



Ringversuch „Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt“

Essais interlaboratoires „Profondeur d'indentation avec un poinçon à section plane, essai statique sur l'asphalte coulé“

Round robin test „Indentation with a flat stamp, static test on mastic asphalt“

**Tecnotest AG, Rüschlikon
Max Seeberger**

**IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen
Dr. Christian Angst**

Forschungsprojekt VSS 1999/125 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

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

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

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

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

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

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

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

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



Ringversuch „Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt“

Essais interlaboratoires „Profondeur d'indentation avec un poinçon à section plane, essai statique sur l'asphalte coulé“

Round robin test „Indentation with a flat stamp, static test on mastic asphalt“

Tecnotest AG, Rüschlikon
Max Seeberger

IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen
Dr. Christian Angst

Forschungsprojekt VSS 1999/125 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Max Seeberger, Tecnotest AG Rüslikon

Mitglieder

Dr. Christian Angst, IMP Bautech AG, Oberbuchsitzen

Federführende Fachkommission

Fachkommission FK 5 Bau- und Geotechnik

Begleitkommission

Präsident

Thomas Arn

Mitglieder

Mitglieder EK 5.09

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Zielsetzung	13
1.1 Statische Eindringtiefe: Normen.....	13
1.2 Wiederhol- und Vergleichspräzision	13
1.3 Zielsetzung der Forschung.....	14
1.4 Begriffe	14
2 Methodik	16
2.1 Gussasphalt, Mischgutherstellung und Probenahme	16
2.2 Prüfmethoden.....	16
2.3 Herstellen von Gussasphalt-Prüfkörpern (Würfel)	17
2.4 Organisation des Ringversuchs „Statische Eindringtiefe“	18
2.5 Statistische Verfahren	20
3 Materialien	22
3.1 Verwendete Gussasphaltsorten.....	22
3.2 Auswahl und Herstellung der künstlichen Prüfkörper	22
4 Ergebnisse	23
4.1 Ringversuch an Gussasphalt-Prüfkörpern	23
4.1.1 Gussasphalt MA 6, statische Eindringtiefen	24
4.1.2 Gussasphalt MA 8, statische Eindringtiefen	27
4.1.3 Gussasphalt MA 11, statische Eindringtiefen	30
4.1.4 Wiederholstandardabweichungen s_r der statischen Eindringtiefe	33
4.1.5 Vergleichsstandardabweichungen s_R der statischen Eindringtiefe	34
4.1.6 Prüfung der Konsistenz der Laborergebnisse.....	34
4.1.7 Präzision des Prüfverfahrens	40
4.2 Zusammensetzungen der Gussasphalte	40
4.2.1 Zusammensetzung von Proben aus verschiedenen Platten pro Sorte	40
4.2.2 Zusammensetzung von Parallelproben aus je einer Platte pro Sorte.....	43
4.2.3 Kommentare und Folgerungen zu den Zusammensetzungen.....	45
4.3 Eigenschaften der Gussasphalt-Prüfkörper	45
4.3.1 Gussasphalt MA 6: Einflüsse der Würfelherstellung.....	45
4.3.2 Gussasphalt MA 8: Einflüsse der Würfelherstellung.....	48
4.3.3 Gussasphalt MA 11: Einflüsse der Würfelherstellung.....	50
4.3.4 Kommentare und Folgerungen: Einflüsse der Würfelherstellung	52
4.4 Laboruntersuchungen an Gummi-Prüfkörpern	52
4.4.1 Eigenschaften der Gummi-Prüfkörper	52
4.4.2 Vergleich Shore-Härte zu Eindringtiefe.....	54
4.4.3 Raumdichten der Gummi-Prüfkörper	55
4.4.4 Statische Eindringtiefen, Wiederholungen als Kontrolle	57
4.5 Ringversuch an Gummi-Prüfkörpern	58
4.5.1 Statische Eindringtiefen	58
4.5.2 Kommentare und Folgerungen, Einfluss von Prüfverfahren und Prüfgeräten.....	62
5 Folgerungen	64
5.1 Ringversuch „Statische Eindringtiefe“ an Gussasphalt-Prüfkörpern.....	64
5.2 Einflüsse auf die Messunsicherheit.....	65
5.3 Eigenschaften der Gussasphalte, Inhomogenitäten	65
5.4 Eigenschaften der Gussasphalt-Prüfkörper	66

5.5 Einfluss des Prüfverfahrens inklusive Prüfgeräte, Ringversuch „Statische Eindringtiefe“
an Gummi-Prüfkörpern 66

Abkürzungen 69
Literaturverzeichnis..... 71
Projektabschluss 73
Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen 76

Zusammenfassung

Ringversuch „Statische Eindringtiefe“ an Gussasphalt-Prüfkörpern

Die Durchführung des Ringversuchs „Statische Eindringtiefe mit ebenem Stempel“ an Gussasphalt-Würfeln erfolgte im Winter 2000/2001 entsprechend der VSS-Empfehlung 671 970 „Bituminöses Mischgut; Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung“ [2] an drei Gussasphaltsorten MA 6, MA 8 und MA 11. Diese VSS-Empfehlung 671 970 [2] wurde im November 1999 veröffentlicht und war ab Januar 2000 gültig.

In der Empfehlung 671 970 [2] wurden gegenüber dem vorher verwendeten, in DIN 1996 (Teil 13), 1976 [1] beschriebenen und in der SN 640 440a übernommenen Verfahren, einige Modifikationen angebracht, von denen man sich Verbesserungen in den Wiederhol- und Vergleichbarkeiten erhoffte. Diese Präzisierungen in der VSS-Empfehlung 671 970 [2] konnten in der EN 12697-20: 2003 „Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 20: Eindringversuch an Würfeln oder Marshall-Probekörpern“ [3] eingebracht werden. Mit dem nationalen Vorwort SN 670 420 wurde diese EN [3] am 1. Januar 2005 im Schweizer Normenwerk eingeführt.

Die Angaben zu den Präzisionen der Ergebnisse, die in der Empfehlung [2] und auch in der Norm [3] angegeben sind, stammen allerdings aus DIN [1], da zum Zeitpunkt der Bearbeitung der EN-Norm [3] keine neueren Untersuchungen vorlagen.

Im Ringversuch mit 13 Laboratorien wurden keine Verbesserungen bei den Messunsicherheiten erreicht, dies trotz minutiöser Prüfbeschreibung, einer vor dem Ringversuch durchgeführten Information der beteiligten Laboratorien, der Verwendung von industriell optimal gleichmässig hergestellten Gussasphalten als Prüfmaterialien sowie aufwändiger Probenahme um möglichst gleichmässige Proben zu erhalten.

An den Gussasphalten MA 6, MA 8 und MA 11 wurden Wiederholstandardabweichungen s_r von 7.8 bis 10.0 % bestimmt. Die Angaben gemäss [1], [2] und EN [3] dazu sind 10 %. Die Vergleichsstandardabweichungen s_R betragen 14.7 bis 25.2 %. Die Angaben gemäss [1], [2] und EN [3] sind 20 %. Über 20 % liegen die Werte für MA 11. Da für die Berechnung der Präzisionen die Standardabweichungen mit dem Faktor 2.8 multipliziert werden, entsprechen auch die Wiederhol- und die Vergleichspräzisionen den Angaben gemäss Norm mit 28 und 55 %. Diese Messunsicherheiten wurden an Gussasphalten mit unterschiedlichen Eindringtiefen bestimmt. Die Mittelwerte nach 30 Minuten (ET 30) betragen für MA 6, MA 8 und MA 11: 3.9 mm, 2.2 mm und 1.3 mm.

Einflüsse auf die Messunsicherheit

Da die Ergebnisse des Ringversuchs die bisher bekannten Wiederhol- und Vergleichspräzisionen bestätigten, wurden zusätzlich zum Forschungsgesuch ergänzende Abklärungen durchgeführt, um Hinweise auf mögliche Einflussparameter aufzuzeigen.

Mit der Ringanalyse „Statische Eindringtiefe“ an denjenigen Gummi-Prüfkörpern, welche sich bei zusätzlichen Abklärungen als homogen erwiesen haben, liess sich das Ausmass des Einflusses des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte mit 20 bis 30% ermitteln.

Der grösste Einfluss von etwa 70 bis 80% resultiert aus den unterschiedlichen Eigenschaften der Gussasphalt-Prüfkörper, insbesondere durch, wie zusätzliche Untersuchungen aufgezeigt haben, unterschiedliche Gussasphalzzusammensetzungen, Hohlraumgehalte und Bindemittelhärten. Herstellung, Probenahme und Probenteilung bewirken Inhomogenität im Gussasphalt, deren Einfluss auf die Eindringtiefe sehr gross ist. Die Verdichtung der Prüfkörper ist in DIN [1], Empfehlung [2] und auch in der EN [3] nicht klar definiert. Daraus resultieren unterschiedliche Hohlraumgehalte, die einen grossen Einfluss auf die Eindringtiefe haben. Kleiner dürfte der Einfluss der zusätzlichen und unterschiedlich starken Bindemittelverhärtung bei der Würfelherstellung sein. Die Anteile der einzelnen unterschiedlichen Eigenschaften liessen sich jedoch im Betrag nicht feststellen.

Résumé

Essais interlaboratoires «Profondeur d'indentation statique sur des éprouvettes d'asphalte coulé»

Les essais interlaboratoires «Enfoncement d'un poinçon à section plane, essai statique sur asphalte coulé» ont été réalisés au cours de l'hiver 2000/2001 selon la recommandation VSS 671 970 «Enrobés bitumineux; Enfoncement d'un poinçon à section plane (indentation) essai statique» [2] sur trois sortes d'asphalte MA 6, MA 8 et MA 11. Cette recommandation 671 970 [2] avait été publiée en 1999 et était applicable à partir du mois de janvier 2000.

Dans la recommandation VSS 671 970 [2] des modifications ont été apportées par rapport à la méthode utilisée auparavant, décrite dans la norme DIN 1996 (partie 3) 1976 [1] et reprise dans la norme er SN 640 440a, dont on espérait une amélioration de la répétabilité et de la reproductibilité. Ces précisions apportées dans la recommandation VSS 671 970 [2] ont pu être introduites dans la norme EN 12697-20: 2003 «Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour les mélanges hydrocarbonés à chaud – Partie 20: Essai d'indentation sur cubes ou éprouvettes Marshall [3]. Avec l'avant-propos national SN-670 420 cette norme EN [3] a été introduite le 1 janvier 2005 dans le recueil des normes suisses.

Les indications sur la précision des résultats qui sont faites aussi bien dans la recommandation [2] que dans la norme [3], proviennent cependant de la norme DIN [1] car, au moment de l'élaboration de la norme EN [3], on ne disposait pas d'études plus récentes.

Dans ces essais interlaboratoires, on n'a pas constaté d'amélioration des incertitudes de mesure, cela malgré une description minutieuse de l'essai, une information des laboratoires participants avant les essais, l'utilisation d'asphalte d'une régularité optimale produite industriellement ainsi qu'une confection soignée des éprouvettes afin d'obtenir des éprouvettes aussi uniformes que possible.

Les 13 laboratoires participants ont déterminé sur les asphaltes coulés MA 6, MA 8 et MA 11 des écart-types de répétabilité s_r de 7.8 à 10.0 %. Les indications données dans [1], [2] et EN [3] sont elles de 10%. Les écarts-types de reproductibilité s_R atteignaient de 14.7 à 25.2 % alors que les indications données dans [1], [2] et EN [3] sont de 20 %. Les valeurs supérieures à 20 % sont celles obtenues avec l'asphalte MA 11. Comme pour le calcul des précisions, les écart-types sont multipliés par le facteur 2.8, les précisions de répétabilité et de reproductibilité correspondent aussi aux indications de la norme avec 28, respectivement 55 %. Ces incertitudes de mesure ont été déterminées sur des asphaltes présentant des indentations différentes. Les moyennes après 30 minutes (PI 30) atteignaient 3.9 mm pour le MA 6, 2.2 mm pour le MA 8 et 1.3 mm pour le MA 11.

Influences sur l'incertitude de mesure

Comme les résultats de ces essais interlaboratoires confirmaient les précisions de répétabilité et de comparabilité jusqu'ici connues, on a procédé en plus du mandat de recherche à des éclaircissements supplémentaires pour obtenir des informations sur les paramètres d'influence possibles.

L'analyse des essais interlaboratoires «Profondeur d'indentation statique» sur des éprouvettes de caoutchouc qui s'étaient révélées homogènes lors d'examen complémentaires a permis de déterminer l'ampleur de l'influence de la méthode d'essai y compris celle de l'appareil d'essai comme étant de 20 à 30%.

La plus grande influence, avec 70 à 80%, résulte des différences des propriétés des éprouvettes d'asphalte coulé ; en particulier, comme l'on montré des examens complémentaires, des différences de la composition de l'asphalte, de la teneur en vides et de la dureté des liants. Le prélèvement des échantillons et leur subdivision pour la confection des éprouvettes provoquent des inhomogénéités dans l'asphalte coulé dont l'influence sur la profondeur d'indentation est très importante. Le compactage des éprouvettes n'est pas clairement défini dans la norme DIN [1], ni dans la recommandation [2] et pas non plus dans la norme EN [3]. Il en résulte des teneurs en vides différentes qui exercent une

grande influence sur la profondeur d'indentation. L'influence du durcissement variable du liant lors de la confection des cubes devrait être plus faible. La part de chacune de ces différences dans les propriétés n'est toutefois pas quantifiable.

Summary

Round robin test: “static indentation” of mastic asphalt specimens

The round robin test “Static indentation with a flat stamp” was conducted on mastic asphalt cubes in winter 2000/2001 in accordance with VSS Recommendation 671 970 “Bituminous mixtures; Indentation with a flat stamp, static test” [2] on three types of mastic asphalt: MA 6, MA 8 and MA 11. This VSS Recommendation 671 970 [2] was issued in November 1999 and went into effect in January 2000.

In comparison with the previously used method described in DIN 1996 (Part 13), 1976 [1] and adopted in SN 640 440a, several modifications were incorporated into Recommendation 671 970 [2], from which one hoped for improvements in repeatability and reproducibility. The more precise specifications of VSS Recommendation 671 970 [2] were carried over into EN 12697-20: 2003 “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 20: Indentation using cube or cylindrical specimens” [3]. With the national Foreword SN 670 420, this EN [3] was adopted into the body of Swiss standards on 1 January 2005.

Specifications on the precision of the results given in Recommendation [2] and in Standard [3] derive from DIN [1] because no more recent studies were available at the time EN Standard [3] was being developed.

No improvement of uncertainty in measurement was achieved through the round robin test with 13 laboratories, in spite of the use of meticulous test descriptions, an instruction session for the participating laboratories conducted prior to the round robin test, optimally uniform industrially manufactured mastic asphalt for use as testing material, and careful sampling to obtain specimens of the highest possible uniformity.

A standard deviation of repeatability s_r of 7.8 to 10.0 % for the mastic asphalt types MA 6, MA 8 and MA 11 was determined. [1], [2] and EN [3] prescribe 10 %. The standard deviation of reproducibility s_R ranges from 14.7 to 25.2 %. [1], [2] and EN [3] prescribe 20 %. The values for MA 11 lie above 20 %. When calculating the precision, the standard deviation is multiplied by a factor of 2.8, thus the repeatability and reproducibility also meet the standard requirements with 28 and 55 %. These values for uncertainty in measurement were determined using mastic asphalt types with varying degree of indentation. The mean values after 30 minutes (ET 30) for MA 6, MA 8 and MA 11 are 3.9 mm, 2.2 mm and 1.3 mm.

Influences on uncertainty in measurement

Because the round robin test results confirmed the previously usual levels of repeatability and reproducibility, further studies were conducted beyond the testing mandate that might indicate potential influencing parameters.

In the round robin analysis of “static indentation” on rubber test specimens, which through further investigation proved to be homogeneous, the degree of influence of the test method, including the testing apparatus, was determined to be 20 to 30%.

The greatest influence of about 70 to 80% resulted from the different properties of the mastic asphalt test specimens; especially, as shown by additional investigation, different mastic asphalt compounds, void content and binder hardness. Manufacturing, sampling, and sample division cause non-homogeneousness in mastic asphalt, which has a great influence on indentation depth. The compaction of test specimens is not clearly defined in DIN [1], Recommendation [2] or EN [3]. This leads to differing void content, which has a great influence on indentation. The influence of additional and varying degrees of binder hardening in cube manufacturing is less. However, the proportion of the various individual properties in the results could not be determined.

1 Zielsetzung

1.1 Statische Eindringtiefe: Normen

Die Durchführung der Prüfung „Statische Eindringtiefe mit ebenem Stempel“ an Gussasphalt-Würfeln erfolgte in der Schweiz bis zur Einführung der VSS-Empfehlung 671 970 „Bituminöses Mischgut; Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung“ [2] im November 1999 und gültig ab Januar 2000 gemäss des in DIN 1996 (Teil 13) [1] beschriebenen Verfahrens. In der VSS-Empfehlung [2] wurden einige Modifikationen angebracht, von denen man sich Verbesserungen der Wiederholbarkeit erhoffte.

Die Verbesserungen in der VSS-Empfehlung [2] konnten in der EN 12697-20 „Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 20: Eindringversuch an Würfeln oder Marshall-Probekörpern“ [3] eingebracht werden. Mit dem nationalen Vorwort SN 670 420 wurde diese EN [3] am 1. Januar 2005 im Schweizer Normenwerk eingeführt.

Die Angaben zur Präzision der Ergebnisse, die in der Empfehlung [2] und auch in der Norm [3] angegeben sind, stammen allerdings aus [1], da zum Zeitpunkt der Bearbeitung der EN-Norm [3] keine neueren Untersuchungen vorlagen.

1.2 Wiederhol- und Vergleichspräzision

Die im Folgenden aufgeführte Wiederhol- und Vergleichspräzision des Prüfverfahrens aus den Normen [1], [2] und [3] sind für die tägliche Arbeit in der Praxis völlig unbefriedigend.

Zusätzlich definiert ist die zulässige Spannweite der für die Berechnung des arithmetischen Mittels verwendeten Einzelwerte. Sie muss bei Ergebnissen ab 1mm kleiner oder gleich 20 % vom Mittelwert sein, bei Ergebnissen unter 1 mm kleiner 0.2 mm sein.

Die Angaben in Tabelle 1.1 gelten für Prüfergebnisse, gebildet als arithmetische Mittel von zwei Einzelwerten. Die Prüfbedingungen, insbesondere die Belastungszeiten von 30 und 60 Minuten, sind dabei gemäss EN [3], Ziffer 5.2, zu wählen.

Tabelle 1.1, Präzisionsangaben für den Eindringversuch gemäss [1], [2] und [3]

	Wiederholpräzision		Vergleichspräzision	
	Standard-abweichung	Wiederhol-präzision	Standard-abweichung	Vergleichs-präzision
Prozentsatz des Zahlenwertes des Prüfergebnisses	10 %	28 %	20 %	55 %

Diese Präzisionswerte bedeuten, dass die Prüfergebnisse zweier gleichen Proben innerhalb des gleichen Labors um bis zu 28 % auseinander liegen dürfen, die Prüfergebnisse zweier verschiedener Labors sogar um bis zu 55 %.

Die Prüfergebnisse der statischen Eindringtiefen mit ebenem Stempel werden grundsätzlich durch folgende Parameter beeinflusst:

1. Inhomogenität des Gussasphaltes als Folge der Probenahme und Probenteilung,
2. Unterschiedliche Eigenschaften der Prüfkörper infolge ihrer Herstellung (Erwärmung und Verdichtung),
3. Unterschiede bei den Prüfgeräten für die Eindringprüfung.

1.3 Zielsetzung der Forschung

Die Ziele der vorliegenden Arbeit sind:

1. Im Rahmen eines Ringversuches sind die Wiederhol- und Vergleichspräzision des Prüfverfahrens neu zu bestimmen, um aktuelle Werte zu erhalten.

Da die Ergebnisse des Ringversuches die bisher bekannten Wiederhol- und Vergleichspräzision im Wesentlichen bestätigen, wurden – zusätzlich zum Forschungsgesuch - folgende Abklärungen durchgeführt, um Hinweise auf mögliche Einflussparameter aufzuzeigen:

2. Bestimmen der Zusammensetzung von einigen Gussasphalt-Platten bzw. Gussasphalt-Proben pro Sorte zur Beurteilung der bei der Herstellung erreichten Homogenität.
3. Bestimmen der Eigenschaften von Prüfkörpern bzw. Prüfwürfeln zur Ermittlung des Einflusses von Erwärmung und Verdichtung bei der Herstellung.
4. Durchführen einer Ringanalyse zur statischen Eindringtiefe an Gummi-Prüfkörpern, um den Anteil des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte abzuschätzen. Die Differenz zur gesamten Variation ergibt den Anteil, den die Gussasphalt-Prüfkörper bewirken.

1.4 Begriffe

Gussasphalt: Heiss giessbares Mischgut aus Asphalt. Die Sorten werden gemäss der zur Zeit der Drucklegungen gültigen Norm SN 640440 [19] mit MA 6, MA 8 und MA 11 bezeichnet, obwohl diese Mischgüter zur Zeit der Durchführung der Forschung als GA 6, GA 8 und GA 11 normiert waren.

Messniveau: Im statistischen Sinne der Wertebereich der Prüfergebnisse, aus denen die Kennwerte der Präzision ermittelt werden. Diese Forschungsarbeit behandelt durch die Verwendung dreier Gussasphaltsorten drei unterschiedliche Messniveaus. Da jeweils drei Prüfergebnisse pro Prüfung (Eindringtiefe nach 30 Minuten, nach 60 Minuten und Zunahme der Eindringtiefe zwischen 30 und 60 Minuten) in die Auswertung mit einbezogen wurden, ergeben sich pro Prüfergebnis drei Messniveaus.

Messunsicherheit: Die Messunsicherheit des Schätzwertes oder *Schätzers* einer physikalischen Größe grenzt einen Wertebereich ein, innerhalb dessen der wahre Wert der Messgröße mit einer anzugebenden Wahrscheinlichkeit liegt (üblich ist eine Angabe für 95 %).

