
	ME <sub>1</sub>	ME <sub>2</sub>	Osten EV <sub>D</sub>	Norden EV <sub>D</sub>	Westen EV <sub>D</sub>	Süden EV <sub>D</sub>
	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]
1	98.0	286.0	58.0	47.6	51.2	54.6
2	88.7	283.7	50.7	40.5	59.2	49.4
3	95.7	296.7	55.3	53.0	68.5	64.0
4	80.6	327.2	54.2	50.6	63.9	58.2
5	98.6	315.5	58.2	66.3	49.4	46.6
6	86.1	292.7	40.7	50.1	46.6	44.8

### Temperatur Boden 26 °C

Versuch- Nr.	statischer Plattendruckversuch		dynamischer Plattendruckversuch			
	ME <sub>1</sub>	ME <sub>2</sub>	Osten EV <sub>D</sub>	Norden EV <sub>D</sub>	Westen EV <sub>D</sub>	Süden EV <sub>D</sub>
	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>2</sup> ]
1	76.2	292.3	54.6	45.6	40.9	41.6
2	73.1	265.3	42.5	50.4	45.8	41.1
3	83.9	353.4	55.0	56.5	44.5	57.2
4	67.4	287.6	58.0	51.4	41.1	47.3
5	86.7	362.8	44.7	52.8	55.3	50.4
6	70.2	325.7	43.2	44.6	40.0	38.2

Abb. XXIV.24 Daten zu Abbildung 44 und Abbildung 45.

## XXV Lagerfähigkeit von Kaltmischgut

### Emulsionsgebundenes Mischgut, Lagerung im Labor

Bindemittel : Emulsion Webacid Recycling C60  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% CEM II/A-LL42.5N  
 Brechsand : 15 M-%

Lagerzeit [Tage]	mit Zement	ohne Zement
	7d Druckfestigkeit	7d Druckfestigkeit
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
0	4.3	3.2
1	3.2	2.9
3	3.0	2.5
7	3.1	2.6

Lagerzeit [Tage]	mit Zement	ohne Zement
	Wassergehalt	Wassergehalt
	[M-%]	[M-%]
0	5.8	6.0
1	3.7	3.9
3	3.4	3.7
7	3.0	3.5

Lagerzeit [Tage]	mit Zement	ohne Zement
	Rohdichte feucht	Rohdichte feucht
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
0	2260	2291
1	2220	2268
3	2188	2271
7	2181	2261

Abb. XXV.25 Daten zu Abbildung 48 bis Abbildung 50.

## XXVI Schaumgebundenes Mischgut

### Lagerung am Haufen im Freien

Bindemittel : Schaumbitumen  
 Dosierung : 3.5 M-%  
 Hydraulischer Zusatz : 1.0 M-% Doroport TB N

Druckfestigkeit an Mischgut ohne Lagerung  
 Prüfkörperalter : 7 Tage

Probenart	L-Nr.	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit		Wassergehalt Mischgut
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[M-%]
Duriez (100 kN)	1519	2178	38.9	3.4	
	1519	2156	37.8	3.3	
	1519	2089	36.5	3.2	
	1519	2123	38.7	3.4	
	1519	2145	37.4	3.3	
	1519	2150	38.5	3.4	
	<b>Mittelwert</b>	<b>2140</b>		<b>3.4</b>	<b>5.9</b>

Druckfestigkeit an Mischgut mit 3 Monate Lagerung

Probenart	L-Nr.	Raumdichte trocken	Druckfestigkeit		Wassergehalt Mischgut
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[M-%]
Duriez (100 kN)	1519	2042	34.9	3.1	
	1519	2105	33.8	3.0	
	1519	2050	32.9	2.9	
	1519	2085	37.8	3.3	
	1519	2116	37.8	3.3	
	1519	2079	37.4	3.3	
	<b>Mittelwert</b>	<b>2080</b>		<b>3.2</b>	<b>6.6</b>

Abb. XXVI.26 Daten zu Abbildung 51.



## Abkürzungen

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
AC	Asphaltbeton
AG	Asphaltgranulat
ARRA	Asphalt Recycling and Reclaiming Association
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
CBR	California bearing ratio
CFTR	French Committee for Road Construction
DATEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DETEC	Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni
EAPA	European Asphalt Pavement Association
EN	Europäische Norm
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
HMF	Heissmischfundation
ITSR	Verhältnis der indirekten Zugfestigkeit mit und ohne Wassereinwirkung
KMF	Kaltmischfundation
KRC	Kaltrecycling Gemisch
KS	Kies
LRV	Luftreinhalteverordnung
MCHW	Manual of contract documents for highway works
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
SN	Schweizer Norm
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute





## Literaturverzeichnis

- [1] M. Hugener, H. Deschwanden und T. Bühler, „FA 26/96, Umweltgerechtes Recycling von teerhaltigen Belägen,“ 1999.
- [2] BAFU, „Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle,“ 2006.
- [3] 814.318.142.1, „Luftreinhalteverordnung (LRV),“ 1986.
- [4] SN 640 506a, „Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln,“ 1995.
- [5] SN 640 324, „Dimensionierung des Strassenaufbaus, Unterbau und Oberbau,“ 2011.
- [6] Departement Bau, Verkehr und Umwelt, „Leifaden Kaltmischfundation (KMF),“ 2008.
- [7] NF P 98-251-4, „Essais Duriez sur mélanges hydrocarbonés à froid à l'emulsion de bitume,“ 1992.
- [8] EN 13838, „Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Rahmenwerk für die Spezifizierung kationischer Bitumenemulsionen,“ 2005.
- [9] European Asphalt Pavement Association (EAPA), „Arguments to stimulate the government to promote asphalt reuse and recycling,“ 2008.
- [10] Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, „Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Strassenoberbau, M KRC,“ Köln, 2005.
- [11] Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, „Merkblatt für die Verwertung von pechhaltigen Strassenausbaustoffen und von Asphaltgranulat in bitumengebundnen Tragschichten durch Kaltaufbereitung in Mischanlagen, M VB-K,“ Köln, 2007.
- [12] Forschungsgesellschaft für Strasse- und Verkehrswesen, „Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/reotypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Strassenbau, RuVA-StB 01,“ Köln, 2001.
- [13] Bagneux, „Guide technique: retraitement en place à froid des anciennes chaussées,“ French Committee for Road Construction (CFTR), 2003.
- [14] B. Eckmann und S. Soliman, „Performance Assessment of Cold Recycling in Place,“ Eurovia Management - Technical Department, 2005.
- [15] Highway Agency, „Manual of contract documents for highway works (MCHW), Volume 1, Specification for highway works, Series 900, road pavements - bituminous bound materials,“ 2008.
- [16] P. Kandhal und R. Mallick, „Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments, Publication No. FHWA-SA-98-042,“ US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1997.
- [17] US Department of Transportation, Federal Highway Administration, „Basic Asphalt Recycling Manual,“ 2001.
- [18] DIN EN 197-1:2000, „Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement,“ 2001.
- [19] SN 670 330-2a / EN 13286-2:2004, „Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische, Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Trockendichte und des Wassergehaltes - Proctorversuch,“ 2005.
- [20] SN 670 330-50 / EN 12386-50:2004, „Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische, Teil 50: Verfahren zur Herstellung von Probekörpern von hydraulisch gebundenen Gemischen durch Verdichtung mit Proctorgerät oder Vibrationstisch,“ 2005.
- [21] SN 670 330-1 / EN 13286-1:2003, „Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische, Teil 1: Laborprüfungen für die Trockendichte und den Wassergehalt - Einführung, allgemeine Anforderungen und Probenahme,“ 2004.
- [22] EN 13286-1:2003, „Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische -

- Teil 1: Laborprüfungen für die Trockendichte und den Wassergehalt - Einführung, allgemeine Anforderungen und Probenahme,“ 2003.
- [23] SN 670 430 / EN 12697-30:2004, „Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 30: Probenvorbereitung, Marshall-Verdichtungsgerät,“ 2005.
- [24] SN 670 412 / EN 12697-12:2003, „Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 12: Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern,“ 2005.
- [25] SN 670 425 / EN 12697-25:2005, „Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 25: Druckschwellversuch,“ 2006.
- [26] SN 670 317b, „Plattendruckversuch EV und ME,“ 1998.
- [27] TP BF-StB, Teil 3 B 8.3, „ Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgerät,“ 2003.

# Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 17.07.2013

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2002/401

Projekttitel: Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln

Enddatum: 30.06.2013

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Zusammenfassend resultieren folgende Aussagen und Folgerungen: Bei der Prüfkörperherstellung kommt die statische Verdichtung der Praxis näher als die Prüfkörperherstellung mit Schlagverdichtung. Aus dieser Sicht kann die bisher angewandte Duriezverdichtung beibehalten werden. Um näher an die Praxisverdichtung zu gelangen wird allerdings empfohlen, die Verdichtungskraft auf 80 kN zu reduzieren. Damit wird das Labormodell näher an die Praxisverdichtung angepasst. Zur Bestimmung der Festigkeitskennwerte eignen sich sowohl Zylinderdruckfestigkeit wie auch die Spaltzugfestigkeit. Um den bisherigen Erfahrungshintergrund zu nutzen, kann die bisher angewandte Zylinderdruckfestigkeit beibehalten werden. Zur besseren Erfassung der Festigkeitsentwicklung liefert neben der 7-Tage-Festigkeit auch die Bestimmung der 28-Tage-Festigkeit aussagekräftige Resultate. Die Methode zur Bestimmung der Wasserempfindlichkeit aus dem Verhältnis der Zylinderdruckfestigkeit vor und nach 7-Tage-Wasserlagerung zeigt eine gute Selektivität; allerdings ist die bisherige Anforderungsgrenze mit der Verhältniszahl nach/vor Wasserlagerung von 0.55 aufgrund der Erfahrungswerte tief. Die Prüftemperatur hat einen massgebenden Einfluss auf die Festigkeitskennwerte. Aus diesem Grund muss neben der Lagerungstemperatur auch die Prüftemperatur festgelegt werden. Bei der Untersuchung der rezepturbedingten Einflüsse konnte festgestellt werden, dass eine Erhöhung des Bitumengehaltes eine Reduktion der Wasserempfindlichkeit und eine Reduktion der Festigkeit bewirkt. Die Zugabe von Brechsand bewirkt eine Verbesserung der Festigkeit. Dies allerdings in einem unerwartet geringen Ausmass. Im direkten Vergleich zwischen Kalt- und Heissmischgut zeigt das Kaltmischgut eine höhere Wasserempfindlichkeit, eine deutlich geringere Festigkeit und eine höhere Verformungswilligkeit. Als Bindemittel eignet sich sowohl Schaumbitumen als auch eine kationische Emulsion. Analog zu den Asphalttschichten aus Heissmischgut eignen sich auch bei Schichten aus Kaltmischgut Bohrkern zur Ermittlung der Verdichtungskennwerte. Die Verdichtungskontrolle durch Isotopensonde ist grundsätzlich bei Berücksichtigung des Wassereinflusses möglich, sollte sich jedoch im Sinne von Eigenkontrollen zur Optimierung des Verdichtungsprozesses und nicht als Abnahmeprüfungen eingesetzt werden. Bei den Tragfähigkeitsmessungen auf der eingebauten Schicht zeigt die dynamische Messmethode mit dem leichten Fallgewicht gegenüber der statischen Lastplattenmessung Vorteile bei der Temperaturempfindlichkeit. Betreffend der Lagerfähigkeit von Kaltmischgut konnte nachgewiesen werden, dass grundsätzlich eine längere Lagerung ohne negative Beeinträchtigung der Materialkennwerte möglich ist.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

**Zielerreichung:**

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, aufbauend auf den bestehenden Erfahrungen, möglichst zielgerichtete Problemlösungen zu den aktuellen Fragestellungen im Bereich der Materialtechnologie, der Labortechnik und der Anwendung in der Praxis aufzuzeigen. Schwerpunkte bilden dabei die Prüfkörperherstellung, die Festigkeitsprüfung sowie das Aufzeigen von geeigneten Kontrollmöglichkeiten am Mischgut und an der eingebauten Schicht. Dabei werden sowohl emulsionsgebundene Mischungen wie auch Mischungen mit Schaumbitumen betrachtet. Die Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit sollen als Grundlage für die Normenrevision dienen.

Die oben erwähnten Zielsetzungen wurden erreicht; zu den betreffenden Punkten kann jeweils ein auf repräsentativen Untersuchungen basierender Vorschlag abgegeben werden.

**Folgerungen und Empfehlungen:**

Als Empfehlungen für die Normenrevision resultieren im Wesentlichen die Hinweise betreffend Wahl der Duriez-Prüfkörper als massgebende Referenzprüfkörper mit der Wahl der Verdichtungskraft, die Definition der Prüftemperatur für die Festigkeitsprüfungen, die Erfassung der 28-Tage-Festigkeit, die Tragfähigkeitskontrolle durch den dynamischen Lastplattenversuch und schliesslich der Hinweis auf die Lagerfähigkeit des Kaltmischgutes.

**Publikationen:**

-

**Der Projektleiter/die Projektleiterin:**

Name: Kronig

Vorname: Manfred

Amt, Firma, Institut: Consultest AG

**Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

#### Beurteilung der Begleitkommission:

##### Beurteilung:

Die Ziele der Forschungsarbeit wurden erreicht. Mit den umfangreichen Untersuchungen und den Praxistests mit Bindemittel aus Emulsion oder mit Schaumbitumen wurden wesentliche Erkenntnisse in materialtechnischer Hinsicht sowie im Bereich der Materialprüfungen gewonnen. Es zeigte sich, dass kaltgebundene Schichten mit Ausbauasphalt durchaus Anwendungsberechtigung im modernen Strassenbau haben.

##### Umsetzung:

1. Die Erkenntnisse sind in die entsprechenden Normen zu integrieren.
2. Es liegt jetzt vor allem an den Bauherren des öffentlichen Strassennetzes, die KMF weiter zu fördern, so dass wir dem Ziel wieder einen Schritt näher kommen, den Materialkreislauf von Ausbauasphalt in Zukunft zu schliessen.

##### weitergehender Forschungsbedarf:

Strukturwerte in der Dimensionierungsnorm überprüfen, insbesondere Verhältnis KMF / AC F

##### Einfluss auf Normenwerk:

Empfehlungen für SN 640 492

#### Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Eberhard

Vorname: Hansruedi

Amt, Firma, Institut: Präsident VSS EK 4.03 Recyclingbaustoffe / Fachberater Baustoffe Eberhard Bau AG

#### Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

## Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Viellissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkierungsanlagen	2010



Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeurückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initial-	2008



Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		projekt	
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeurückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebsparkeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDA in SVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009