Präzision: Satz von Kenngrößen, die die Genauigkeit eines Prüfverfahrens beschreiben. Im Zentrum stehen die Wiederholpräzision und die Vergleichspräzision.

Vereinbarkeitsprüfgrösse h und k: Kennwerte der statistischen Auswertung nach Mandel. Die Vereinbarkeitsprüfgrösse k dient zur Überprüfung der Konsistenz der Messungen innerhalb der Labors. Die Vereinbarkeitsprüfgrösse h dient zur Überprüfung der Konsistenz der Messungen zwischen den Labors. Die Vergleichbarkeitsprüfgrösse ist ein allgemeiner Begriff, der verwendet wird, wenn unabhängig von der zu erreichenden Vertrauensgrenze argumentiert wird

Vereinbarkeitsgrösse: Vereinbarkeitsprüfgrösse geltend für die gewählte Vertrauensgrenze.

Vergleichspräzision R: Ist die Differenz der Ergebnisse, die nur in einem von 20 Fällen überschritten wird. Die Ergebnisse werden am gleichen Material, mit dem gleichen Verfahren gewonnen, die Durchführung findet aber in unterschiedlichen Labors mit unter-

schiedlicher Apparatur und unterschiedlichen Operatoren statt.

Vergleichsstandardabweichung s_R : Standardabweichung der bezüglich Ausreisser bereinigten Mittelwerte der an einem Ringversuch teilnehmenden Labors.

Wiederholpräzision r : Ist die Differenz der Ergebnisse, die nur in einem von 20 Fällen überschritten wird. Die Ergebnisse werden am gleichen Material, mit dem gleichen Verfahren gewonnen, die Durchführung findet aber im gleichen Labor mit gleicher Apparatur und gleichem Operator statt.

Wiederholstandardabweichung s_r : Standardabweichung der Ergebnisse, mehrfach unter Wiederholbedingungen durchgeführter Bestimmungen.

2 Methodik

2.1 Gussasphalt, Mischgutherstellung und Probenahme

Um eine möglichst kleine Streuung in der Zusammensetzung des Mischgutes der einzelnen Proben zu erreichen, wurde folgendes Verfahren für alle drei MA-Sorten festgelegt:

- Es wurden pro Sorte 4 Tonnen Mischgut hergestellt und während einer Stunde in einem stationären Gussasphaltkocher der Anlage (Aeschlimann AG, Boningen) unter ständigem Rühren nachgekocht.
- Die 4 Tonnen wurden in einen Fahrkocher abgefüllt und auf die Einbaustelle gebracht.
- Gussasphalt aus dem mittleren Drittel des Fahrkochers wurde in drei vorbereitete Rahmen zu total 72 Platten gegossen, wobei jeweils folgende normgerechten Schichtdicken angestrebt wurden:

MA 6 (Bezeichnung nach damals geltender Norm GA 6)	25 mm
MA 8 (Bezeichnung nach damals geltender Norm GA 8)	30 mm
MA 11 (Bezeichnung nach damals geltender Norm GA 11)	40 mm

Drei Rahmen mit 24 Feldern wurden dazu auf je eine Stahlplatte gestellt und bis zur oben angegebenen Einbauhöhe gefüllt. Die Ausmasse der 72 Gussasphaltplatten betragen je 300 x 400 mm.

- Pro Gussasphaltsorte wurden jedem beteiligten Labor drei solche Gussasphaltplatten als Laborprobe zugeteilt, wobei die Nummern der Platten vor der Herstellung festgelegt wurden. IMP erhielt zum Beispiel folgende Platten:

MA 6	Platten Nr. 12, 30, 48
MA 8	Platten Nr. 12, 30, 48
MA 11	Platten Nr. 12, 30, 48

2.2 Prüfmethoden

Die Prüfungen wurden in den Jahren 2000 und 2001 durchgeführt. Die damals gültigen Normen sind als Referenz aufgeführt. Im Jahre 2005 haben zwei wichtige Begriffe geändert:

die **Rohdichte** wird ab 2005 als **Raumdichte** bezeichnet

die **Dichte-Mischgut** wird ab 2005 als **Rohdichte-Mischgut** bezeichnet

Gegenüber dem Zeitpunkt der Fertigstellung des Berichtes im Jahre 2014 haben die eingesetzten Prüfverfahren unwesentlich geändert. Die Ergebnisse sind mit denjenigen, die mit den heute gültigen EN-Normverfahren bestimmt werden, vergleichbar.

Die Tabelle 2.1 listet die angewandten Prüfverfahren und ihren Anwendungsbereich auf.

Tabelle 2.1, Prüfverfahren und Anwendungsbereiche

Prüfverfahren	Referenz	Anwendungsbereich
Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung	Empfehlung 671 970 [2]	Würfel Gussasphalt
Bituminöses Mischgut Rohdichte, Berechnen des Hohlraumgehaltes (Rohdichte wird ab 2005 als Raumdichte bezeichnet)	SN 671 967a [4]	Würfel Gussasphalt
Bituminöses Mischgut Dichte (Dichte wird ab 2005 als Rohdichte bezeichnet)	SN 671 965a [5]	Gussasphalt-Mischgut
Bituminöses Mischgut, Bestimmen des löslichen Bindemittelanteils	SN 671 955a [6]	Gussasphalt-Bindemittel
Ab April 2001 Asphalt Teil 1 Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401 [7] EN 12697-1:2000/AC [7]	
Mineralische Baustoffe und Lockergesteine, Siebanalyse	SN 670 810 [8]	Gussasphalt-Mineralstoffe
Bituminöses Bindemittel Rückgewinnung aus Extraktionslösungen.	SN 670 510 [9]	Bindemittel
Ab April 2001 Asphalt Rückgewinnung des Bindemittels: Rotationsverdampfer	SN 670 403 [10] EN 12697-3:2000 [10]	
Bituminöse Bindemittel Bestimmung der Penetration	SN 671 740 [11]	Bindemittel
Ab Juni 2000: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel; Bestimmung der Nadel-Penetration	EN 1426:1999 [12]	
Bituminöse Bindemittel Bestimmung des Erweichungspunktes R.u.K.,	SN 671 743 [13]	Bindemittel
Ab Juni 2000 Bestimmung des Erweichungspunktes Ring und Kugel-Verfahren	SN 670 500-8 [14] EN 1427:1999 [14]	
Bituminöse Bindemittel Penetrationsindex (PI)	SN 671 744a [15]	Bindemittel
Shore-Härte	Norm ISO 868:1985 Kunststoffe und Elastomere, Bestimmen der Eindruckhärte mit dem Härteprüfgerät nach Shore DIN 53505 / August 2000, Härteprüfung nach Shore A und Shore D [16]	Gummiwürfel

2.3 Herstellen von Gussasphalt-Prüfkörpern (Würfel)

Alle Analysenproben für Laboruntersuchungen wurden aus den Gussasphaltplatten kalt entnommen um die Prüfungen gemäss Tabelle 2.1 durchzuführen. Diese Gussasphalte wurden nur einmal bei der Gussasphalt-Herstellung erhitzt.

Für die Herstellung der Gussasphalt-Würfel der Kantenlänge von 70 mm wurden pro Würfel etwa 900 bis 1000 g Gussasphalt in einem Behälter auf die Vergiesstemperatur von etwa 220 bis 230°C erwärmt, durchgemischt und in die Würfelform lagenweise ein-

gebracht und verdichtet. Jeder Würfel wurde einzeln hergestellt, der Gussasphalt dafür kalt geteilt. Pro Prüfung der statischen Stempelintritttiefe wurden normgemäss jeweils 2 Würfel hergestellt und geprüft.

Um den Einfluss der Würfelherstellung auf den Gussasphalt abzuklären, wurden auch Analysenproben aus den Würfeln entnommen. Die Gussasphalte wurden somit zweimal erhitzt, bei der Gussasphalt-Herstellung und bei der Würfel-Herstellung.

2.4 Organisation des Ringversuchs „Statische Eindringtiefe“

Der Ringversuch wurde auf der Basis der Standard-Checkliste des Amtes für Messwesen [17] für Vergleichsprüfungen (Ringversuche) bei Bauprodukten durchgeführt, die von der schweizerischen Akkreditierungsstelle SAS publiziert wurde.

Labors, die Interesse an einer Teilnahme hatten, wurden zu einer Informationsveranstaltung eingeladen. Dabei wurde die Organisation des Ringversuches besprochen, die Versuchsdurchführung präzisiert sowie die abzugebenden Unterlagen festgelegt. Die zu verwendenden Formulare wurden auf elektronischem Datenträger den Labors verteilt.

Sämtliche unten aufgeführten Labors unterzeichneten schliesslich eine Vereinbarung in welcher Dokumentenfluss, Vertraulichkeit, Prüfungsumfang und Termine festgelegt wurden. Die Reihenfolge der Labors in der Tabelle entspricht nicht der Nummerierung L1 bis L13 der Daten in Kapitel 4.

Tabelle 2.2, Teilnehmende Labors

Labor	Adresse	
Batilabor AG	Könizstrasse 131	3097 Bern
Baudepartement Kanton Aargau	Abteilung Tiefbau	5001 Aarau
EMPA, Abteilung 113	Überlandstrasse 129	8600 Dübendorf
ERTEC SA	Place du Grand-Mont 9	1052 Le Mont/s Lausanne
Frutiger AG	Labor	3661 Uetendorf
IMP Bautest AG	Hauptstrasse 591	4625 Oberbuchsiten
Canton de Vaud	Laboratoire d'essais de matériaux	1400 Yverdon
Service des routes nationales		
LAVOC	EPFL	1015 Lausanne
Prüflabor AG	Rorschacherstrasse 1107	9402 Mörschwil
SACR	Chemin du Bochet 12	1024 Ecublens
Tecnotest AG	Alemannenweg 4	8803 Rüslikon
Viagroup AG	Technoramastrasse 8	8404 Winterthur
Walo Bertschinger AG	Postfach 7534	8023 Zürich

Die Abbildung 2.1 zeigt das den teilnehmenden Labors zugestellte Formular, das zum Erfassen der Ergebnisse eingesetzt wurde.

FA 17/99 Ringversuch, statische Eindringtiefe						SN 671 970	
Prüflabor	Name	Muster AG				Datum	
	Strasse						
	PLZ/Ort						
Mischgut		GA 6					
Bindemittel							
Bemerkungen							
Probe Nr.		6 / 3		6 / 21		6 / 39	
Prüfkörper Nr.		1	2	1	2	1	2
Herstellung der Prüfkörper							
Datum		27.11.2000	27.11.2000	27.11.2000	27.11.2000	28.11.2000	28.11.2000
Temp. Wärmeschrank (g °C		238.0	238.0	243.0	243.0	248.0	248.0
Beginn Aufw ärmen Uhr h:min		11:30	11:30	11:30	11:30	10:00	10:00
Beginn Würfel giessen U h:min		13:45	13:50	13:30	13:35	12:00	12:05
Temperatur GA beim Gie °C		232.0	232.0	233.0	231.0	235.0	236.0
Abmessungen Würfel							
Länge	mm	71.9	71.7	70.7	71.4	70.7	70.6
Breite Höhe	mm	72.6	70.7	69.3	72.3	69.4	71.0
Gewicht	g	843.3	816.6	799.4	839.2	792.8	827.0
Rohdichte (Tauchw ägun g/cm³		2.3070	2.3050	2.3130	2.3080	2.3110	2.3130
Rohdichte (Tauchw ägun g/cm³		2.3060		2.3105		2.3120	
Prüfung							
Datum		28.11.2000	28.11.2000	28.11.2000	28.11.2000	29.11.2000	29.11.2000
Uhrzeit Beginn Wasserla h:min		11:00	11:00	10:00	10:00	10:00	10:00
Temperatur Wasserbad °C		40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Uhrzeit Beginn Prüfung h:min		12:00	12:00	11:00	11:00	11:00	11:00
Prüfergebnisse							
Einzelwerte							
Eindringtiefe 30'	mm	3.60	3.71	3.31	3.80	3.16	3.28
Eindringtiefe 60'	mm	4.51	4.65	4.09	4.82	3.91	4.01
Zunahme 30'/60'	mm	0.91	0.94	0.78	1.02	0.75	0.73
Mittelwerte							
Eindringtiefe 30'	mm	3.66		3.56		3.22	
Eindringtiefe 60'	mm	4.58		4.46		3.96	
Zunahme 30'/60'	mm	0.93		0.90		0.74	
Bemerkungen							

Abb. 2.1 Formular zum Erfassen der Ergebnisse des Ringversuches durch die Labors

2.5 Statistische Verfahren

Die statistische Auswertung der eingegangenen Laborergebnisse erfolgte gemäss der Norm ISO 5725 „Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen“ [18].

Zur Anwendung kam eine Software, die vom VPL (Schweizerische Vereinigung Privater Labors für die Baustoffprüfung und Forschung) eigens für die Auswertung von Ringversuchen im Baubereich entwickelt wurde. Die Norm [18] verwendet zur Berechnung der Wiederhol- und Vergleichsbedingungen ein grafisches Verfahren nach Mandel und zwei numerische Verfahren, den Cochran's und den Grubb's Test. Die statistische Auswertung wurde von Dr. Remy Gubler, Remy Gubler Beratung, Thuis, durch zusätzliche Auswertungen und Interpretationen, beispielsweise in den Kapiteln 4.1.6 und 4.1.7, ergänzt und der Bericht wurde durch ihn in wesentlichen Teilen mitverfasst und kommentiert.

Die statistische Auswertung der Messergebnisse beinhaltet folgende drei Stufen:

1. Kritische Prüfung der Daten, um Ausreisser und Unregelmässigkeiten bei der Anwendung des Messverfahrens festzustellen und auszuschliessen. Dabei werden die Verfahren nach Mandel, Cochran und Grubb eingesetzt.
2. Separate Berechnung der Vergleichs- und Wiederholpräzision und der Mittelwerte für jedes Messniveau.
3. Berechnung der Vergleichs- und Wiederholpräzision des Verfahrens, des generellen Mittels und, sofern vorhanden, die Bestimmung der Abhängigkeit der Präzision vom Messniveau.

Die einzelnen Tests zur Prüfung der Daten sind in der Norm [18] ausführlich beschreiben. Im Folgenden werden diese kurz vorgestellt:

Mandel's k Test

Dieser Test beurteilt die Konsistenz der Messungen **innerhalb eines Labors**. Dabei wird für jedes Labor (und für jede Gussasphaltsorte) die Vereinbarkeitsprüfgrösse k als Verhältnis der Standardabweichung der Messungen eines Labors und der gemittelten Standardabweichungen aller Labors berechnet.

Diese Vereinbarkeitsprüfgrössen k werden zusammen mit den kritischen Werten bei 95% und 99% Wahrscheinlichkeit als Balken in eine Grafik gezeichnet, Beispiel siehe Abb. 4.10. Werte die eindeutig über den kritischen Werten liegen, sind genauer zu untersuchen und eventuell auszuschliessen.

Mandel's h Test

Dieser Test beurteilt die Konsistenz der Messungen **zwischen den Labors**. Dabei wird für jedes Labor (und für jede Gussasphaltsorte) die Vereinbarkeitsprüfgrösse h aus dem Verhältnis der Abweichung der Labormittelwerte und der Standardabweichung der Mittelwerte berechnet.

Diese Vereinbarkeitsprüfgrössen h werden zusammen mit den kritischen Werten bei 95% und 99% Wahrscheinlichkeit als Balken in eine Grafik gezeichnet, Beispiel siehe Abb. 4.11. Werte die eindeutig über den kritischen Werten liegen, sind genauer zu untersuchen und eventuell auszuschliessen.

Cochran's h Test

Die Norm ISO 5725 [18] setzt zur Berechnung die Präzision voraus, dass die Messungen **innerhalb eines Labors** möglichst kleine Streuungen aufweisen. Die Einhaltung dieser Voraussetzung wird mit dem Cochran's Test überprüft.

Der Cochran Test kann nur durchgeführt werden, wenn in allen Labors die gleiche Anzahl Wiederholmessungen (Einzelwerte) durchgeführt worden sind.

Die Testgrösse C wird berechnet aus dem Quotient der grössten Standardabweichung (aller Labors) im Quadrat und der Summe aller Standardabweichungen im Quadrat. Die so berechnete Testgrösse C wird nun mit dem kritischen Werten bei 95% und 99% Wahrscheinlichkeit verglichen.

Messungen eines Labors werden als Ausreisser bezeichnet, wenn die Testgrösse C grösser als der kritische Wert bei 99% Wahrscheinlichkeit ist. Diese Messwerte sind zu verwerfen und der Test ist mit den restlichen Messwerten zu wiederholen.

Grubb's h Test

Mit dem Grubb's Test werden die Messungen **(Mittelwerte) der Labors untereinander verglichen**, wobei der Test sowohl für die grössten als auch die kleinsten Mittelwerte durchzuführen ist.

Der Grubb's Test wird zuerst auf den grössten Wert angesetzt. Ist dieser ein Ausreisser, wo werden die Messwerte ausgeschlossen und der Test für den kleinsten Mittelwert durchgeführt. Wird dabei ein Ausreisser festgestellt, so sind die Messwerte ebenfalls auszuschliessen und der Test ist für den verbleibenden grössten Wert durchzuführen. Das Verfahren ist so lange fortzuführen, bis keine Ausreisser mehr festgestellt werden können.

Berechnung der Präzision

Für die Bestimmung der Gesamtpräzision des Messverfahrens werden zuerst für jedes Messniveau j das generelle Mittel m_j , die Wiederholstandardabweichung s_{rj} und die Vergleichsstandardabweichung s_{Rj} berechnet.

Beseht keine Abhängigkeit der Präzisionsmasse s_{rj} und s_{Rj} vom generellen Mittel m_j , so wird die Gesamtpräzision des Messverfahrens als Mittelwert der Präzisionsmasse s_{rj} und s_{Rj} ausgedrückt. Zeigt sich hingegen eine gewisse Abhängigkeit, so wird die Gesamtpräzision als Funktion des Mittelwertes angegeben. In der Regel erfolgt dies durch Angabe einer prozentualen Grösse.

Anstelle der Standardabweichung s_r und S_r können auch die Wiederholgrenze r und die Vergleichsgrenze R berechnet werden.

3 Materialien

3.1 Verwendete Gussasphaltsorten

Für die Durchführung des Ringversuches wurden 3 Gussasphaltsorten ausgewählt, die alle in der gleichen Anlage aufbereitet wurden. Die untenstehende Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht über die wesentlichen Eigenschaften dieser Gussasphalte. Im Kapitel 2.2 „Mischgutuntersuchungen“ sind weitergehende Angaben zu den Mischungen zu finden.

Tabelle 3.1: Mischgut-Kennwerte der verwendeten Gussasphaltsorten

Mischgut Sorte		MA 6	MA 8	MA 11
Lieferbezeichnung, alte Norm		GA 6 N	GA8 TN	GA 11 TSP
Bindemittelsorte		B 50/70	B 50/70	PmB
Zusätze	Masse-%	Keine	TE	TE
Bindemittelgehalt löslich	Masse-%	8.9	7.6	6.9
Füllergehalt	Masse-%	30.4	29.4	24.0
Sandgehalt	Masse-%	35.2	33.1	28.3
Splittgehalt	Masse-%	34.4	37.5	47.7
Statische Eindringtiefe 30 Min	mm	3.2	2.1	1.0
Zunahme Eindringtiefe 30/60	mm	0.8	0.4	0.2

TE: Trinidad Naturasphalt (TE Z 0/8)

3.2 Auswahl und Herstellung der künstlichen Prüfkörper

Die Durchführung eines Ringversuches statische Eindringtiefe mit einem „künstlichen Prüfkörper“ soll über die Präzision des Prüfverfahrens inklusive den Einfluss der Prüfgeräte Aufschluss geben. Zu diesem Zweck wurde ein Material gewählt, das möglichst homogen ist und konstante Eigenschaften aufweist. Die an diesem Material gemessenen Eindringtiefen sollten in der gleichen Größenordnung wie der Gussasphalt liegen.

Nach einigen Abklärungen wurde ein Gummiwerkstoff gewählt, der üblicherweise für die Herstellung von Elastomerauflagern bei Brückenobjekten verwendet wird.

Die Firma Mageba SA wurde beauftragt 20 Würfel 70 x 70 x 70 mm mit ihrem Produkt TUM-BvL (DIN 4141, Teil 14/140) herzustellen. Die Prüfkörper wurden am 18. Juli 2001 mit der Bezeichnung Metalgamma Nr. 9210 bis 9229 geliefert.

4 Ergebnisse

4.1 Ringversuch an Gussasphalt-Prüfkörpern

Von den drei, in die Untersuchungen einbezogenen Gussasphaltsorten MA 6, MA 8 und MA 11 wurden jedem Labor je 3 Platten für Dreifachbestimmungen zugestellt.

Dieses Kapitel zeigt die Ergebnisse, statische Eindringtiefe nach 30 Minuten ET 30, nach 60 Minuten ET 60 und Zunahme der Eindringtiefe zwischen 30 und 60 Minuten ZET 30-60, der Dreifachbestimmung im Rahmen des Ringversuches.

Dabei sind die Daten in den Tabellen 4.1 bis 4.9 nicht in der von den Teilnehmern des Ringversuches zugestellten Reihenfolge aufgeführt, sondern in aufsteigender Reihenfolge. Die Spalte 2 enthält den minimalen der drei Werte, die Spalte 3 den mittleren (statistisch gesprochen der Zentralwert) und die Spalte 4 den maximalen; in der Spalte 5 folgt dann der Mittelwert. Diese Anordnung wurde gewählt, um einerseits aussagekräftige grafische Darstellungen in Abb. 4.1 bis 4.9 zu erzeugen, andererseits um den Überblick über die Ergebnisse zu erleichtern.

In den Spalten 6 und 7 sind schliesslich die absolute Standardabweichung und ihr relativer Wert (in Prozent bezogen auf den Mittelwert) aufgeführt.

Die Tabellen 4.1 bis 4.3 und die zugehörigen Abbildungen 4.1 bis 4.3 enthalten die Daten zum Gussasphalt MA 6, die Tabellen und Abbildungen 4.4 bis 4.6 jene zum Gussasphalt MA 8 und die Tabellen und Abbildungen 4.7 bis 4.9 jene zu Gussasphalt MA 11.

Die Tabellen und Abbildungen 4.1, 4.4 und 4.7 enthalten die Daten zur Eindringtiefe ET 30 (nach 30 Minuten Belastung), die Tabellen und Abbildungen 4.2, 4.5 und 4.8 jene zu den Eindringtiefen ET 60 (nach 60 Minuten Belastung) und die Tabellen und Abbildungen 4.3, 4.6 und 4.9 jene zur Zunahmen der Eindringtiefen ZET 30-60 (Zunahme zwischen 30 und 60 Minuten Belastung).

4.1.1 Gussasphalt MA 6, statische Eindringtiefen

Tabelle 4.1 Statische Eindringtiefe ET 30, Gussasphalt MA 6

Labor	Minimum	Zentralwert	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
	[mm]	[mm]	[mm]		absolut	relativ
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
L1	3.93	4.05	4.93	4.30	0.546	13%
L2	4.70	4.82	5.32	4.95	0.329	7%
L3	3.34	3.40	3.86	3.53	0.284	8%
L4	4.17	4.21	4.51	4.30	0.186	4%
L5	2.97	3.12	3.21	3.11	0.121	4%
L6	3.31	3.39	3.56	3.42	0.128	4%
L7	3.84	3.94	4.40	4.06	0.299	7%
L8	3.22	3.56	3.66	3.48	0.231	7%
L9	3.43	3.50	4.02	3.65	0.322	9%
L10	3.34	3.43	3.67	3.48	0.171	5%
L11	4.37	4.45	4.91	4.58	0.291	6%
L12	2.98	3.64	3.75	3.46	0.416	12%
L13	3.99	4.41	5.37	4.59	0.707	15%
Mittel aller Mittelwerte				3.92		
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r					0.312	7.8%
Vergleichsstandardabweichung s_R der Mittelwerte				0.575		14.7%

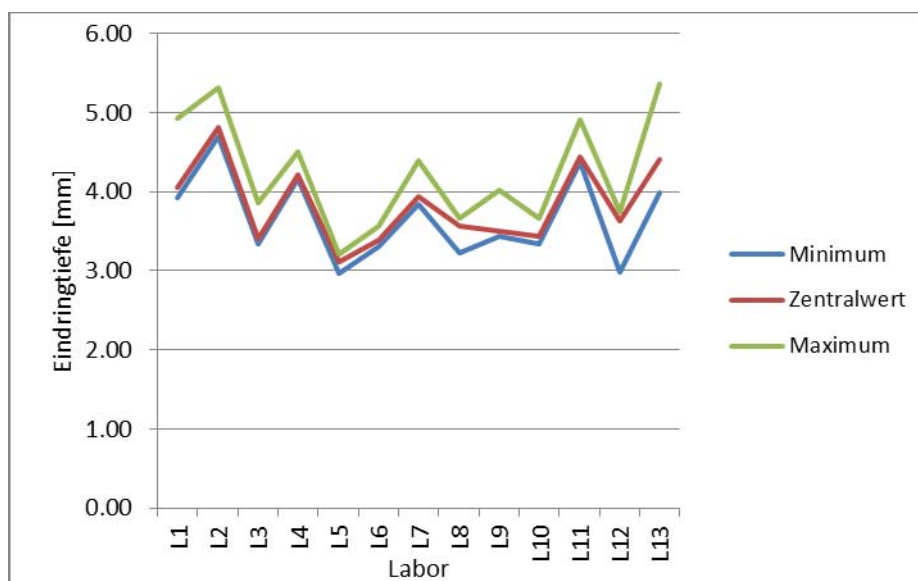


Abb. 4.1 Statische Eindringtiefe ET 30, am Gussasphalt MA 6

Tabelle 4.2 Statische Eindringtiefe nach ET 60, Gussasphalt MA 6

Labor	Minimum	Zentralwert	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	absolut [mm]	relativ [%]
L1	4.84	4.97	6.21	5.34	0.756	14%
L2	5.68	5.93	6.36	5.99	0.344	6%
L3	4.07	4.15	4.78	4.33	0.389	9%
L4	5.11	5.25	5.51	5.29	0.203	4%
L5	3.60	3.75	3.96	3.77	0.181	5%
L6	4.10	4.23	4.45	4.26	0.177	4%
L7	4.74	5.00	5.51	5.08	0.392	8%
L8	3.96	4.46	4.58	4.33	0.329	8%
L9	4.20	4.33	4.95	4.49	0.401	9%
L10	4.10	4.27	4.48	4.28	0.190	4%
L11	5.50	5.61	6.25	5.79	0.405	7%
L12	3.63	4.45	4.66	4.25	0.544	13%
L13	4.93	5.42	6.90	5.75	1.026	18%
Mittel aller Mittelwerte				4.84		
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r					0.410	8.3%
Vergleichsstandardabweichung s_R der Mittelwerte				0.727	15.0 %	

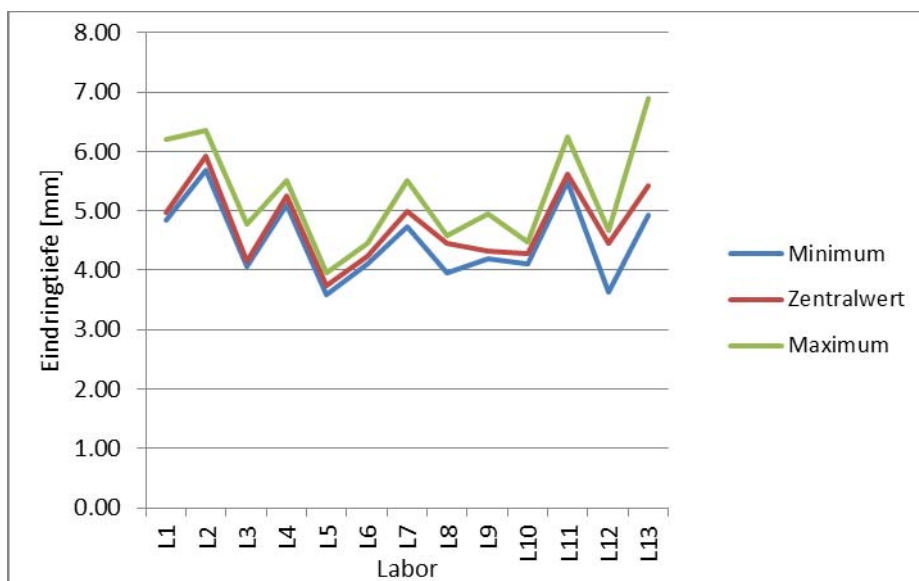


Abb. 4.2 Statische Eindringtiefe ET 60, am Gussasphalt MA 6

Tabelle 4.3 Zunahme der statischen Eindringtiefe ZET 30-60, am Gussasphalt MA 6

Labor	Minimum	Zentral-	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
	[mm]	wert [mm]	[mm]		absolut [mm]	relativ [%]
L1	0.92	0.92	1.28	1.04	0.208	20%
L2	0.98	1.04	1.11	1.04	0.065	6%
L3	0.73	0.76	0.92	0.80	0.102	13%
L4	0.94	1.00	1.04	0.99	0.050	5%
L5	0.63	0.63	0.71	0.66	0.046	7%
L6	0.79	0.84	0.89	0.84	0.050	6%
L7	0.90	1.06	1.11	1.02	0.110	11%
L8	0.74	0.90	0.93	0.86	0.102	12%
L9	0.77	0.83	0.94	0.85	0.086	10%
L10	0.76	0.81	0.84	0.80	0.040	5%
L11	1.13	1.17	1.34	1.21	0.112	9%
L12	0.66	0.82	0.92	0.80	0.131	16%
L13	0.95	1.01	1.53	1.16	0.319	27%
Mittel aller Mittelwerte				0.93		
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r					0.109	11.4%
Vergleichsstandardabweichung s_R der Mittelwerte				0.162		17.5%

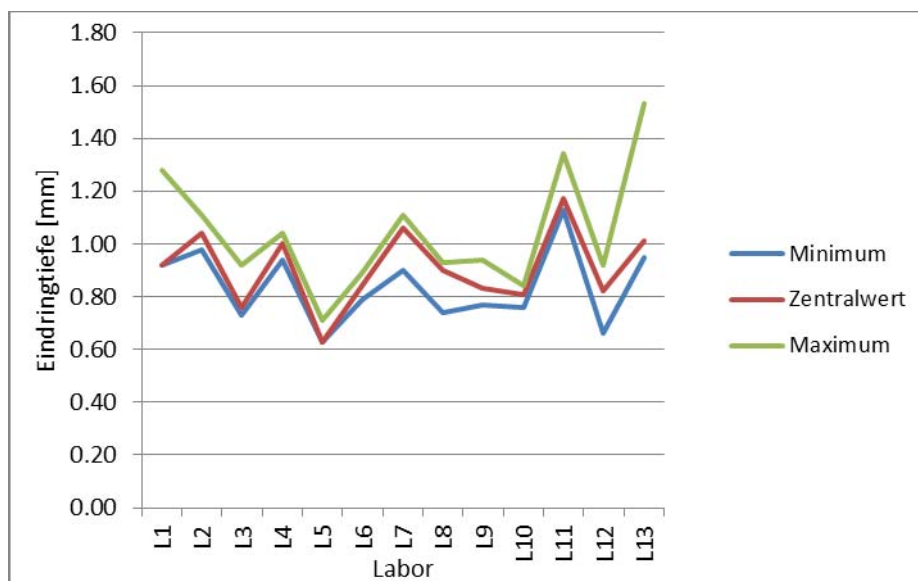


Abb. 4.3 Zunahme der statischen Eindringtiefe ZET 30-60, am Gussasphalt MA 6

4.1.2 Gussasphalt MA 8, statische Eindringtiefen

Tabelle 4.4 Statische Eindringtiefe nach ET 30, Gussasphalt MA 8

Labor	Minimum	Zentral-	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
	[mm]	wert [mm]	[mm]		absolut [mm]	relativ [%]
L1	1.88	1.96	2.11	1.98	0.117	6%
L2	2.44	2.71	3.25	2.80	0.412	15%
L3	1.54	1.61	1.86	1.67	0.168	10%
L4	2.35	2.63	2.66	2.55	0.171	7%
L5	1.76	1.80	1.89	1.82	0.067	4%
L6	1.91	1.97	2.07	1.98	0.081	4%
L7	2.61	2.63	2.88	2.71	0.150	6%
L8	1.90	2.08	2.36	2.11	0.232	11%
L9	2.10	2.11	2.22	2.14	0.067	3%
L10	1.88	1.89	2.02	1.93	0.078	4%
L11	2.12	2.32	2.46	2.30	0.171	7%
L12	1.20	2.05	2.51	1.92	0.665	35%
L13	2.55	3.46	3.65	3.22	0.588	18%
Mittel aller Mittelwerte				2.241		
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r					0.228	9.9%
Vergleichsstandardabweichung s_R der Mittelwerte				0.452		20.2%

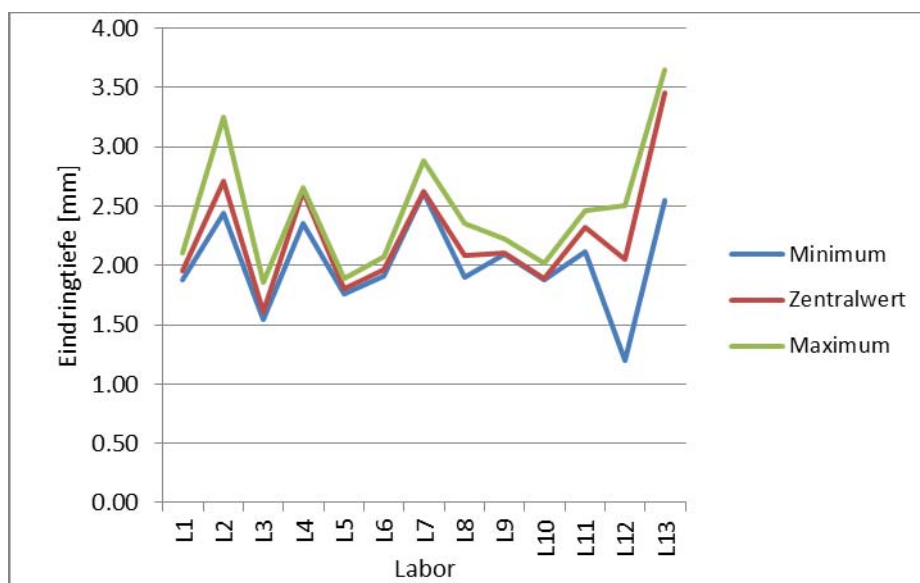


Abb. 4.4 Statische Eindringtiefe ET 30, am Gussasphalt MA 8

Tabelle 4.5 Statische Eindringtiefe ET 60, Gussasphalt MA 8

Labor	Minimum	Zentral-	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
	[mm]	wert [mm]	[mm]		absolut [mm]	relativ [%]
L1	2.15	2.21	2.40	2.25	0.131	6%
L2	2.76	3.06	3.73	3.18	0.497	16%
L3	1.78	1.83	2.12	1.91	0.184	10%
L4	2.68	3.03	3.04	2.92	0.205	7%
L5	1.99	2.04	2.15	2.06	0.082	4%
L6	2.21	2.27	2.38	2.29	0.086	4%
L7	2.93	2.96	3.25	3.05	0.177	6%
L8	2.23	2.44	2.78	2.48	0.278	11%
L9	2.41	2.43	2.56	2.47	0.081	3%
L10	2.14	2.15	2.27	2.19	0.072	3%
L11	2.46	2.68	2.89	2.68	0.215	8%
L12	1.38	2.36	2.84	2.19	0.744	34%
L13	2.94	4.06	4.22	3.74	0.697	19%
Mittel aller Mittelwerte				2.57		
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r					0.265	10.0%
Vergleichsstandardabweichung s_R der Mittelwerte				0.523		20.4%

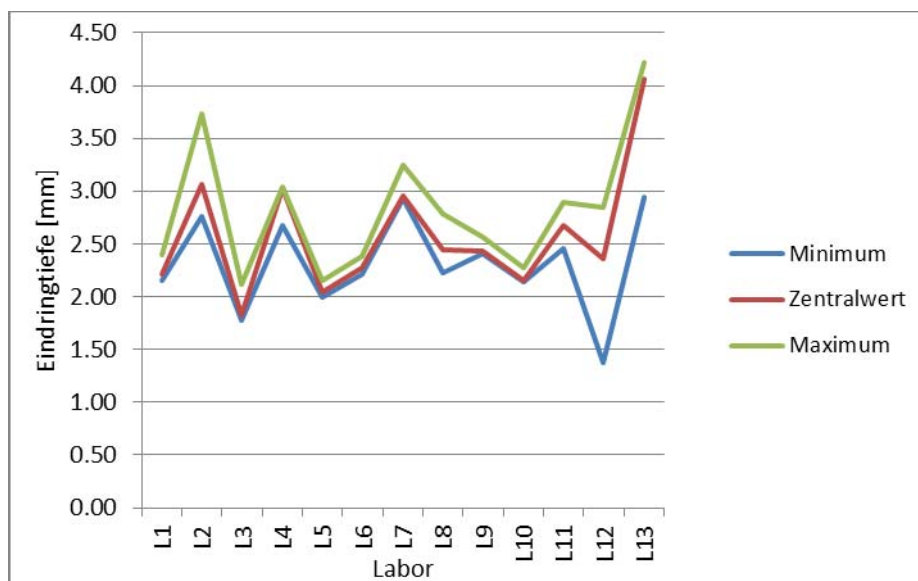


Abb. 4.5 Statische Eindringtiefe ET 60, am Gussasphalt MA 8

Tabelle 4.6 Statische Eindringtiefe nach ZET 30-60, Gussasphalt MA 8

Labor	Minimum	Zentral-	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
	[mm]	wert [mm]	[mm]	[mm]	absolut [mm]	relativ [%]
L1	0.25	0.27	0.30	0.27	0.025	9%
L2	0.33	0.36	0.49	0.39	0.085	22%
L3	0.23	0.24	0.27	0.25	0.021	8%
L4	0.33	0.38	0.40	0.37	0.036	10%
L5	0.24	0.24	0.26	0.25	0.012	5%
L6	0.30	0.31	0.31	0.31	0.006	2%
L7	0.33	0.33	0.37	0.34	0.023	7%
L8	0.33	0.36	0.42	0.37	0.046	12%
L9	0.30	0.33	0.35	0.33	0.025	8%
L10	0.25	0.26	0.26	0.26	0.006	2%
L11	0.34	0.37	0.43	0.38	0.046	12%
L12	0.18	0.31	0.34	0.28	0.085	31%
L13	0.39	0.57	0.60	0.52	0.114	22%
Mittel aller Mittelwerte				0.33		
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r					0.041	11.5%
Vergleichsstandardabweichung s_R der Mittelwerte				0.077		23.3%

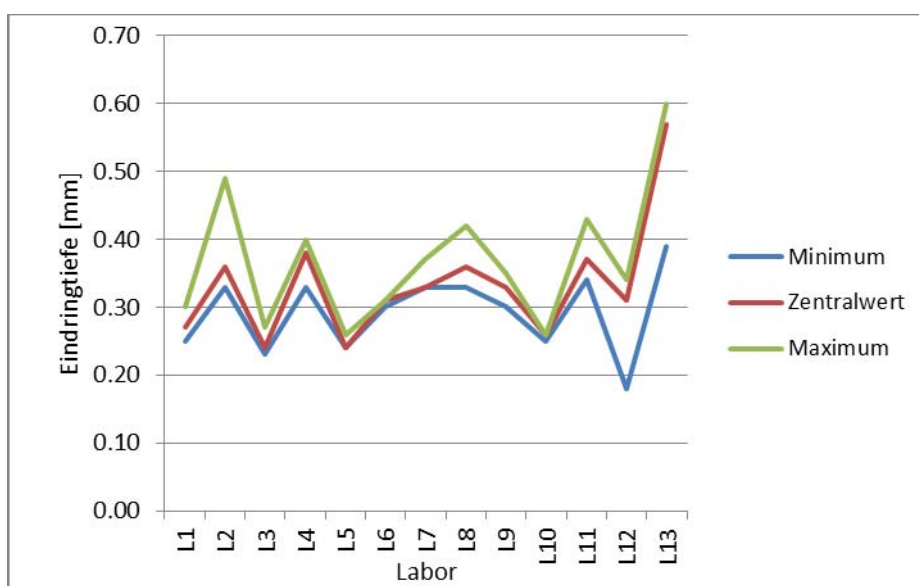


Abb. 4.6 Zunahme der statischen Eindringtiefe ZET 30-60, am Gussasphalt MA 8

4.1.3 Gussasphalt MA 11, statische Eindringtiefen

Tabelle 4.7 Statische Eindringtiefe ET 30, Gussasphalt MA 11

Labor	Minimum	Zentral	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
	[mm]	wert [mm]	[mm]	[mm]	absolut [mm]	relativ [%]
L1	1.00	1.01	1.14	1.05	0.078	7%
L2	1.52	1.76	1.78	1.69	0.145	9%
L3	1.03	1.22	1.52	1.26	0.247	20%
L4	1.41	1.48	1.56	1.48	0.075	5%
L5	1.02	1.07	1.08	1.06	0.032	3%
L6	0.93	1.07	1.15	1.05	0.111	11%
L7	1.58	1.64	1.90	1.71	0.170	10%
L8	0.65	0.77	1.04	0.82	0.200	24%
L9	1.15	1.16	1.28	1.20	0.072	6%
L10	1.06	1.08	1.21	1.12	0.081	7%
L11	1.49	1.57	1.62	1.56	0.066	4%
L12	0.89	0.91	1.10	0.97	0.116	12%
L13	1.65	1.87	1.96	1.83	0.159	9%
Mittel aller Mittelwerte				1.29		
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r					0.119	9.8%
Vergleichsstandardabweichung s_R der Mittelwerte				0.325		25.2%

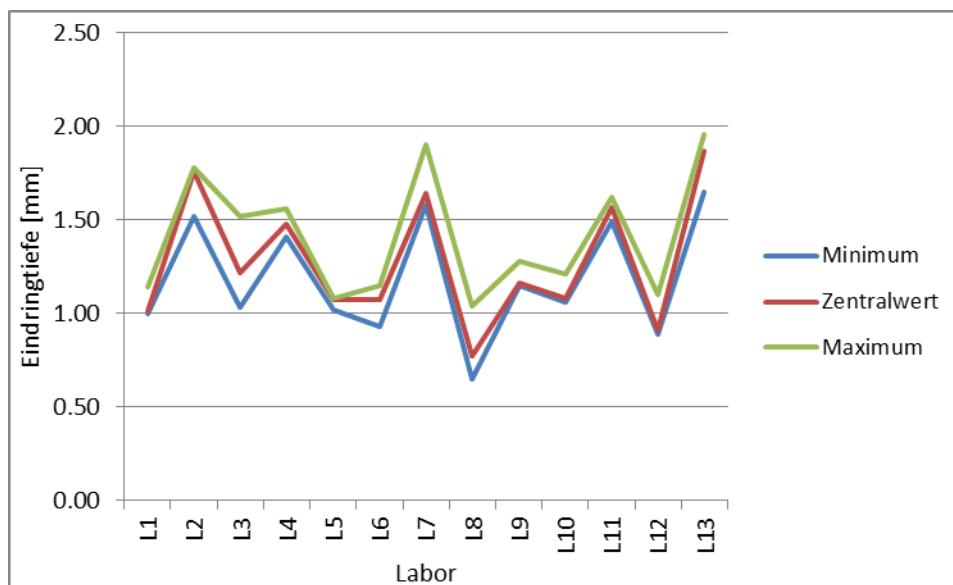


Abb. 4.7 Statische Eindringtiefe ET 30, am Gussasphalt MA 11

Tabelle 4.8 Statische Eindringtiefe ET 60, Gussasphalt MA 11

Labor	Minimum	Zentral-	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
	[mm]	wert [mm]	[mm]	[mm]	absolut [mm]	relativ [%]
L1	1.19	1.34	1.34	1.29	0.087	7%
L2	1.78	2.09	2.14	2.00	0.195	10%
L3	1.23	1.45	1.79	1.49	0.282	19%
L4	1.70	1.79	1.85	1.78	0.075	4%
L5	1.20	1.25	1.28	1.24	0.040	3%
L6	1.09	1.28	1.34	1.24	0.131	11%
L7	1.83	1.89	2.23	1.98	0.216	11%
L8	0.79	0.94	1.27	1.00	0.246	25%
L9	1.35	1.35	1.52	1.41	0.098	7%
L10	1.22	1.29	1.40	1.30	0.091	7%
L11	1.78	1.84	1.93	1.85	0.075	4%
L12	1.05	1.09	1.30	1.15	0.134	12%
L13	1.93	2.17	2.30	2.13	0.188	9%
Mittel aller Mittelwerte				1.53		
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r					0.143	9.8%
Vergleichsstandardabweichung s_R der Mittelwerte				0.374		24.5%

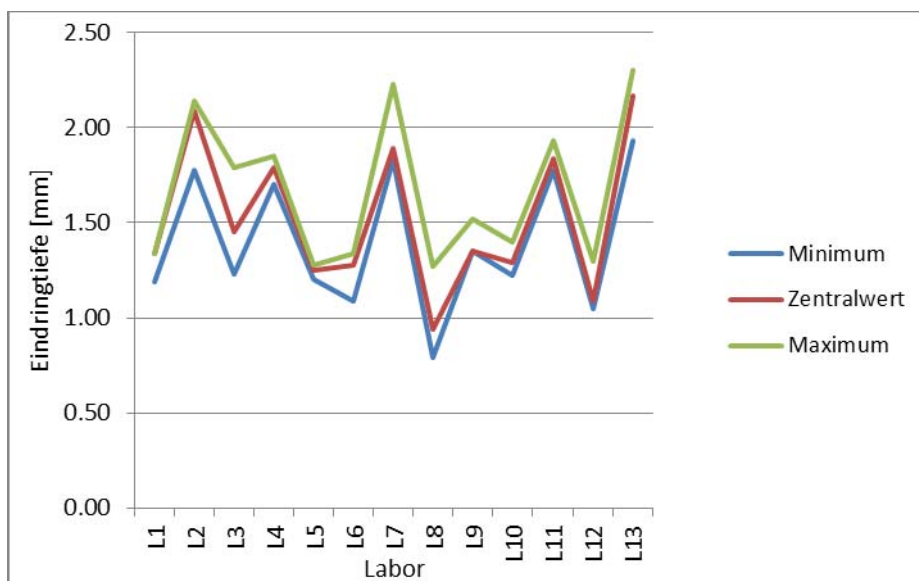


Abb. 4.8 Statische Eindringtiefe ET 60, am Gussasphalt MA 11

Tabelle 4.9 Zunahme der statischen Eindringtiefe ZET 30-60, Gussasphalt MA 11

Labor	Minimum	Zentral-	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
	[mm]	wert [mm]	[mm]		absolut [mm]	relativ [%]
L1	0.19	0.19	0.20	0.19	0.006	3%
L2	0.26	0.33	0.36	0.32	0.051	16%
L3	0.21	0.23	0.27	0.24	0.031	13%
L4	0.29	0.29	0.31	0.30	0.012	4%
L5	0.18	0.18	0.21	0.19	0.017	9%
L6	0.17	0.19	0.20	0.19	0.015	8%
L7	0.26	0.26	0.33	0.28	0.040	14%
L8	0.15	0.17	0.23	0.18	0.042	23%
L9	0.19	0.20	0.24	0.21	0.026	13%
L10	0.16	0.20	0.21	0.19	0.026	14%
L11	0.27	0.29	0.31	0.29	0.020	7%
L12	0.16	0.19	0.20	0.18	0.021	11%
L13	0.29	0.30	0.34	0.31	0.026	9%
Mittel aller Mittelwerte				0.24		
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r					0.026	11.0%
Vergleichsstandardabweichung s_R der Mittelwerte				0.054		17.5%

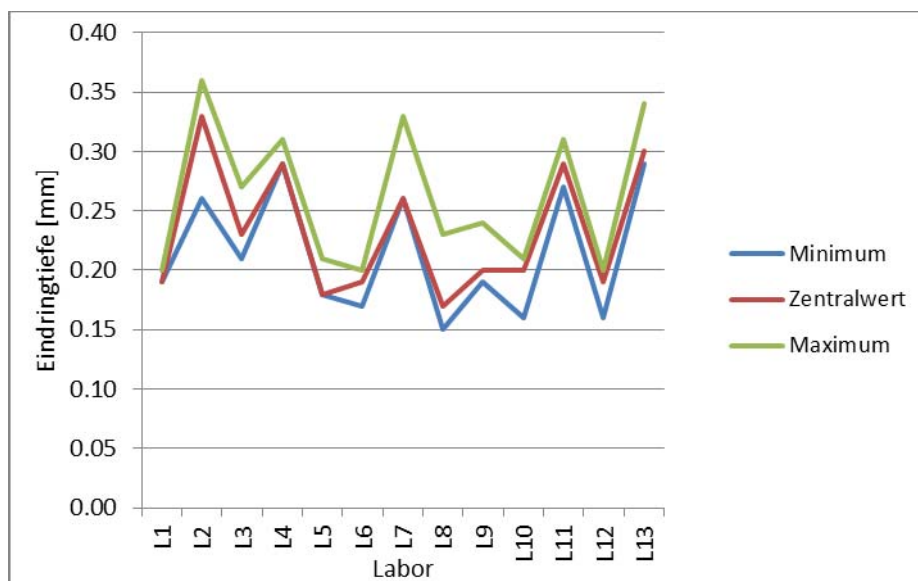


Abb. 4.9 Zunahme der statischen Eindringtiefe ZET 30-60, am Gussasphalt MA 11

4.1.4 Wiederholstandardabweichungen s_r der statischen Eindringtiefe

Die relativen Wiederholstandardabweichungen s_r sind in Tabelle 4.10 zusammengestellt. Die in der letzten Zeile angeführten Mittelwerte über die beteiligten Labors geben Hinweise über den Einfluss der Gussasphaltsorten und der Prüfbedingungen auf die gefundenen Wiederholstandardabweichungen s_r . Die Unterschiede zwischen den Werten der drei Gussasphaltsorten MA 6, MA 8 und MA 11 sind wenig bedeutend, nur der MA 6 tendiert zu tieferen Werten. Ebenso bestehen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Werten für die Zunahme der Eindringtiefen nach 30 und 60 Minuten. Einzig die Zunahme der Eindringtiefe von 30 bis 60 Minuten Belastungszeit zeigt eine deutliche aber nicht dramatisch erhöhte Wiederholstandardabweichung s_r .

Tabelle 4.10 Statische Eindringtiefe, Zusammenstellung der relativen Wiederholstandardabweichungen s_r

Labor	MA 6			MA 8			MA 11		
	ET 30 [%]	ET 60 [%]	ZET [%]	ET 30 [%]	ET 60 [%]	ZET [%]	ET 30 [%]	ET 60 [%]	ZET [%]
L1	13	14	20	6	6	9	7	7	3
L2	7	6	6	15	16	22	9	10	16
L3	8	9	13	10	10	8	20	19	13
L4	4	4	5	7	7	10	5	4	4
L5	4	5	7	4	4	5	3	3	9
L6	4	4	6	4	4	2	11	11	8
L7	7	8	11	8	6	7	10	11	14
L8	7	8	12	11	11	12	24	25	23
L9	9	9	10	3	3	8	8	7	13
L10	5	4	5	4	3	2	7	7	14
L11	6	7	9	7	8	12	4	4	7
L12	12	13	16	35	34	31	12	2	11
L13	15	18	27	18	19	22	9	9	9
Mittel	7.8	8.3	11.4	9.9	10.0	11.5	9.8	10.0	11.0

Die in der letzten Zeile der Tabelle 4.10 aufgeführten Mittelwerte der Wiederholstandardabweichungen über alle Labors weisen für jede Prüfbedingung 3 Werte auf. Sie können verwendet werden, um die Abhängigkeit der Wiederholstandardabweichung von diesen Prüfbedingungen aufzuzeigen. Das ist in Tabelle 4.11 dargestellt. Die Zunahme der Eindringtiefe zwischen 30 und 60 Minuten zeigt dabei eine leicht erhöhte Standardabweichung.

Tabelle 4.11 Abhängigkeit der Wiederholstandardabweichung s_r von den Prüfbedingungen

Eindringtiefe ET	ET 30 [%]	ET 60 [%]	ZET [%]
Gesamtmittel der Wiederholstandardabweichungen S_r	9.2	9.4	11.3

In analoger Weise lässt sich die Abhängigkeit der Wiederholstandardabweichung von den Sorten darstellen (siehe Tabelle 4.12). Die Unterschiede sind weniger ausgeprägt, insbesondere besteht zwischen den beiden Sorten MA 8 und MA 11 kein relevanter Unterschied, die Wiederholstandardabweichungen sind sogar für die härteste Sorte MA 11 wieder unwesentlich kleiner.

Tabelle 4.12 Abhängigkeit der Wiederholstandardabweichung s_r von den Gussasphaltsorten

Gussasphaltsorte	MA 6	MA 8	MA 11
Gesamtmittel der Wiederholstandardabweichungen s_r	9.2	10.5	10.3

4.1.5 Vergleichsstandardabweichungen s_R der statischen Eindringtiefe

Tabelle 4.13 zeigt die Abhängigkeit der Vergleichsstandardabweichung s_R von den Prüfbedingungen. Die Unterschiede müssen als rein zufällig bewertet werden.

Tabelle 4.13 Abhängigkeit der Vergleichsstandardabweichung s_R von den Prüfbedingungen

Eindringtiefe ET	ET 30 [%]	ET 60 [%]	ZET [%]
Gesamtmittel der Vergleichsstandardabweichungen s_R	20.0	19.9	19.4

In analoger Weise lässt sich die Abhängigkeit der Vergleichsstandardabweichung s_R von den Sorten darstellen (siehe Tabelle 4.14). Hier zeigt sich eine deutliche Zunahme der Vergleichsstandardabweichung von der Gussasphaltsorte, je härter die Sorte, desto grösser wird der Wert. Der Unterschied zwischen den Sorten MA 8 und MA 11 ist allerdings gering.

Tabelle 4.14 Abhängigkeit der Vergleichsstandardabweichung s_R von den Gussasphaltsorten

Gussasphaltsorte	MA 6	MA 8	MA 11
Gesamtmittel der Vergleichsstandardabweichung s_R	15.7	21.2	22.4

4.1.6 Prüfung der Konsistenz der Laborergebnisse

Die Prüfung erfolgt mittels der in Kapitel 2.4 beschriebenen statistischen Verfahren nach Mandel, Cochran und Grubb. Für die Auswertung wurde eine Wahrscheinlichkeit von 95% gewählt. Dieses Beurteilungsniveau ist in der Prüfung von Baustoffen üblich. Eine 95%-ige Wahrscheinlichkeit bedeutet, dass jedes 20-igste Ergebnis ausserhalb der Präzision des Prüfverfahrens liegen darf.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der drei statistischen Verfahren kommentiert.

Mandel

Die Ergebnisse der Prüfung der statischen Eindringtiefe nach 30 Minuten auf Vereinbarkeit (nach Mandel) sind in Abbildung 4.10 dargestellt. Sie sind nach den Labors L1 bis L13 gruppiert. Die drei Balken innerhalb des jeweiligen Labors gehören zu den drei Gussasphalten MA 6, MA 8 und MA 11. Bei der Beurteilung der Konsistenz der Ergebnisse innerhalb des Labors fallen die Labors Nr. 3, 12, und 13 negativ auf. Die Vereinbarkeitsprüfgrösse k liegt oberhalb der 5%-Vertrauensgrenze.

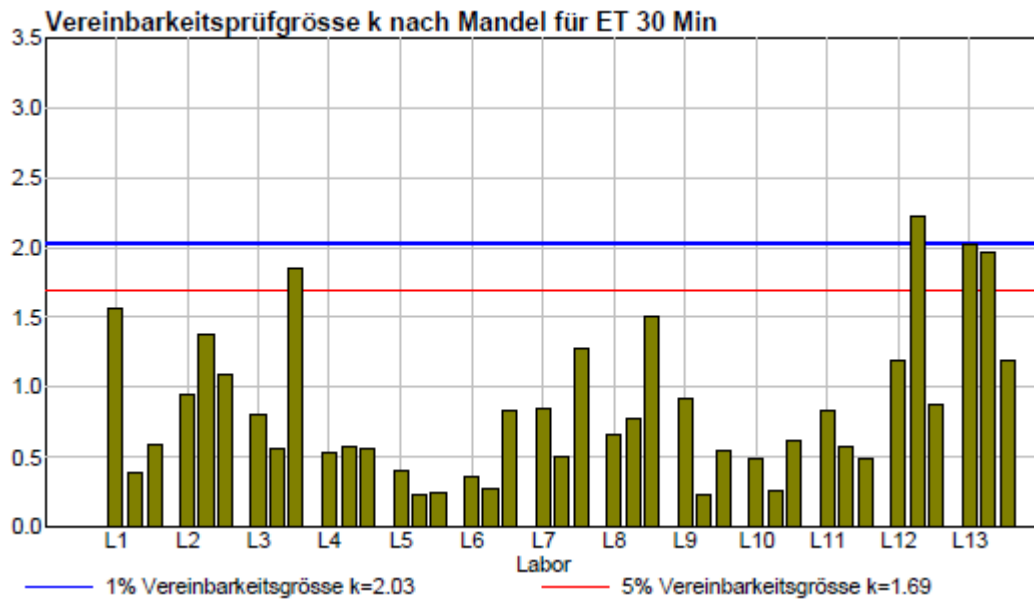


Abb. 4.10 Vereinbarkeitsgrößen k nach Mandel für die Statische Eindringtiefe nach 30 Minuten für Gussasphalte MA 6, MA 8 und MA 11

Die Beurteilung der Konsistenz zwischen den Labors (siehe Abbildung 4.11) ergibt, dass nur das Labor Nr. 12 oberhalb der 5%-Vertrauensgrenze liegt.

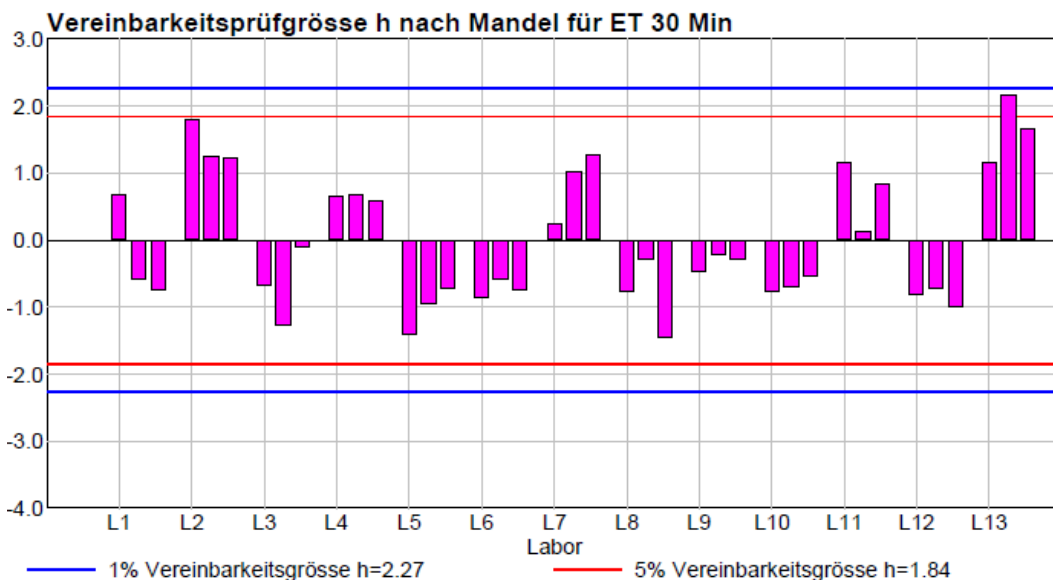


Abb. 4.11 Vereinbarkeitsgrößen h nach Mandel für die Statische Eindringtiefe nach 30 Minuten für Gussasphalte MA 6, MA 8 und MA 11

Die Ergebnisse der Prüfung der statischen Eindringtiefe nach 60 Minuten auf Vereinbarkeit (nach Mandel) sind in Abbildung 4.12 dargestellt. Bei der Beurteilung der Konsistenz der Ergebnisse innerhalb des Labors fallen die Labors Nr. 12, und 13 negativ auf. Die Vereinbarkeitsprüfgrösse k liegt oberhalb der 5%-Vertrauensgrenze.

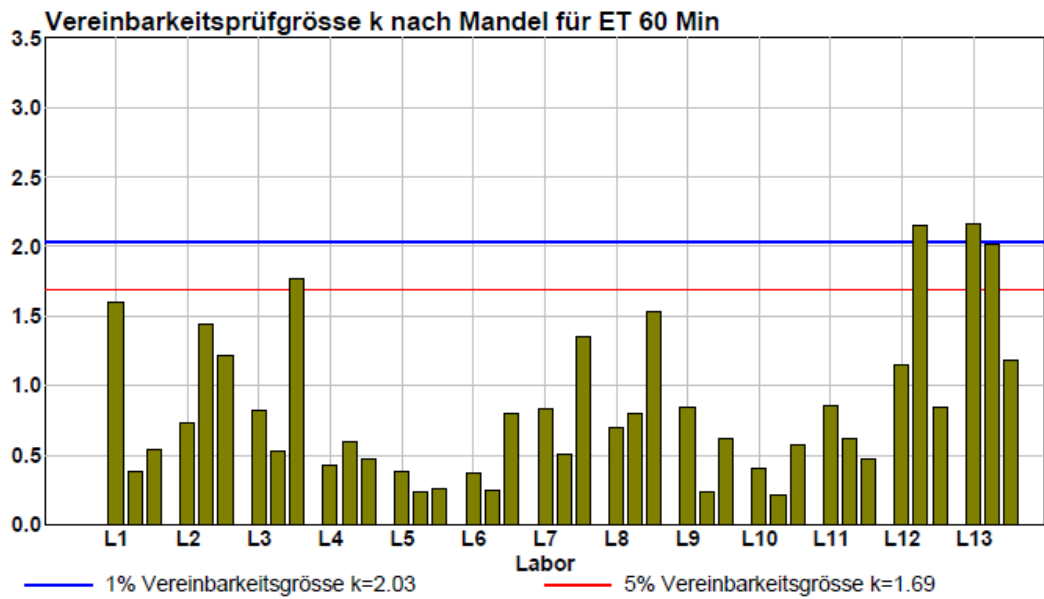


Abb. 4.12 Vereinbarkeitsgrößen k nach Mandel für die statische Eindringtiefe nach 60 Minuten für Gussasphalte MA 6, MA 8 und MA 11

Die Beurteilung der Konsistenz zwischen den Labors (siehe Abbildung 4.13) ergibt, dass nur das Labor Nr. 12 oberhalb der 5%-Vertrauensgrenze liegt.

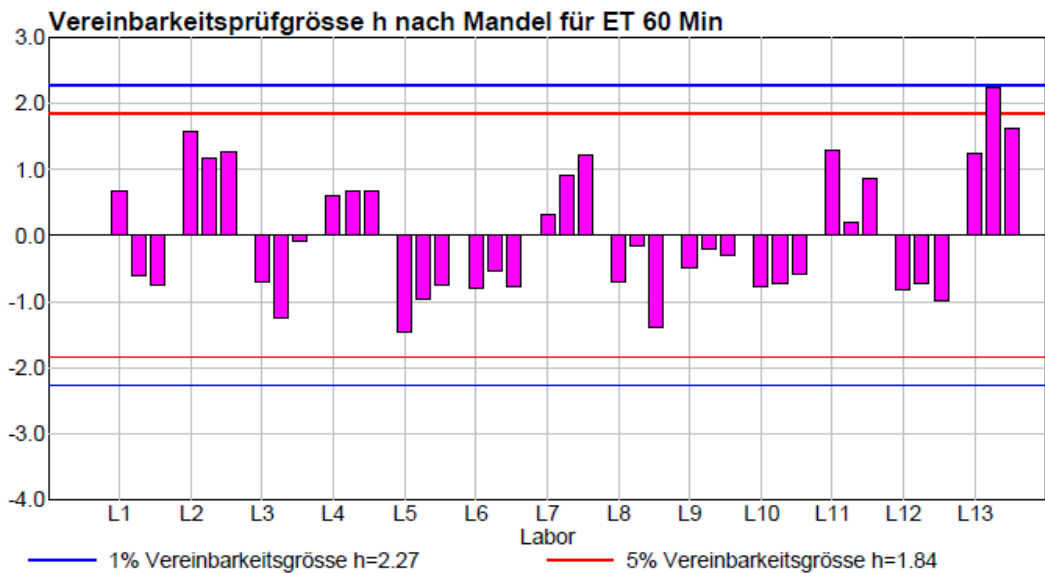


Abb. 4.13 Vereinbarkeitsgrößen h nach Mandel für die statische Eindringtiefe nach 60 Minuten für Gussasphalte MA 6, MA 8 und MA 11

Die Ergebnisse der Prüfung der die Zunahme der statischen Eindringtiefe zwischen 30 und 60 Minuten auf Vereinbarkeit (nach Mandel) sind in Abbildung 4.14 dargestellt. Bei der Beurteilung der Konsistenz der Ergebnisse innerhalb des Labors fällt das Labors Nr. 13 negativ auf. Die Vereinbarkeitsprüfgrösse k liegt deutlich oberhalb der 5%-Vertrauensgrenze.

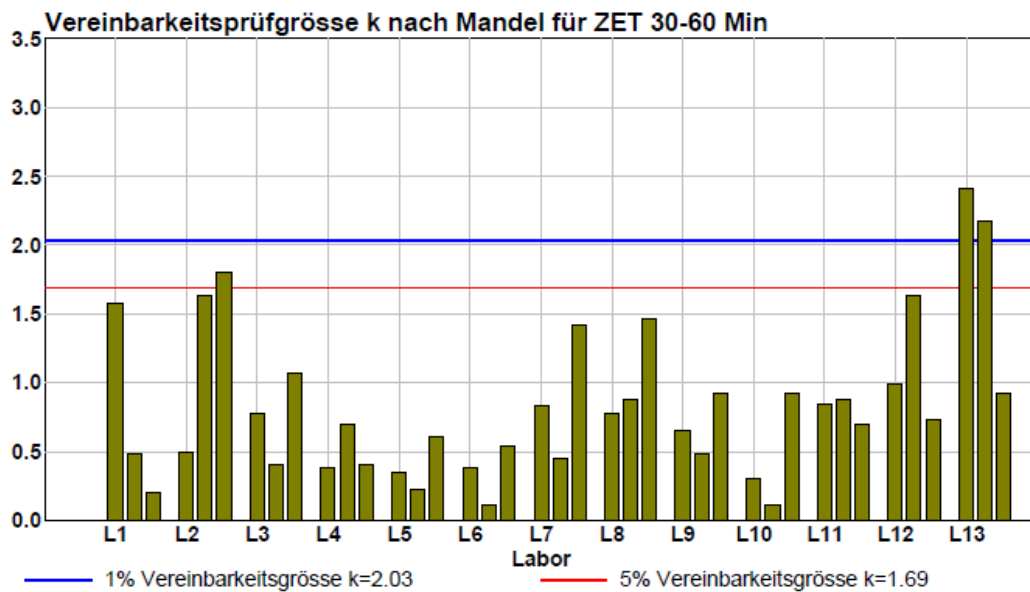


Abb. 4.14 Vereinbarkeitsgrössen k nach Mandel für die Zunahme der statischen Eindringtiefe zwischen 30 und 60 Minuten für Gussasphalte MA 6, MA 8 und MA 11

Die Beurteilung der Konsistenz zwischen den Labors (siehe Abbildung 4.15) ergibt, dass nur das Labor Nr. 13 oberhalb der 5%-Vertrauensgrenze liegt.

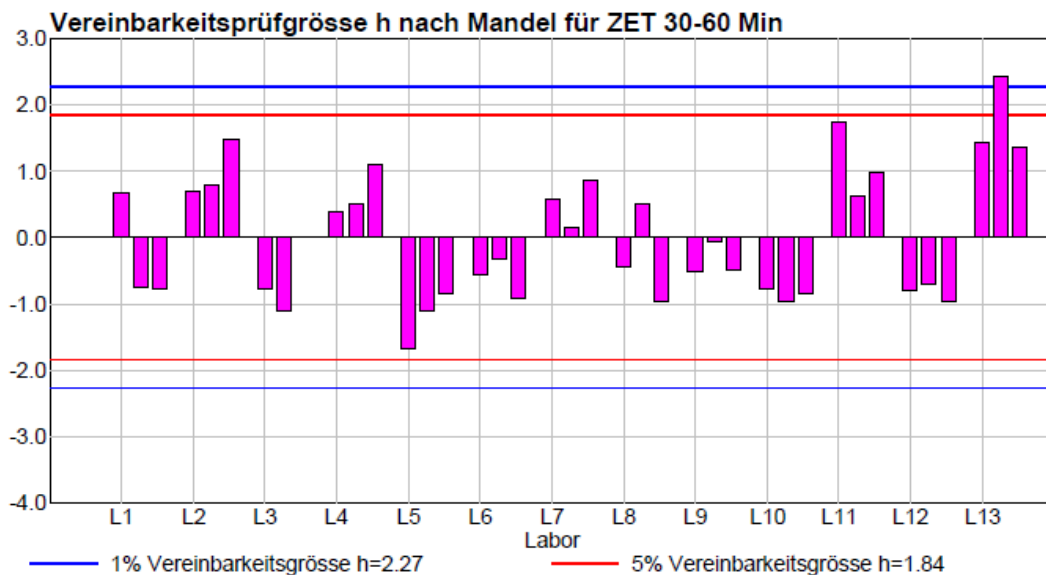


Abb. 4.15 Vereinbarkeitsgrössen h nach Mandel für die Zunahme der statischen Eindringtiefe zwischen 30 und 60 Minuten für Gussasphalte MA 6, MA 8 und MA 11

Der Mandeltest zeigt auf, dass das Labor Nr. 12 sowohl eine ungewöhnlich grosse Streuung der Einzelwerte innerhalb der Labors hat, als auch, dass die Mittelwerte dieses Labors im Vergleich zu den übrigen Labors auffällig sind. Die Labors Nr. 3 und 13 weisen eine auffällige Streuung der Einzelwerte auf, deren Mittelwerte liegen jedoch innerhalb der gewählten Wahrscheinlichkeit.

Cochran's Test

Die Ergebnisse des Tests nach Cochran sind in Tabelle 4.15 zusammengestellt.

Tabelle 4.15: Zusammenfassung der Ergebnisse des Cochran's Tests

Messwert	MA-Sorte	Anzahl Ausreisser	Labor Nr. mit Ausreisser
Eindringtiefe nach 30 Minuten	MA 6	Keiner	
	MA 8	3	Nr. 2, 12, 13
	MA 11	Keiner	
Eindringtiefe nach 60 Minuten	MA 6	Keiner	
	MA 8	Keiner	
	MA 11	Keiner	
Zunahme der Eindringtiefe 30/60 Minuten	MA 6	1	Nr. 13
	MA 8	Keiner	
	MA 11	Keiner	

Auch bei diesem Test ist keine systematische Abhängigkeit der Anzahl Ausreisser von der Gussasphaltsorte zu erkennen.

Grubb's Test

Die Ergebnisse des Tests nach Grubb sind in Tabelle 4.16 zusammengestellt.

Tabelle 4.16: Zusammenfassung der Ergebnisse des Grubb's Tests

Messwert	MA-Sorte	Anzahl Ausreisser	Labor Nr. mit Ausreisser
Eindringtiefe nach 30 Minuten	MA 6	Keiner	
	MA 8	3	Nr. 2, 12, 13
	MA 11	Keiner	
Eindringtiefe nach 60 Minuten	MA 6	Keiner	
	MA 8	Keiner	
	MA 11	Keiner	
Zunahme der Eindringtiefe 30/60 Minuten	MA 6	1	Nr. 13
	MA 8	Keiner	
	MA 11	Keiner	

Kommentar

Da nur drei Gussasphaltsorten untersucht wurden, können keine gesicherten Aussagen bezüglich der Abhängigkeit der Konsistenz der Messergebnisse vom Grösstkorn gemacht werden. Dementsprechend wurde auch kein Zusammenhang nachgewiesen. Die Vermutung, die Konsistenz sei bei größerem Mischgut schlechter, konnte im Bereich des Grösstkorns von 6 bis 11 mm nicht bestätigt werden.

Sowohl der Cochran's als auch der Grubb's Test zeigen, dass die gleichen 3 Labors (Nr. 2, 12, 13) auffallen. Dies bedeutet, dass diese Labors nicht nur grosse Streuungen innerhalb der eigenen Messwerte haben, sondern auch im Vergleich mit den übrigen Labors andere Mittelwerte liefern.

Die beiden Mandel's Tests h und k bestätigen diese Aussage nur teilweise. Die Beurteilung der Streuung innerhalb des Labors wird beim Mandel's und beim Cochran's Test gleich beurteilt; es fallen die gleichen 3 Labors auf. Bei der Beurteilung der Mittelwerte der Labors untereinander fällt der Mandel's Test ein milderer Urteil (nur Labor 12) als der Grubb's Test (Labors Nr. 3, 12, 13).

Bei 7 von insgesamt 9 Messwerten wurden keine statistischen Ausreisser festgestellt.

Die Ausreisser wurden bei der Eindringtiefe nach 30 Minuten und bei der Zunahme 30/60 Minuten festgestellt; bei der Eindringtiefe nach 60 Minuten traten keine Ausreisser auf.

Abbildung 4.16 zeigt an einem Beispiel (S1, MA 6, Eindringtiefe nach 30 Minuten) die Zusammenhänge zwischen Standardabweichung der einzelnen Labors, der Vergleich- und Wiederholstandardabweichung. Man erkennt, dass Vergleichsstandardabweichung (Abstand roter Linien) erheblich grösser ist als die Wiederholstandardabweichung (Abstand blauer Linien) während die Mehrheit der Standardabweichungen der Labors kleiner als die Wiederholstandardabweichung ist. Anmerkung: Nach der Theorie bezieht sich die Wiederholstandardabweichung jeweils auf den Mittelwert des einzelnen Labors, die Vergleichsstandardabweichung auf das sich aus der gesamten Untersuchung ergebenden Mittel. Um aber die Zusammenhänge grafisch zu verdeutlichen wurden Vergleich- und Wiederholstandardabweichung bezüglich dem Gesamtmittel positioniert.

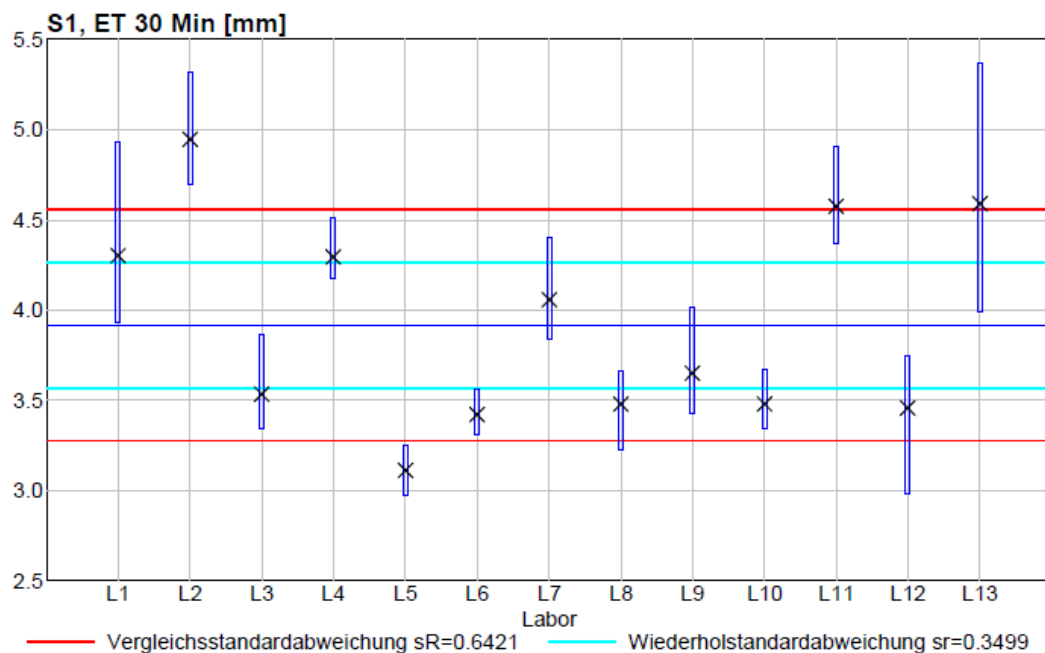


Abb. 4.16 Zusammenhänge zwischen Standardabweichung der einzelnen Labors, Vergleich- und Wiederholstandardabweichung, Gussasphalt MA 6, ET 30.

4.1.7 Präzision des Prüfverfahrens

Die Wiederholstandardabweichungen s_r und die Vergleichsstandardabweichungen s_R sind je absolut und relativ (in [%]) für die einzelnen Messniveaus der Tabelle 4.17 zu entnehmen. Die angegebene Anzahl bezieht sich auf die nach der Elimination der Ausreisser verbleibenden Labors. Das Mittel aller 6 Werte „ s_R relativ“ in Tabelle 4.17 beträgt 20.3% und entspricht fast genau der Angabe der Norm EN 12697-20 [3] von 20%.

Tabelle 4.17 Präzision des Prüfverfahrens für die einzelnen Messniveaus.

MA-Sorte	Anzahl Labors	Generelles Mittel	s_r absolut	s_r relativ	s_R absolut	s_R relativ
Präzision für den Messwert ET 30						
	[Anzahl]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
MA 6	13	3.92	0.350	8.9%	0.642	16.4%
MA 8	10	2.12	0.141	6.7%	0.341	16.1%
MA 11	13	1.29	0.133	10.3%	0.342	26.5%
Präzision für den Messwert ET 60						
	[Anzahl]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
MA 6	13	4.84	0.474	9.8%	0.823	17.0%
MA 8	13	2.57	0.346	13.5%	0.595	23.2%
MA 11	13	1.52	0.160	10.5%	0.342	22.5%
Präzision für den Messwert ZET 30/60						
	[Anzahl]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
MA 6	12	0.91	0.103		0.174	
MA 8	13	0.33	0.032		0.088	
MA 11	13	0.24	0.029		0.059	

4.2 Zusammensetzungen der Gussasphalte

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Untersuchungen zur Zusammensetzung – löslicher Bindemittelgehalt, Korngrößenverteilung der Mineralstoffe und Eigenschaften der Bindemittel – an den drei Gussasphalten MA 6, MA 8 und MA 11, ermittelt in den beiden Labors Tecnotest AG und IMP Bautest AG, zusammengestellt.

4.2.1 Zusammensetzung von Proben aus verschiedenen Platten pro Sorte

In einer ersten Serie wurden durch die beiden Labors Tecnotest und IMP pro Gussasphaltsorte Proben aus zwei verschiedenen Platten untersucht. Pro Sorte wurden gemäss Kapitel 2.1 jeweils 72 Platten gegossen und als möglichst gleiche Teilproben aus der Gesamtcharge von 4 Tonnen entnommen.

Die Ergebnisse der Stempelleindringtiefen und die Eigenschaften der Gussasphalt-Würfel sind in diesem Kapitel nicht weiter ausgewertet. Diese Prüfungen haben die vollständige Untersuchung der Proben umfasst.

In Tabelle 4.18 sind die Einzelwerte dieser Untersuchungen an Proben aus zwei verschiedenen Platten (Teilproben) pro Gussasphaltsorte aufgeführt.

Tabelle 4.18: Mischgut-Untersuchungen: Proben aus verschiedenen Platten, Einzelwerte

Messgröße	MA 6		MA 8		MA 11	
	Tecno-test	IMP	Tecno-test	IMP	Tecno-test	IMP
Platte	18	12	18	12	18	12
Untersuchungen am Mischgut						
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.333	2.335	2.403	2.382	2.414	2.405
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	9.16	9.32	7.40	7.88	6.97	7.26
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]						
0.08 [Masse-%]	31.4	31.9	29.9	30.0	24.5	25.6
0.25 [Masse-%]	42.4	43.6	37.0	37.3	31.0	32.6
1.0 [Masse-%]	53.9	54.5	48.9	48.9	43.0	44.9
2.8 [Masse-%]	67.3	67.6	62.9	63.8	53.1	55.3
5.6 [Masse-%]	95.5	96.0	82.7	84.4	69.8	71.9
11.2 [Masse-%]	99.8	99.4	100	100	99.0	99.9
16.0 [Masse-%]	100	100	100	100	100	100
Untersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel						
Penetration [0.1mm]	24	23	31	33	18	20
Erweichungspunkt RuK. [°C]	63.8	65.3	57.1	57.6	68.0	66.4
Penetrationsindex	0.1	0.3	-0.6	-0.4	0.3	0.2
Stempeleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln						
Nach 0.5 h [mm]	3.96	4.20	2.05	2.60	0.74	1.60
Zunahmen bis 1 h [mm]	1.02	1.00	0.31	0.40	0.16	0.30
Untersuchungen an Würfeln						
Raumdichte [Mg/m²]	2.305	2.324	2.351	2.362	2.385	2.391
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	1.2	0.5	2.2	0.8	1.2	0.6

In Tabelle 4.19 sind die Mittelwerte, die Differenzen und die Vergleichsgrenzen R nach den entsprechenden Prüfnormen der Ergebnisse aus Tabelle 18 zusammengestellt.

Tabelle 4.19: Mischgut-Untersuchungen: Proben aus verschiedenen Platten, Mittelwerte, Differenzen (Differenz = Wert IMP Bau AG minus Wert Tecnotest AG) und Vergleichsgrenzen R

Messgrösse	MA 6		MA 8		MA 11		R*
	Mittelwert	Differenz	Mittelwert	Differenz	Mittelwert	Differenz	
Untersuchungen am Mischgut							
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.334	+0.002	2.392	-0.021	2.409	-0.009	0.042
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	9.24	+0.16	7.64	+0.48	7.11	+0.29	0.50
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]							
0.08 [Masse-%]	31.6	+0.5	29.9	+0.1	25.0	+1.1	1.7
0.25 [Masse-%]	43.0	+1.2	37.1	+0.3	31.8	+1.6	1.7
1.0 [Masse-%]	54.2	+0.6	48.9	0.0	43.9	+1.9	1.7
2.8 [Masse-%]	67.4	+0.3	63.3	+0.9	54.2	+2.2	1.7
5.6 [Masse-%]	95.7	+0.5	83.6	+1.7	70.8	+2.1	1.7
11.2 [Masse-%]	99.6	-0.4	100	0.0	99.4	+0.9	1.7
16.0 [Masse-%]	100	0.0	100	0.0	100	0.0	
Untersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel							
Penetration [0.1mm]	23	-1	32	+2	19	+2	
Erweichungspunkt RuK. [°C]	64.5	+1.5	57.4	+0.5	67.2	-1.6	
Penetrationsindex	0.2	+0.2	-0.5	+0.2	0.3	-0.1	0.5
Stempeleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln							
ET 30 [mm]	4.08	+0.24	2.33	+0.55	1.17	+0.86	**
ZET 30-60 [mm]	1.01	-0.02	0.36	+0.09	0.23	+0.14	**
Untersuchungen an Würfeln							
Raumdichte [Mg/m ²]	2.315	+0.019	2.356	+0.011	2.388	+0.006	0.022
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	0.8	-0.7	1.5	-1.4	0.9	-0.6	-

* Vergleichsgrenze R

Anforderung nicht erfüllt (Wert > R)

** zur Prüfung Stempeleindringtiefen erfolgten umfassende Auswertungen im Kapitel 4.1

4.2.2 Zusammensetzung von Parallelproben aus je einer Platte pro Sorte

In einer zweiten Serie wurden zwei Monate später durch die beiden Labors pro Gussasphaltsorte dieselben Untersuchungen an Parallelproben aus jeweils einer Platte untersucht. Die Ergebnisse der Stempeleindringtiefen und die Eigenschaften der Gussasphalt-Würfel sind in diesem Kapitel nicht weiter ausgewertet. Diese Prüfungen haben die vollständige Untersuchung der Proben umfasst.

In Tabelle 4.20 sind die Einzelwerte dieser Untersuchungen an Parallelproben aus je einer Platte pro Gussasphaltsorte aufgeführt.

Tabelle 4.20: Mischgut-Untersuchungen: Parallelproben aus einer Platte, Einzelwerte

Messgrösse	MA 6		MA 8		MA 11	
	Tecnotest	IMP	Tecnotest	IMP	Tecnotest	IMP
Platte	16	16	17	17	16	16
Untersuchungen am Mischgut						
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.331	2.341	2.389	-	2.404	2.414
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	9.23	9.15	7.79	8.00	7.25	6.98
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]						
0.08 [Masse-%]	30.9	31.6	28.9	30.3	24.4	24.4
0.25 [Masse-%]	42.3	43.4	35.9	37.8	31.4	31.0
1.0 [Masse-%]	54.3	54.0	47.6	49.8	43.9	42.7
2.8 [Masse-%]	67.4	67.6	62.2	65.0	54.2	52.8
5.6 [Masse-%]	96.0	95.1	82.4	84.5	70.1	69.3
11.2 [Masse-%]	100	99.7	99.8	100	98.6	98.8
16.0 [Masse-%]	100	100	100	100	100	100
Untersuchungen am rückgewonnen Bindemittel						
Penetration [0.1mm]	28	23	31	31	21	18
Erweichungspunkt RuK. [°C]	64.6	65.0	58.4	58.9	66.6	68.8
Penetrationsindex	0.6	0.3	-0.3	-0.3	0.4	0.4
Stempeleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln						
Nach 0.5 h [mm]	2.89	3.48	2.23	1.80	1.53	0.98
Zunahmen bis 1 h [mm]	0.66	0.76	0.42	0.27	0.25	0.18
Untersuchungen an Würfeln						
Raumdichte [Mg/m²]	2.322	2.314	2.362	2.356	2.389	2.387
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	0.4	1.1	1.2	-	0.6	1.1

In Tabelle 4.21 sind die Mittelwerte, die Differenzen und die Vergleichsgrenzen R nach den entsprechenden Prüfnormen der Ergebnisse aus Tabelle 20 zusammengestellt.

Tabelle 4.21: Mischgut-Untersuchungen: Parallelproben aus einer Platte, Mittelwerte, Differenzen (Differenz = Wert IMP Bau AG minus Wert Tecnotest AG) und Vergleichsgrenzen R

Messgrösse	MA 6		MA 8		MA 11		R*
	Mittelwert	Differenz	Mittelwert	Differenz	Mittelwert	Differenz	
Untersuchungen am Mischgut							
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.336	+0.010	-	-	2.409	+0.010	0.042
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	9.19	-0.08	7.89	+0.21	7.11	-0.27	0.50
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]							
0.08 [Masse-%]	31.3	+0.7	29.6	+1.4	24.4	0.0	1.7
0.25 [Masse-%]	42.8	+1.1	36.9	+1.9	31.2	-0.4	1.7
1.0 [Masse-%]	54.2	-0.3	48.7	+2.2	43.3	-1.2	1.7
2.8 [Masse-%]	67.5	+0.2	63.6	+2.8	53.5	-1.4	1.7
5.6 [Masse-%]	95.5	-0.9	83.5	+2.1	69.7	-0.8	1.7
11.2 [Masse-%]	99.9	-0.3	99.9	+0.2	98.7	+0.2	1.7
16.0 [Masse-%]	100	0.0	100	0.0	100	0.0	1.7
Untersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel							
Penetration [0.1mm]	26	-5	31	0	20	-3	3
Erweichungspunkt RuK. [°C]	64.8	+0.4	58.6	+0.5	67.7	+2.2	2.0
Penetrationsindex	0.45	-0.3	-0.3	0.0	0.4	0.0	0.5
Stempeleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln							
Nach 0.5 h [mm]	3.19	+0.59	2.02	-0.43	1.26	-0.55	**
Zunahmen bis 1 h [mm]	0.71	+0.10	0.35	-0.15	0.22	-0.07	**
Untersuchungen an Würfeln							
Raumdichte [Mg/m ²]	2.318	-0.008	2.359	-0.006	2.388	-0.002	0.022
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	0.7	+0.7	-	-	0.9	+0.5	-

* Vergleichsgrenze R

Anforderung nicht erfüllt (Wert > R)

** zur Prüfung Stempeleindringtiefe erfolgten umfassende Auswertungen im Kapitel 4.1

4.2.3 Kommentare und Folgerungen zu den Zusammensetzungen

Werden zwei gleiche Proben von zwei verschiedenen Labors - somit unter Vergleichsbedingungen - geprüft, sind mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% kleinere Differenzen als die Vergleichsgrenzen R zu erwarten. Als gleiche Proben gelten sowohl die jeweils zwei Proben aus verschiedenen Platten der gleichen Charge wie auch, und dies in ganz besonderem Masse, die jeweils zwei Parallelproben aus einer Platte. Mit Ausnahme einer Überschreitung der Vergleichsgrenze R beim Erweichungspunkt RuK betreffen diese nur die Korngrößenverteilung der Mineralstoffe, für die R allerdings, wie in der Norm ausgeführt, nur ein geschätzter Wert ist.

Die Ergebnisse der Zusammensetzungen der Gussasphalte MA 6, MA 8 und MA 11 lassen keine systematischen Einflüsse durch die Proben erkennen. Sowohl Proben von verschiedenen Platten, wie auch Proben von gleichen Platten, durch die beiden Labors Tecnotest AG und IMP Bautest AG untersucht, zeigen bei allen drei Gussasphalten teilweise erhebliche, aber keine systematischen Unterschiede in löslichem Bindemittelgehalt, Korngrößenverteilung der Mineralstoffe und Bindemittelleigenschaften.

Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass Streuungen in den Qualitäten der Gussasphaltproben ein markantes Fehlerelement im Ringversuch darstellen. Gussasphalt ist nicht, obwohl auch im Fahrkocher permanent gemischt, eine homogene Masse. Offensichtlich lassen sich bei der Entnahme von Parallelproben Streuungen in den Qualitäten der einzelnen Proben nicht vermeiden, vgl. dazu Kapitel 2.1 Mischgutherstellung und Probenahme.

4.3 Eigenschaften der Gussasphalt-Prüfkörper

Obwohl im Forschungsgesuch nicht vorgesehen, wurde versucht mit zusätzlichen Prüfungen mögliche Ursachen für die grossen Streuungen in den Ergebnissen der „Statischen Eindringtiefe mit ebenem Stempel an Gussasphalt-Würfeln“ abzuschätzen.

Die Eigenschaften der Prüfwürfel werden charakterisiert durch die:

- Gussasphalt-Zusammensetzung
- Bindemittelhärte
- volumetrischen Kennwerte, Raumdichte und Hohlraumgehalt

Im Hinblick auf die Abklärungen zu den Beeinflussungen der Gussasphalte in der Zusammensetzung und in der Bindemittelverhärtung bei der Würfelherstellung wurden auch Würfel extrahiert. Im Folgenden sind die relevanten Untersuchungen, durchgeführt durch die Tecnotest AG, an Proben von Platten und entsprechend an Würfeln für die drei Gussasphaltsorten zusammengestellt.

4.3.1 Gussasphalt MA 6: Einflüsse der Würfelherstellung

Der Gussasphalt der Platten wurde einmal erhitzt, derjenige der Würfel zweimal (siehe Kap. 2.3). Die Ergebnisse zur Zusammensetzung – löslicher Bindemittelgehalt, Korngrößenverteilung der Mineralstoffe und Eigenschaften der Bindemittel –, zur Würfelherstellung und zu den Stempeldringtiefen an MA 6 sind in Tabelle 4.22 zusammengestellt.

Tabelle 4.22: Untersuchungen an Platten und Würfeln, Einzelwerte

Gussasphalt	MA 6	MA 6	MA 6	MA 6	MA 6	MA 6
Prüflabor	Tecno-	Tecno-	Tecno-	Tecno-	Tecno-	Tecno-
	test	test	test	test	test	test
Untersuchtes Probenmaterial	Platte	Platte	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel
	18	16	16.1	16.2	21.2	39.1
Anzahl Erhitzungen	1x	1x	2x	2x	2x	2x
Untersuchungen am Mischgut von Platten und Würfeln						
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.333	2.331	2.352	2.350	2.344	2.345
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	9.16	9.23	8.56	8.63	8.81	8.80
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]						
0.08 [Masse-%]	31.4	30.9	29.6	29.6	30.2	30.4
0.25 [Masse-%]	42.4	42.3	40.7	40.4	41.0	41.2
1.0 [Masse-%]	53.9	54.3	51.7	51.2	52.1	52.2
2.8 [Masse-%]	67.3	67.4	64.0	63.7	64.1	64.4
5.6 [Masse-%]	95.5	96.0	94.2	92.9	94.1	94.2
8.0 [Masse-%]	98.9	99.1	99.4	97.0	98.8	99.8
11.2 [Masse-%]	99.8	100.0	100.0	99.5	99.4	100.0
16.0 [Masse-%]	100.0			100.0	100.0	
Untersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel						
Penetration [0.1mm]	24	28				21
Erweichungspunkt RuK. [°C]	63.8	64.6				68.8
Penetrationsindex	+0.1	+0.6				+0.7
Untersuchungen an Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial						
Raumdichte [Mg/m ²]	2.305	2.322	2.322	2.321	2.308	2.311
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	1.2	0.4	1.3	1.2	1.6	1.4
Stempeleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial						
Nach 0.5 h [mm]	3.96	2.89	2.83	2.94	3.80	3.16
Zunahmen bis 1 h [mm]	1.02	0.66	0.67	0.66	1.02	0.75

Bei der Würfelherstellung das zweite Mal erhitzt
--

Die durch die zweite Erhitzung und Bearbeitung des Gussasphaltes bei der Würfelherstellung entstandenen Differenzen sind für den MA 6 in Tabelle 4.23 zusammengestellt.

Tabelle 4.23: Untersuchungen an Platten und Würfeln, Mittelwerte und Differenzen

Gussasphalt	MA 6	MA 6	MA 6	MA 6
Prüflabor	Tecnotest	Tecnotest	Tecnotest	Tecnotest
Untersuchtes Probenmaterial	Platten 18+16	4 Würfel	Platten zu Würfel	Platten zu Würfel
Anzahl Erhitzungen	1x	2x		
	Mittelwert	Mittelwert	Differenz absolut	Differenz relativ
Untersuchungen am Mischgut von Platten und Würfeln				
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.332	2.348	-0.016	
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	9.20	8.70	+0.50	+5.4%
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]				
0.08 [Masse-%]	31.1	30.0	+1.1	+3.5%
0.25 [Masse-%]	42.4	40.8	+1.6	+3.9%
1.0 [Masse-%]	54.1	51.8	+2.3	+4.3%
2.8 [Masse-%]	67.3	64.0	+3.3	+4.9%
5.6 [Masse-%]	95.7	93.9	+1.8	+1.9%
8.0 [Masse-%]	99.0	98.9	+0.1	+0.1%
11.2 [Masse-%]	99.9	99.7	+0.2	+0.2%
16.0 [Masse-%]	100.0	100.0	0.0	-
Untersuchungen am rückgewonnen Bindemittel				
Penetration [0.1mm]	26	21	+5	+19.2%
Erweichungspunkt RuK. [°C]	64.2	68.8	-4.6	-7.2%
Penetrationsindex	+0.3	+0.7	-0.4	-
Untersuchungen an Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial				
Raumdichte [Mg/m ²]	2.313	2.316	-0.003	
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	0.8	1.4	-0.6	
Stempeleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial				
Nach 0.5 h [mm]	3.42	3.18	+0.24	
Zunahmen bis 1 h [mm]	0.84	0.77	+0.07	

Bei der Würfelherstellung das zweite Mal erhitzt

4.3.2 Gussasphalt MA 8: Einflüsse der Würfelherstellung

Der Gussasphalt der Platten wurde einmal erhitzt, derjenige der Würfel zweimal (siehe Kap. 2.3). Die Ergebnisse zur Zusammensetzung – löslicher Bindemittelgehalt, Korngrößenverteilung der Mineralstoffe und Eigenschaften der Bindemittel –, zur Würfelherstellung und zu den Stempeleindringtiefen an MA 8 sind in Tabelle 4.24 zusammengestellt.

Tabelle 4.24: Untersuchungen an Platten und Würfeln, Einzelwerte

Gussasphalt	MA 8	MA 8	MA 8	MA 8
Prüflabor	Tecnotest			
Untersuchtes Probenmaterial	Platte 18	Platte 17	Würfel 21.1	Würfel 21.2
Anzahl Erhitzungen	1x	1x	2x	2x
Untersuchungen am Mischgut von Platten und Würfeln				
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.403	2.389	2.392	2.393
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	7.40	7.79	7.72	7.69
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]				
0.08 [Masse-%]	29.9	28.9	29.5	29.4
0.25 [Masse-%]	37.0	35.9	36.6	36.6
1.0 [Masse-%]	48.9	47.6	48.3	48.2
2.8 [Masse-%]	62.9	62.2	62.1	62.5
5.6 [Masse-%]	82.7	82.4	81.6	83.1
8.0 [Masse-%]	97.6	98.2	96.9	97.4
11.2 [Masse-%]	100.0	99.8	99.7	99.8
16.0 [Masse-%]	-	100.0	100.0	100.0
Untersuchungen am rückgewonnen Bindemittel				
Penetration [0.1mm]	31	31	24	
Erweichungspunkt RuK. [°C]	57.1	58.4	63.9	
Penetrationsindex	-0.6	-0.3	+0.2	
Untersuchungen an Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial				
Raumdichte [Mg/m ²]	2.351	2.362	2.352	2.362
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	2.2	1.2	1.6	1.3
Stempeleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial				
Nach 0.5 h [mm]	2.05	2.23	2.58	2.13
Zunahmen bis 1 h [mm]	0.31	0.42	0.50	0.34

Bei der Würfelherstellung das zweite Mal erhitzt

Die durch die zweite Erhitzung und Bearbeitung des Gussasphaltes bei der Würfelherstellung entstandenen Differenzen sind für den MA 8 in Tabelle 4.25 zusammengestellt.

Tabelle 4.25: Untersuchungen an Platten und Würfeln, Mittelwerte und Differenzen

Gussasphalt	MA 8	MA 8	MA 8	MA 8
Prüflabor	Tecnotest			
Untersuchtes Probenmaterial	Platten 18+17	2 Würfel	Platten zu Würfel	Platten zu Würfel
Anzahl Erhitzungen	1x	2x		
	Mittelwert	Mittelwert	Differenz absolut	Differenz relativ
Untersuchungen am Mischgut von Platten und Würfeln				
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.396	2.392	+0.004	
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	7.60	7.70	-0.10	-1.3%
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]				
0.08 [Masse-%]	29.4	29.5	-0.1	-0.3%
0.25 [Masse-%]	36.5	36.6	-0.1	-0.3%
1.0 [Masse-%]	48.2	48.2	0.0	0.0%
2.8 [Masse-%]	62.5	62.3	+0.2	+0.3%
5.6 [Masse-%]	82.5	82.3	+0.2	+0.3%
8.0 [Masse-%]	97.9	97.1	+0.8	+0.8%
11.2 [Masse-%]	99.9	99.8	+0.1	+0.1%
16.0 [Masse-%]	100.0	100.0	0.0	-
Untersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel				
Penetration [0.1mm]	31	24	+7	+22.6%
Erweichungspunkt RuK. [°C]	57.7	63.9	-6.2	-10.7%
Penetrationsindex	-0.5	+0.2	-0.7	
Untersuchungen an Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial				
Raumdichte [Mg/m ²]	2.356	2.357	-0.001	
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	1.7	1.4	+0.3	
Stempeleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial				
Nach 0.5 h [mm]	2.14	2.35	-0.21	
Zunahmen bis 1 h [mm]	0.36	0.42	-0.06	

Bei der Würfelherstellung das zweite Mal erhitzt

4.3.3 Gussasphalt MA 11: Einflüsse der Würfelherstellung

Der Gussasphalt der Platten wurde einmal erhitzt, derjenige der Würfel zweimal (siehe Kap. 2.3). Die Ergebnisse zur Zusammensetzung – löslicher Bindemittelgehalt, Korngrößenverteilung der Mineralstoffe und Eigenschaften der Bindemittel –, zur Würfelherstellung und zu den Stempelleindringtiefen an MA 11 sind in Tabelle 4.26 zusammengestellt.

Tabelle 4.26: Untersuchungen an Platten und Würfeln, Einzelwerte

Gussasphalt	MA 11	MA 11	MA 11	MA 11	MA 11
Prüflabor	Tecnotest				
Untersuchtes Probenmaterial	Platte	Platte	Würfel	Würfel	Würfel
	18	16	3.2	39.1	21.1
Anzahl Erhitzungen	1x	1x	2x	2x	2x
Untersuchungen am Mischgut von Platten und Würfeln					
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.414	2.404	2.420	2.425	2.426
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	6.97	7.25	6.79	6.65	6.62
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]					
0.08 [Masse-%]	24.5	24.4	24.0	23.1	23.6
0.25 [Masse-%]	31.0	31.4	30.7	29.5	29.9
1.0 [Masse-%]	43.0	43.9	42.2	40.5	41.3
2.8 [Masse-%]	53.1	54.2	52.1	49.8	51.1
5.6 [Masse-%]	69.8	70.1	68.7	64.9	66.4
8.0 [Masse-%]	86.8	86.7	86.0	83.7	84.6
11.2 [Masse-%]	99.0	98.6	98.7	99.6	99.2
16.0 [Masse-%]	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Untersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel					
Penetration [0.1mm]	18	21			
Erweichungspunkt RuK. [°C]	68.0	66.6			
Penetrationsindex	+0.3	+0.4			
Untersuchungen an Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial					
Raumdichte [Mg/m ²]	2.385	2.389	2.382	2.396	2.392
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	1.2	0.6	1.6	1.2	1.4
Stempelleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln, hergestellt aus Plattenmaterial					
Nach 0.5 h [mm]	0.74	1.53	0.56	1.09	0.71
Zunahmen bis 1 h [mm]	0.16	0.25	0.13	0.23	0.15

Bei der Würfelherstellung das zweite Mal erhitzt

Die durch die zweite Erhitzung und Bearbeitung des Gussasphaltes bei der Würfelherstellung entstandenen Differenzen sind für den MA 11 in Tabelle 4.27 zusammengestellt.

Tabelle 4.27: Untersuchungen an Platten und Würfeln, Mittelwerte und Differenzen

Gussasphalt	MA 11	MA 11	MA 11	MA 11
Prüflabor	Tecnotest	Tecnotest	Tecnotest	Tecnotest
Untersuchtes Probenmaterial	Platten 18+16	3 Würfel	Platten zu Würfel	Platten zu Würfel
Anzahl Erhitzungen	1x	2x		
	Mittelwert	Mittelwert	Differenz absolut	Differenz relativ
Untersuchungen am Mischgut von Platten und Würfeln				
Rohdichte Mischgut [Mg/m ²]	2.408	2.424	-0.016	
Lösl. Bindemittelgehalt [Masse-%]	7.11	6.69	+0.42	+5.9%
Siebdurchgänge bei Prüfsieb [mm]				
0.08 [Masse-%]	24.4	23.8	+0.6	+2.5%
0.25 [Masse-%]	31.2	30.0	+1.2	+3.8%
1.0 [Masse-%]	43.4	41.5	+1.9	+4.4%
2.8 [Masse-%]	53.6	51.0	+2.6	+4.9%
5.6 [Masse-%]	70.0	66.7	+3.3	+4.7%
8.0 [Masse-%]	86.8	84.7	+2.1	+2.4%
11.2 [Masse-%]	98.8	99.5	-0.7	-0.7%
16.0 [Masse-%]	100.0	100.0	0.0	-
Untersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel				
Penetration [0.1mm]	19	-	-	
Erweichungspunkt RuK. [°C]	67.3	-	-	
PI	+0.4	-	-	
Untersuchungen an Würfeln				
Raumdichte [Mg/m ²]	2.387	2.390	-0.003	
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	0.8	1.5	-0.7	
Stempeleindringtiefe an Gussasphalt-Würfeln				
Nach 0.5 h [mm]	1.14	0.79	+0.35	
Zunahmen bis 1 h [mm]	0.20	0.17	+0.03	

Bei der Würfelherstellung das zweite Mal erhitzt

4.3.4 Kommentare und Folgerungen: Einflüsse der Würfelherstellung

Veränderung der Gussasphalte durch die Würfelherstellung

Durch die zweite Erwärmung wird das Bindemittel der Gussasphalte, wie erwartet, stark verhärtet. Die Verhärtung in der Penetration beträgt für:

- Gussasphalt MA 6, Tabelle 4.23, Penetration von 26 auf 21, Verhärtung 5 0.1 mm
- Gussasphalt MA 8, Tabelle 4.25, Penetration von 31 auf 24, Verhärtung 7 0.1 mm

Die Verhärtung im Erweichungspunkt (EP) RuK beträgt für:

- Gussasphalt MA 6, Tabelle 4.23, EP RuK von 64.2 auf 68.8, Verhärtung 4.6°C
- Gussasphalt MA 8, Tabelle 4.25, EP RuK von 57.7 auf 63.9, Verhärtung 6.2°C

Die Bindemittleigenschaften beeinflussen die Ergebnisse der statischen Eindringtiefen deutlich. Je „härter“ das Bindemittel ist, desto kleinere Eindringtiefen resultieren. Durch die Würfelherstellung beträgt die Verhärtung der beiden untersuchten Bindemittel in der Penetration beispielsweise rund 20%.

Die wegen Probenentteilung und erneuter Durchmischung der kleinen Mengen vermuteten systematischen Änderungen in den Gussasphalt-Zusammensetzungen haben sich nicht bewahrheitet. Insbesondere ein eventuell möglicher „Bindemittelverlust“ bei der Bearbeitung ist bei den drei untersuchten Gussasphalt-Sorten nicht eingetreten, vgl. Tabellen 4.23, 4.25 und 4.27.

Unterschiede in den Hohlraumgehalten der Prüfwürfel

Die Hohlraumgehalte der drei Serien Prüfwürfel, welche für diese Abklärungen im Kapitel 4.3 alle durch das Labor der Tecnotest hergestellt wurden, streuen stark:

- 0.4...1.6 Vol.-%, Differenz 1.2 Vol.-% für die 6 Würfel des MA 6
- 1.2...2.2 Vol.-%, Differenz 1.0 Vol.-% für die 4 Würfel des MA 8
- 0.6...1.6 Vol.-%, Differenz 1.0 Vol.-% für die 5 Würfel des MA 11

Die Verdichtung der Prüfkörper ist in den Normen [1], [2] und auch in der EN [3] nicht klar definiert, daraus resultieren unterschiedliche Hohlraumgehalte, die einen grossen Einfluss auf die Eindringtiefe haben

4.4 Laboruntersuchungen an Gummi-Prüfkörpern

Das Durchführen einer zusätzlichen Ringanalyse zur statischen Eindringtiefe an Gummi-Prüfkörpern erfolgte, wie in Kapitel 1.3 ausgeführt, um den Anteil des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte sowie als Differenz zur gesamten Variation den Anteil der Gussasphalt-Prüfkörper zu bestimmen.

Alle Abklärungen die zur Wahl der Gummi-Prüfkörper führten und sämtliche Untersuchungen an diesen Gummi-Prüfkörpern wurden durch die IMP Bautest AG durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 4.4 aufgeführt.

4.4.1 Eigenschaften der Gummi-Prüfkörper

Shore-Härte

Als erste Qualitätsbestimmung wurde an 3 Gummi-Prüfkörpern die Shore-Härte bestimmt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 4.28 aufgeführt:

Tabelle 4.28: Stichprobenweise Bestimmung der Shore-Härte (3-fach-Bestimmung) an 3 Gummi-Prüfkörpern

PK-Nr.	Prüfung Nr.	Shore A - Härte			
		1	2	3	MW
9210	1	62.5	62.0	62.5	62
9211	2	62.0	63.5	63.0	63
9212	3	62.5	62.0	63.0	63

Statische Eindringtiefe

Ebenfalls im Sinne einer Eingangskontrolle wurde die statische Eindringtiefe gemäss 671 970 [2] an sämtlichen 20 Gummi-Prüfkörpern durchgeführt. Um gerätespezifische Unterschiede auszuschliessen wurden sämtliche Eindringtiefen an ein- und demselben Prüfstempel (linker Prüfstempel) mit dem gleichen Prüfgerät durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.29 aufgeführt.

Tabelle 4.29: Statische Eindringtiefe an 20 Gummi-Prüfkörpern

PK-Nr.	Nr.	Eindringtiefe		PK-Nr.	Nr.	Eindringtiefe	
		Linker Prüfstempel				Linker Prüfstempel	
		ET 30	ZET			ET 30	ZET
9210	1	2.39	0.04	9220	11	4.64	0.18
9211	2	2.43	0.04	9221	12	3.46	0.08
9212	3	2.45	0.05	9222	13	3.05	0.07
9213	4	2.45	0.04	9223	14	3.18	0.07
9214	5	2.52	0.05	9224	15	3.45	0.08
9215	6	2.46	0.05	9225	16	3.00	0.07
6216	7	3.77	0.10	9226	17	3.21	0.08
9217	8	3.66	0.09	9227	18	2.82	0.08
6218	9	4.22	0.12	9228	19	3.39	0.09
6219	10	4.42	0.16	9229	20	3.72	0.09
Auswertungen		ET 30	ZET				
Mittelwert Nr. 1 bis 20		3.23	0.08				
Minimum		2.39	0.04				
Maximum		4.64	0.18				
Standardabweichung		0.68	0.04				

Für die Bestimmung der statischen Eindringtiefe wurden die Gummi-Prüfkörper analog einem Gussasphalt-Würfel behandelt, das heisst auf 40°C temperiert und in der Halterung eingespannt.

Die Ergebnisse der statischen Eindringtiefe überraschen durch deren Streuung, wurde doch angenommen, dass ein homogenes Produkt zu untersuchen war.

4.4.2 Vergleich Shore-Härte zu Eindringtiefe

Bevor die beiden Prüfverfahren einander gegenübergestellt wurden, wurden die erhaltenen Ergebnisse überprüft. Die Shore-Härte wurde nochmals an drei weiteren Prüfkörpern (9218 bis 9220) durchgeführt, dazu kamen wiederholte Bestimmungen an den Prüfkörpern 9220 und 9211 (siehe Tabelle 4.30)

Tabelle 4.30: Überprüfung der Shore-Härten; Wiederholung der Bestimmungen

PK-Nr.	Prüfung Nr.	Shore A - Härte				Bemerkungen
		1	2	3	MW	
9218	9	63.0	63.5	62.5	63	
9219	10	63.0	63.0	63.0	63	
9220	11	63.5	62.0	63.5	63	Erstbestimmung
9220	11	62.0	63.0	62.5	63	Wiederholung
9211	2	62.0	63.5	63.0	63	Erstbestimmung
9211	2	63.5	64.5	64.0	64	Wiederholung

Auch bei den statischen Eindringtiefen wurden Wiederholungen der Prüfungen durchgeführt. Die folgenden Eindringtiefen wurden nur mit dem linken Prüfstempel bestimmt, um allfällige kleine Unterschiede auszuschliessen. Aus der untenstehenden Tabelle 4.31 geht hervor, dass die ursprüngliche Bestimmung der statischen Eindringtiefe korrekt durchgeführt wurde. Die Abweichungen zwischen der Erstbestimmung und der Wiederholung sind sehr klein. Da bei der Wiederholung sämtliche 4 Werte kleiner sind als bei der Erstbestimmung, wird eine tendenzielle Abnahme der Eindringtiefe der Gummi-Prüfkörper in Funktion des Alters der Prüfkörper vermutet (Verhärtung).

Tabelle 4.31: Überprüfung der Eindringtiefen; Wiederholung der Bestimmungen

PK-Nr.	Prüfung Nr.	Eindringtiefe		Bemerkungen
		linker Prüfstempel		
		ET 30	ZET	
9211	2	2.43	0.04	
9211	2	2.39	0.03	Wiederholung
9214	5	2.52	0.05	
9214	5	2.49	0.05	Wiederholung
9220	11	4.64	0.18	
9220	11	4.52	0.16	Wiederholung

9228	19	3.39	0.09	
6228	19	3.27	0.10	Wiederholung

In der Tabelle 4.32 sind die Ergebnisse einer Vergleichsuntersuchung zwischen linkem und rechtem Prüfstempel aufgeführt. Auch hier sind die Unterschiede derart klein, dass davon ausgegangen werden kann, es bestehen keine Unterschiede zwischen linkem und rechtem Prüfstempel.

Tabelle 4.32: Statische Eindringtiefe; Vergleich zwischen linkem und rechtem Prüfstempel

PK-Nr.	Prüfung Nr.	Eindringtiefe		Eindringtiefe	
		linker Prüfstempel		rechter Prüfstempel	
		ET 30	ZET	ET 30	ZET
9211	2	2.43	0.04	2.45	0.04
9214	5	2.52	0.05	2.50	0.04
9220	11	4.64	0.18	4.36	0.14
9228	19	3.39	0.09	3.55	0.10

Aus dem direkten Vergleich der Shore-Härte mit der statischen Eindringtiefe sind folgende Schlüsse zu ziehen:

- Beide Untersuchungsergebnisse lassen sich nicht direkt vergleichen:
Bei den Prüfkörpern 19 und 11 beträgt die mittlere Shore-Härte 63, die mittlere Eindringtiefe nach 30 Min. 4.4 mm. Als Vergleich dazu beträgt die mittlere Shore-Härte bei den Prüfkörpern 1, 2, 3 ebenfalls 63; die mittlere statische Eindringtiefe jedoch 2.4 mm
- Es ist davon auszugehen, dass die Shore-Härte nur die oberflächennahen Bereiche erfasst, während die statische Eindringtiefe auch tiefere Bereiche innerhalb des Prüfkörpers beansprucht. Geht man davon aus, dass die Prüfkörper aus homogenem Kunststoff hergestellt wurden, dürfte die unterschiedliche Tiefenwirkung der beiden Prüfungen keine Rolle spielen.

4.4.3 Raumdichten der Gummi-Prüfkörper

Bei Vorliegen der Ergebnisse von Shore-Härte und statischen Eindringtiefen wurde vermutet, dass auch die Gummi-Prüfkörper inhomogen sind. Um Klarheit darüber zu gewinnen, wurde die Raumdichte an einigen Prüfkörpern bestimmt, die Ergebnisse sind in der Tabelle 4.33 aufgeführt.

Tabelle 4.33: Bestimmung der Raumdichte der Gummi-Prüfkörper, Berechnung des Hohlraumgehaltes aufgrund der vom Hersteller angegebenen Rohdichte $1.3339 \text{ [g/cm}^3\text{]}$

PK-Nr.	Prüfung Nr.	Raumdichte [g/cm ³]	Hohlraumgehalt [Vol.-%]
9211	2	1.3324	0.11
9214	5	1.3326	0.09
9216	7	1.3235	0.78
9217	8	1.3240	0.74
9218	9	1.3229	0.82
9220	11	1.3218	0.90
9223	14	1.3270	0.51
6225	16	1.3265	0.55
9227	18	1.3244	0.71
9228	19	1.3267	0.54

Aus den folgenden Grafiken geht eine klare Abhängigkeit der statischen Eindringtiefe von der Raumdichte der Gummi-Prüfkörper hervor. Dies gilt sowohl für die statische Eindringtiefe nach 30 Min. (Abbildung 4.17) wie auch für die Zunahme 30/60 Min (Abbildung 4.18).

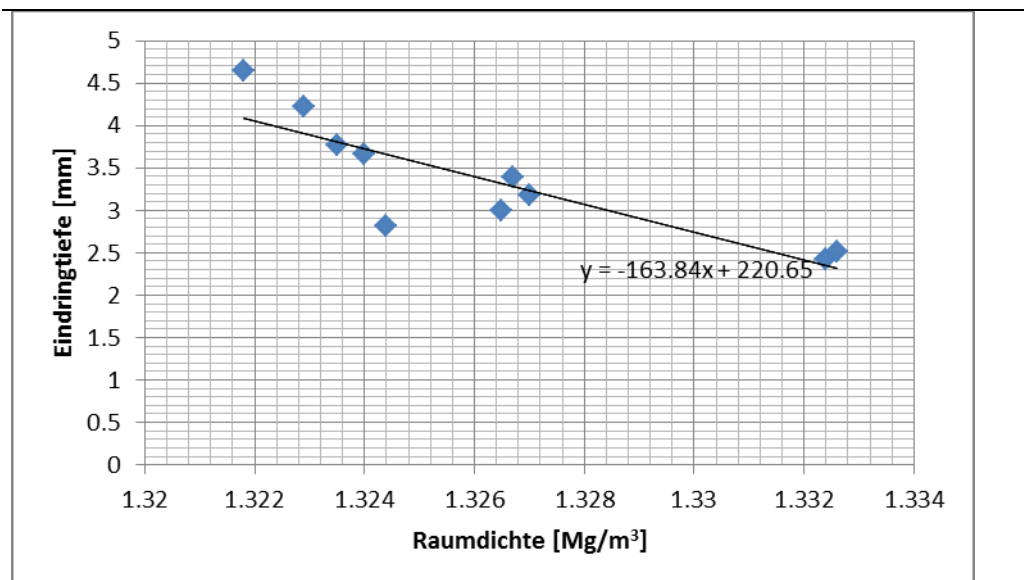


Abb. 4.17 Abhängigkeit der Eindringtiefe nach 30 Minuten von der Rohdichte der Gummi-Prüfkörper

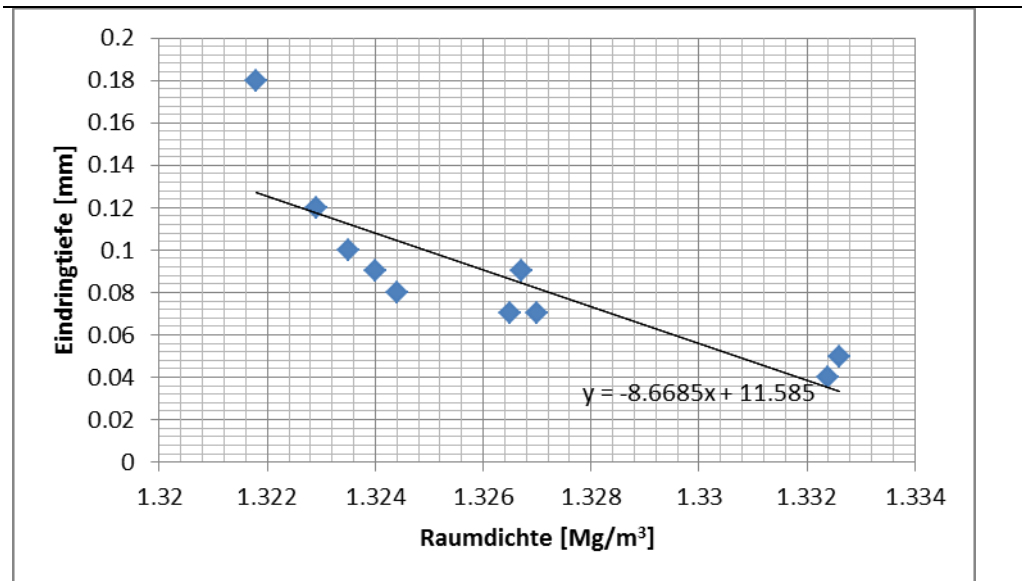


Abb. 4.18. Abhängigkeit der Zunahme der Eindringtiefe von 30 Minuten bis zu 60 Minuten Belastung von der Raumdichte der Gummi-Prüfkörper

Eigenschaften der Gummi-Prüfkörper

Die in diesem Kapitel aufgeführten Untersuchungsergebnisse und Auswertungen zeigen die Inhomogenitäten der Gummi-Prüfkörper mit der Abhängigkeit zwischen Raumdichte und Eindringtiefe auf.

4.4.4 Statische Eindringtiefen, Wiederholungen als Kontrolle

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurde an einigen Gummi-Prüfkörpern die Eindringtiefe zu verschiedenen Zeitpunkten dreimal bestimmt, vgl. folgende Tabelle 4.34.

Tabelle 4.34: Zusammenstellung der Wiederholungen der statischen Eindringtiefe nach 0.5 h, in [mm]

PK-Nr.	Prüfung Nr.	Linker Stempel	Linker Stempel, Wiederholung	Rechter Stempel	Standardabweichung	
9211	2	2.43	2.39	2.45	0.031	1.3%
9214	5	2.52	2.49	2.50	0.015	0.6%
9220	11	4.64	4.52	4.36	0.140	3.1%
9228	19	3.39	3.27	3.55	0.140	4.1%
Mittelwert der Standardabweichung					0.082	2.3%

Folgerungen aus den Prüfergebnissen bestimmt an Gummi-Prüfkörpern

Obwohl Anzeichen dafür bestehen, dass das Material leicht verhärtete, weil alle vier Wiederholungen in der 4. Spalte haben eine leicht geringere Eindringtiefe, sind die Werte doch so ähnlich, dass sich daraus die Wiederholstandardabweichung als grobes Mass für den Prüffehler aus Prüfverfahren und Prüfgerät berechnen lässt.

Es ergeben sich Wiederholstandardabweichungen (siehe Tabelle 4.34, letzte Spalte) zwischen 0.015 und 0.140 mm, im Mittel 0.082 mm, gerundet etwa 0.1 mm und relativ 0.6 bis 4.1%, im Mittel 2.3% als Beitrag des Prüfverfahrens und des Prüfgerätes zur gesamten Streuung für Wiederholbedingungen (gleicher invarianter Prüfkörper, gleiches Prüfgerät, gleicher Operator, gleiches Prüfverfahren).

4.5 Ringversuch an Gummi-Prüfkörpern

4.5.1 Statische Eindringtiefen

Das Kapitel zeigt die Ergebnisse (statische Eindringtiefe nach 30 Minuten, 60 Minuten und Zunahme der Eindringtiefe zwischen 30 und 60 Minuten) der Dreifachbestimmung im Rahmen des Ringversuches an Gummi-Prüfkörpern. Dabei sind die Daten für Bestimmungen mit dem linken und dem rechten Stempel zusammengefasst. In den Spalten 6 und 7 sind die absolute Standardabweichung und ihr relativer Wert in Prozent bezogen auf das Mittel der drei Werte aufgeführt.

Statische Eindringtiefen nach 30 Minuten

Tabelle 4.35 und Abbildung 4.19 zeigen die Ergebnisse der Eindringtiefe nach 30 Minuten, bestimmt an Gummi-Prüfkörpern. Tabelle 4.36 zeigt die zugehörigen Auswertungen und zwar einmal mit und das zweite Mal ohne Labor 9, dessen Werte offensichtlich Ausreisser darstellen.

Tabelle 4.35 Statische Eindringtiefe nach 30 Minuten, Gummi-Prüfkörper

Labor	Linker Stempel		Rechter Stempel		Mittelwert	Standardabweichung	
	ET30, Wert 1L	ET30, Wert 2L	ET30, Wert 1R	ET30, Wert 2R		absolut	relativ
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[%]
L1	2.71	2.54	2.69	2.67	2.65	0.077	3%
L2	2.89	2.87	2.97	2.63	2.84	0.147	5%
L3	3.05	2.98	3.16	3.09	3.07	0.075	2%
L5	2.96	3.45	2.99	3.29	3.17	0.238	7%
L6	3.22	3.03	3.00	2.86	3.03	0.148	5%
L7	3.47	3.14	3.50	3.16	3.32	0.194	6%
L8	3.08	3.37	2.99	3.26	3.18	0.172	5%
L9	4.25	5.98	4.51	6.13	4.77	0.975	19%
L10	2.82	2.9	2.85	2.9	2.87	0.039	1%
L11	3.11	3.13	3.09	3.11	3.12	0.030	1%
L12	3.09	2.88	3.11	2.84	2.98	0.140	5%
L13	2.41	2.45	2.35	2.41	2.41	0.041	2%

Tabelle 4.36 Auswertungen (der statischen Eindringtiefen von Tabelle 4.35)

Mittel der Mittelwerte aller Labors	3.15	
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s, aller Labors	0.190	6.0%
Vergleichsstandardabw. s_R der Mittelwerte aller Labors	0.696	
Mittel der Mittelwerte ohne Labor L9 (Ausreisser)	2.93	
Mittel der Wiederholstandardabw. s, ohne Labor L9	0.118	4.0%
Vergleichsstandardabw. s_R der Mittelwerte ohne Labor L9	0.287	9.8 %

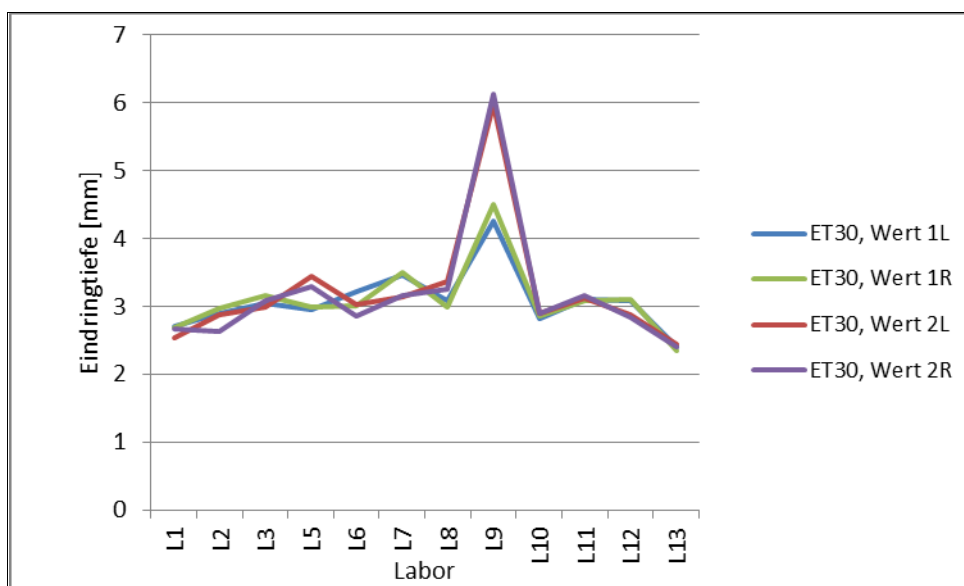


Abb. 4.19. Statische Eindringtiefe nach 30 Minuten, Gummi-Prüfkörper

Statische Eindringtiefen nach 60 Minuten

Tabelle 4.37 und Abbildung 4.20 zeigen die Ergebnisse der Eindringtiefe nach 60 Minuten, bestimmt an Gummi-Prüfkörpern. Tabelle 4.38 zeigt die zugehörigen Auswertungen und zwar einmal mit und das zweite Mal ohne Labor 9, dessen Werte offensichtlich Ausreisser darstellen.

Tabelle 4.37 Statische Eindringtiefe nach 60 Minuten, Gummi-Prüfkörper

Labor	Linker Stempel		Rechter Stempel		Mittelwert	Standardabweichung	
	ET60, Wert 1L	ET60, Wert 2L	ET60, Wert 1R	ET60, Wert 2R		absolut	relativ
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
L1	2.76	2.61	2.75	2.72	2.71	0.069	3%
L2	2.95	2.94	3.03	2.68	2.90	0.152	5%
L3	3.11	3.05	3.22	3.16	3.14	0.072	2%

L5	3.03	3.54	3.07	3.35	3.25	0.241	7%
L6	3.28	3.09	3.07	2.92	3.09	0.148	5%
L7	3.53	3.21	3.56	3.24	3.39	0.186	5%
L8	3.13	3.45	3.05	3.34	3.24	0.185	6%
L9	5.98	6.05	4.45	6.22	5.68	0.823	14%
L10	2.88	2.99	2.91	2.98	2.94	0.054	2%
L11	3.18	3.20	3.11	3.20	3.17	0.043	1%
L12	3.15	2.93	3.16	2.91	3.04	0.136	4%
L13	2.44	2.50	2.35	2.43	2.43	0.062	3%

Tabelle 4.38 Auswertungen (der statischen Eindringtiefen von Tabelle 4.37)

Mittel der Mittelwerte aller Labors	3.25	
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r aller Labors	0.181	5.6%
Vergleichsstandardabw. s_R der Mittelwerte aller Labors	0.807	
Mittel der Mittelwerte ohne Labor L9	2.99	
Mittel der Wiederholstandardabweichungen s_r ohne Labor L9	0.122	4.1%
Vergleichsstandardabw. s_R der Mittelwerte ohne Labor L9	0.299	10.0%

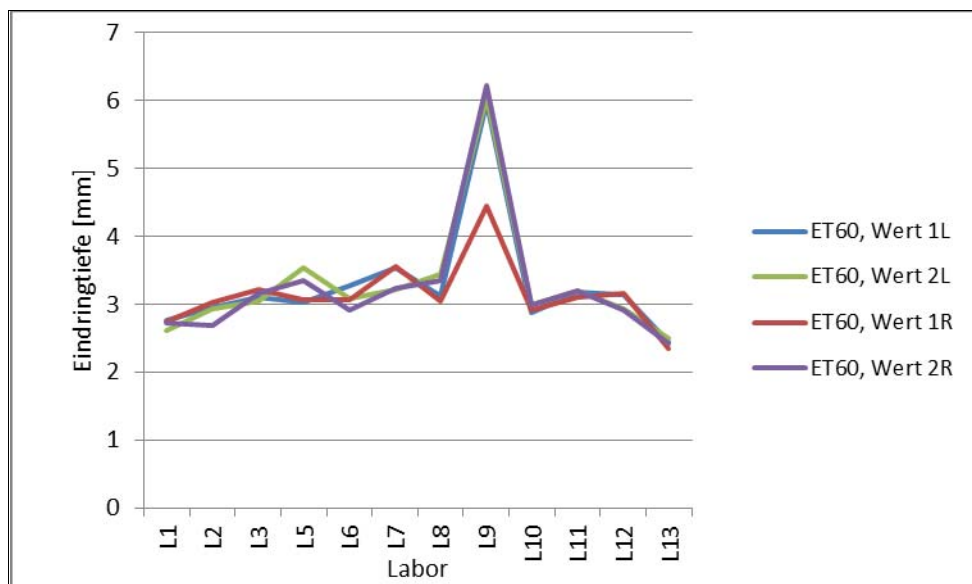


Abb. 4.20. Statische Eindringtiefe nach 30 Minuten, Gummi-Prüfkörper

Kontrollen der Gummi-Prüfkörper

Im Rahmen des Ringversuches überprüfte das organisierende Labor IMP die Eindringtiefe der Gummi-Prüfkörper dreimal, vor dem Versand und jeweils nach Rücksendung durch das erste und das zweite Labor. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.39 zusammengefasst.

Tabelle 4.39 Kontrollbestimmungen der statische Eindringtiefe nach 30 Minuten, Gummi-Prüfkörper, durch das Labor der IMP

PK-Nr.	vor 1.	zwischen 1.	nach 2.	Mittelwert	Standard- abweichung
	Versand	und 2. Versand	Versand		
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	2.39	2.31	2.28	2.33	0.06
2	2.39	2.37	2.34	2.37	0.03
3	2.45	2.51	2.35	2.44	0.08
4	2.45	2.41	2.43	2.43	0.02
5	2.49	2.60	2.45	2.51	0.08
6	2.46	2.95	2.44	2.62	0.29
7	3.77	3.50	3.34	3.54	0.22
9	4.22	3.69	3.52	3.81	0.37
10	4.42	3.77	3.60	3.93	0.43
11	4.52	4.16	3.56	4.08	0.48
19	3.27	3.08	3.02	3.12	0.13
20	3.72	3.30	3.10	3.37	0.32

Tabelle 4.40 zeigt die entsprechenden Auswertungen. Die für die Gruppe 1 mit tiefen Werten gefundenen Wiederholstandardabweichungen und jene der in Kap. 4.4 beschriebenen Versuchsserie liegen im gleichen Bereich.

Tabelle 4.40 Auswertung der Kontrollbestimmungen der Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Eindringtiefe nach 30 Minuten, Gummi-Prüfkörper

Prüfkörpergruppe	Mittelwert	Standardabweichung	
		absolut	relativ
	[mm]	[mm]	[%]
Gruppe 1 tiefe Werte (PK 1-6)	2.45	0.09	3.7%
Gruppe 1 tiefe Werte ohne PK 6	2.41	0.05	2.2%
Gruppe 2 hohe Werte (PK 7-20)	3.64	0.32	8.9%

Die Prüfkörper können klar in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- Gruppe 1, PK-Nr. 1 bis 6: Die Prüfkörper weisen tiefe Eindringtiefen auf, die Werte liegen alle unter 3 mm, mit Ausnahme einer Bestimmung sogar im Bereich 2.28 bis 2.60 mm. Die Streuung ist klein, liegt mit einer Ausnahme unter 0.1 mm. Eine eindeutige Verhärtung als Funktion der Zeit ist nicht zu erkennen. Die Unterschiede zwischen den Prüfkörpern sind ebenfalls gering. Die Prüfkörper eignen sich somit als Referenzmaterial für einen Ringversuch und für die Ermittlung statistischer Kennwerte.

Besonders auffällig ist in dieser Gruppe die zweite Bestimmung am Prüfkörper 6. Die Eindringtiefe beträgt 2.95 mm, während die restlichen Werte von 2.28 mm bis 2.49 mm reichen. Der Wert kann somit als Ausreisser betrachtet werden, die Berechnung von Mittelwert und Wiederholstandardabweichung in Tabelle 4.40 wurden daher einmal mit und einmal ohne die Werte des PK 6 durchgeführt.

- Gruppe 2, PK-Nr. 7, 9, 10, 11, 19, 20: Die Prüfkörper weisen im Vergleich zur Gruppe 1 höhere Eindringtiefen auf, die Werte liegen alle über 3 mm, im Bereich 3.02 mm bis 4.52 mm. Die Streuung ist höher, zwischen 0.13 mm und 0.48 mm. Die Verhärtung im Verlaufe der Zeit ist klar zu erkennen, ebenso deutliche Unterschiede zwischen den Prüfkörpern. Die Prüfkörper eignen sich somit nicht als Referenzmaterial für einen Ringversuch und für die Ermittlung statistischer Kennwerte.

4.5.2 Kommentare und Folgerungen, Einfluss von Prüfverfahren und Prüfgeräten

Gummi-Prüfkörper

Im Verlaufe der Voruntersuchungen nach Kapitel 4.4 wurde überraschend festgestellt, dass bei den Gummi-Prüfkörpern kein durchwegs homogenes Material vorliegt.

Ringversuch an den Gummi-Prüfkörpern

Der Ringversuch an den Gummi-Prüfkörpern zeigt für die statische Eindringtiefe nach 30 und nach 60 Minuten eine deutlich geringere Wiederholstandardabweichung s_r (4% statt 10%) und Vergleichsstandardabweichung s_R (10% statt 20%) als an den Gussasphalt-Prüfkörpern vgl. Kapitel 5.1, Tabellen 5.1 und 5.2. Die folgenden Ausführungen gelten für beide Eindringtiefen nach 30 und nach 60 Minuten, da die Wiederhol- und Vergleichsstandardabweichungen etwa gleich sind.

Wird vorausgesetzt, dass die Gummi-Prüfkörper homogen sind und keinen unterschiedlichen Einfluss auf die statische Eindringtiefe haben, ist die direkt bestimmte relative Wiederholstandardabweichung von 4% und die relative Vergleichsstandardabweichung von 10% ausschliesslich dem Einfluss des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte zuzuordnen. Dieser Einfluss des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte ist für die beiden Ringanalysen an Gummi- und an Gussasphalt-Prüfkörpern etwa gleich gross. Die Differenzen in den Ergebnissen zwischen den beiden Ringanalysen, Wiederholstandardabweichung von 6% und Vergleichsstandardabweichung von 10%, sind entsprechend durch die Gussasphalt-Prüfkörper verursacht.

Da jedoch auch bei den Gummi-Prüfkörpern kein homogenes Material vorliegt, die Streuungen in den Eigenschaften sind aber deutlich geringer als beim Gussasphalt, ist ein Teil dieser Wiederhol- und Vergleichsstandardabweichungen auf die unterschiedlichen Eigenschaften der verwendeten Gummi-Prüfkörper zurückzuführen. Die Einfluss auf die Wiederhol- und in die Vergleichsstandardabweichung des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte werden dadurch kleiner, der Einfluss der Gussasphalt-Prüfkörper grösser.

Wiederholstandardabweichung

Bei den Kontrollprüfungen an den Gummi-Prüfkörpern vor, während und nach der Ringanalyse lassen sich zwei Gruppen mit unterschiedlichen Eigenschaften nachweisen. Nur die erste weist dabei die Homogenität auf, die für die Durchführung eines Ringversuches nötig ist. Berücksichtigt man alle Werte dieser Gruppe, so erhält man eine Wiederholstandardabweichung von 0.09 mm oder relativ 3.7%. Berücksichtigt man den Prüfkörper 6, bei dem ein Ausreisser vorliegt nicht, sinken diese Werte für die Gruppe 1 sogar auf 0.05 mm, beziehungsweise relativ auf 2.2%. Mit diesen 2.2% sind 60% der bestimmten Wiederholstandardabweichung von 3.7% auf das Prüfverfahren inklusive die Prüfgeräte zurückzuführen und die Differenz von 1.5% der Wiederholstandardabweichung und damit 40% auf die Gummi-Prüfkörper.

Die Ergebnisse der Kontrollprüfungen stimmen gut mit den Befunden des Kapitels 4.4 aus den Voruntersuchungen überein, die Wiederholstandardabweichungen von 0.015 bis 0.14 mm; Mittel 0.082 mm und relativ von 0.6 bis 4.1%, Mittel 2.3%, liefern und als Prüffehler für das Prüfverfahren inklusive die Prüfgeräte gelten.

Insgesamt kann aus den Ergebnissen der Kontrollprüfungen für die Ringanalyse gefolgert werden, dass die von der Ungenauigkeit des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte herrührende Wiederholstandardabweichung kleiner als 0.09 mm oder relativ kleiner als etwa 3.7% ist. Mit Berücksichtigung der Reduktion von 60% durch den Einfluss der Inhomogenität der Gummi-Prüfkörper resultiert eine Wiederholstandardabweichung von 0.05 mm und etwa 2.2% für den Einfluss des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte.

Für die Bewertung des Einflusses des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte können die 2.2% Wiederholstandardabweichung auch für den Ringversuch mit Gussasphaltprüfkörpern angenommen werden. Die Differenz zur gesamten Wiederholstandardabweichung von 10%, die auf den Einfluss der Gussasphalt-Prüfkörper zurückzuführen ist, beträgt somit rund 7.8%.

Aus den zusätzlichen Untersuchungen und der Ringanalyse an den Gummi-Prüfkörpern lassen sich die an den Gussasphalt-Prüfkörpern bestimmten Wiederholstandardabweichungen für die statische Eindringtiefe nach 30 und nach 60 Minuten von rund 10% aufteilen auf etwa:

- 2.2% Einfluss des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte (22%)
- 7.8% Einfluss der Gussasphalt-Prüfwürfel (78%)

Vergleichsstandardabweichungen

Der Ringversuch an den Gummi-Prüfkörpern zeigt für die statische Eindringtiefe nach 30 und nach 60 Minuten eine deutlich geringere Vergleichsstandardabweichung s_R (10% statt 20%) als an den Gussasphalt-Prüfkörpern.

Aus den Untersuchungen und dem Ringversuch an den Gummi-Prüfkörpern resultieren keine zusätzlichen Informationen zu den Vergleichsstandardabweichungen. Als Reduktion durch den Einfluss der Inhomogenität der Gummi-Prüfkörper wird deshalb für den Einfluss des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte ebenfalls 60% angenommen, somit 60% von 10% Vergleichsstandardabweichungen = 6%.

Aus der Ringanalyse an den Gussasphalt-Prüfkörpern lassen sich die bestimmten Wiederholstandardabweichungen für die statische Eindringtiefe nach 30 und nach 60 Minuten von rund 20% aufteilen auf geschätzt etwa:

- 6% Einfluss des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte (30%)
- 14% Einfluss der Gussasphalt-Prüfwürfel (70%)

5 Folgerungen

5.1 Ringversuch „Statische Eindringtiefe“ an Gussasphalt-Prüfkörpern

Für die Prüfung „Statische Eindringtiefe mit ebenem Stempel an Gussasphalt-Würfeln“ nach den Normen [2] und [2], die im Wesentlichen gleich sind, konnten keine Verbesserungen bezüglich der Präzisionen unter Wiederhol- und Vergleichsbedingungen erreicht werden (siehe Tabellen 5.1 und 5.2).

Dies trotz minutiöser Prüfbeschreibung, einer vor den Ringversuchen durchgeführten Information der beteiligten Laboratorien, der Verwendung von industriell optimal gleichmässig hergestellten Gussasphalten als Prüfmaterialien und aufwändiger Probenahme, um möglichst gleichmässige Proben zu erhalten.

Während bei der Gussasphaltsorte MA 6 durchwegs kleinere Standardabweichungen als bei den anderen beiden Sorten festzustellen sind, sind die Unterschiede zwischen MA 8 und MA 11 weniger eindeutig. Insgesamt nimmt die Messungenauigkeit aber mit zunehmendem Grösstkorn zu. Für die Eindringtiefen bei den verschiedenen Belastungszeiten ET 30, ET 60 und ZET 30-60 lässt sich hingegen kein Trend erkennen.

Wiederholstandardabweichungen s_r / Wiederholpräzision r

Die folgende tabellarische Zusammenstellung der in 13 Laboratorien bestimmten Ergebnisse der „Statischen Eindringtiefe mit ebenem Stempel an Gussasphalt-Würfeln“ zeigt deutlich, dass die relativen Streuungen der Eindringtiefen nach 30, 60 und der Zunahme von 30 bis 60 Minuten (ET 30, ET 60 und ZET 30-60) im Wesentlichen unabhängig von der Gussasphaltsorte sind. Nur für die feinkörnige Sorte MA 6 sind die Wiederholstandardabweichungen ET 30 und ET 60 geringfügig kleiner (siehe Tabelle 5.1). Die gefundenen Grössen der Wiederholstandardabweichungen ET 30 und ET 60 entsprechen den Angaben der Europäischen Norm EN 12697-20 [3] mit 10 %. Systematisch grössere Streuungen als die Prüfgrössen ET 30 und ET 60 zeigt die Zunahme der Eindringtiefe zwischen 30 und 60 Minuten ZET 30-60. Dies ist nicht verwunderlich, handelt es sich doch um absolut kleine Werte.

Tabelle 5.1 Wiederholstandardabweichungen s_r der Gussasphaltsorten MA 6, MA 8 und MA 11 für verschiedene Belastungszeiten

s_r	ET 30	ET 60	ZET 30-60
	[%]	[%]	[%]
MA 6	7.8	8.3	11.4
MA 8	9.9	10.0	11.5
MA 11	9.8	9.8	11.0
Mittel alle MA	9.2	9.4	11.3
EN 12697-20 [3]	10	10	-

Vergleichsstandardabweichungen s_R / Vergleichspräzision R

Ganz ähnliche Verhältnisse wie bei der Wiederholstandardabweichung zeigen sich bei der Vergleichsstandardabweichung s_R (siehe Tabelle 5.2). Wiederum liegen die gefundenen Werte nah bei den Angaben der Europäischen Norm von 20 %. Allerdings ist für die Vergleichsstandardabweichungen ein Trend für Zunahme mit zunehmendem Grösstkorn

der Gussasphaltsorte erkennbar. Hingegen besteht kein Trend für die Prüfzeiten.

Tabelle 5.2 Vergleichsstandardabweichungen s_R der Gussasphaltsorten MA 6, MA 8 und MA 11 für verschiedene Belastungszeiten

s_R	ET 30	ET 60	ZET 30-60
	[%]	[%]	[%]
MA 6	14.7	15.0	17.5
MA 8	20.2	20.4	23.3
MA 11	25.2	24.5	17.5
Mittel alle MA	20.0	19.9	19.4
EN 12697-20 [3]	20	20	-

5.2 Einflüsse auf die Messunsicherheit

Obwohl im Forschungsgesuch nicht vorgesehen, wurde versucht mit zusätzlichen Prüfungen mögliche Ursachen für die grossen Streuungen in den Ergebnissen der „Statischen Eindringtiefe mit ebenem Stempel an Gussasphalt-Würfeln“ abzuschätzen.

Die zusätzlichen Prüfungen umfassten:

- Erweiterte Prüfung der Zusammensetzungen und Bindemittleigenschaften der Gussasphalte
- Erweiterte Prüfung der Eigenschaften der Gussasphalt-Prüfkörper
- Abklärungen zum Einfluss des Prüfverfahrens inklusive den Prüfgeräten mit Ringanalyse an Gummi-Prüfkörpern und Vorabklärungen zu den Eigenschaften der Gummi-Prüfkörper.

5.3 Eigenschaften der Gussasphalte, Inhomogenitäten

Als Folge von Herstellung, Probenahme und Probenteilung wurden Inhomogenitäten im Gussasphalt festgestellt, obwohl versucht wurde, diese möglichst zu vermeiden. Der Einfluss der Inhomogenitäten auf die statische Eindringtiefe dürfte gross sein.

Für den Nachweis wurden zusätzlich zu den Statischen Eindringtiefen weitere Laboruntersuchungen an den Gussasphalten von den beiden Forschungsstellen Tecnotest AG und IMP Bautest AG parallel durchgeführt (Kapitel 4.2).

Es zeigen sich teilweise erhebliche, aber keine systematischen Abweichungen bei löslichem Bindemittelgehalt, Korngrössenverteilung der Mineralstoffe sowie den Bindemittleigenschaften Penetration, Erweichungspunkt RuK und Penetrationsindex PI. Diese Untersuchungen wurden pro Gussasphaltsorte an gleichen Proben von verschiedenen Platten der jeweils gleichen Mischgutcharge (Tabellen 4.18 und 4.19) sowie an Parallelproben von gleichen Platten (Tabellen 4.20 und 4.21) durchgeführt.

In den genannten Tabellen sind insgesamt 94 Differenzen aufgeführt, auch ist die Vergleichsstandardabweichung R angegeben. Gemäss statistischen Regeln sind fünf Differenzen grösser als R gefunden worden. Gefunden wurden sieben zu grosse Ausreisser. Daraus kann geschlossen werden, dass die im Ringversuch eingesetzten drei Gussasphalte MA 6, MA 8 und MA 11 der Forderung eines Ringversuches mit Durchführung an homogenen Materialien im Wesentlichen entsprachen.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass, obwohl die Herstellung der Gussasphalte und die Probenahmen sehr aufwändig durchgeführt wurden (Kapitel 2.1), die Streuungen

in den Qualitäten der Gussasphaltproben ein markantes Fehlerelement im Ringversuch darstellen. Die Ausmasse der Fehler können jedoch nicht bestimmt werden.

5.4 Eigenschaften der Gussasphalt-Prüfkörper

Unterschiede in den Raumdichten und Hohlraumgehalten der Prüfwürfel

Bei der Herstellung der Gussasphalt-Prüfkörper können grosse Unterschiede in der Raumdichte und damit im Hohlraumgehalt der Prüfkörper entstehen. Ein grosser Anteil dieser Unterschiede dürfte auf die in der Norm EN 12697-20 [3] nicht klar definierte Verdichtung zurückzuführen sein.

Veränderungen der Gussasphalte durch die Würfelherstellung

Bei der Herstellung der Prüfkörper wird das Bindemittel des Gussasphaltes stark verhärtet. Die Bindemittleigenschaften beeinflussen die Ergebnisse der statischen Eindringtiefen deutlich. Je „härter“ das Bindemittel ist, desto kleinere Eindringtiefen resultieren.

Die wegen Probenentteilung und erneuter Durchmischung der kleinen Mengen vermuteten systematischen Änderungen in den Gussasphalt-Zusammensetzungen haben sich nicht bewahrheitet. Insbesondere ein eventuell möglicher „Bindemittelverlust“ bei der Bearbeitung ist bei den drei untersuchten Gussasphalt-Sorten nicht aufgetreten, vgl. Tabellen 4.23, 4.25 und 4.27.

Ausmass der Einflüsse

Die Einflüsse der Unterschiede in den Hohlraumgehalten (Verdichtung) und in den Bindemittelverhärtungen auf die Wiederhol- und Vergleichsstandardabweichungen konnten jedoch nicht bestimmt werden.

5.5 Einfluss des Prüfverfahrens inklusive Prüfgeräte, Ringversuch „Statische Eindringtiefe“ an Gummi-Prüfkörpern

Das Durchführen einer zusätzlichen Ringanalyse zur statischen Eindringtiefe an Gummi-Prüfkörpern erfolgte, um den Anteil des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte sowie, als Differenz zur gesamten Variation, den Anteil der Gussasphalt-Prüfkörper abzuschätzen.

Der Ringversuch an den Gummi-Prüfkörpern zeigt für die statische Eindringtiefe nach 30 und nach 60 Minuten eine deutlich geringere Wiederholstandardabweichung s_r (4% statt 10%) und Vergleichsstandardabweichung s_R (10% statt 20%) als an den Gussasphalt-Prüfkörpern.

Einfluss des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte

Mit der Ringanalyse an denjenigen Gummi-Prüfkörpern, welche sich bei zusätzlichen Abklärungen als homogen erweisen haben, liess sich das Ausmass des Einflusses des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte mit 20 bis 30% an den Ergebnissen der Gussasphalt-Ringanalyse ermitteln.

Für die an den Gussasphalt-Prüfkörpern für die statische Eindringtiefe nach 30 und nach 60 Minuten bestimmten Wiederholstandardabweichungen von etwa 10% sind rund 22% (somit 2.2%) und für die bestimmten Vergleichsstandardabweichungen von etwa 20% sind geschätzt rund 30% (somit 6%) auf den Einfluss der Gussasphalt-Prüfkörper zurückzuführen.

Einfluss der Gussasphalt-Prüfkörper auf die statische Eindringtiefe

Der Einfluss der Gussasphalt-Prüfkörper entspricht der Differenz von gesamter Variation

und dem Anteil des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte.

Die Untersuchungen und der Ringversuch an den Gummi-Prüfkörpern lassen den klaren Schluss zu, dass die Eigenschaften der Gussasphalt-Prüfkörper mit 70 bis 80% den grössten Einfluss auf die Präzision haben.

Für die an den Gussasphalt-Prüfkörpern für die statische Eindringtiefe nach 30 und nach 60 Minuten bestimmten Wiederholstandardabweichungen von etwa 10% sind rund 80% (somit 8%) und für die bestimmten Vergleichsstandardabweichungen von rund 20% sind rund 70% (somit 14%) auf den Einfluss der Gussasphalt-Prüfkörper zurückzuführen.

Der Einfluss der Gussasphalt-Prüfkörper bzw. Prüfwürfel umfasst die Streuungen in der Zusammensetzung, wobei die gesamte Kette von der Gussasphaltherstellung über die Probenahme bis zur Herstellung der Laborprüfkörper für die Streuungen von Bedeutung ist, sowie die unterschiedliche Bindemittelverhärtung und Verdichtung bei der Prüfwürfel-Herstellung. Die einzelnen Anteile liessen sich jedoch im Ausmass nicht feststellen.

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
ET 30	Eindringtiefe nach 30 Minuten Belastung
ET 60	Eindringtiefe nach 60 Minuten Belastung
MA 6	Gussasphalt mit nominellem Grösstkorn 6 mm
MA 8	Gussasphalt mit nominellem Grösstkorn 8 mm
MA 11	Gussasphalt mit nominellem Grösstkorn 11 mm
r	Wiederholpräzision
R	Vergleichspräzision, auch bezeichnet als Vergleichsgrenze
s _r	Wiederholstandardabweichung
s _R	Vergleichsstandardabweichung
ZET 30-60	Zunahme der Eindringtiefe zwischen 30 und 60 Minuten Belastung

Literaturverzeichnis

-
- [1] DIN 1996 (Teil 13), 1976 Prüfung von Asphalt, Eindringversuch mit ebenem Stempel
-
- [2] VSS Empfehlung 671 970, 2000 Bituminöses Mischgut, Prüfverfahren; Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung
-
- [3] EN 12697-20, 2003, Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 20: Eindringversuch an Würfeln oder Marshall-Probekörpern
-
- [4] VSS, SN 671 967a, Bituminöses Mischgut; Rohdichte, Berechnen des Hohlraumgehaltes (Rohdichte ab 2005 bezeichnet als Raumdichte)
-
- [5] VSS, SN 671 965a Bituminöses Mischgut; Dichte (Dichte ab 2005 bezeichnet als Rohdichte)
-
- [6] VSS, SN 671 955a Bituminöses Mischgut; Bestimmen des löslichen Bindemittelanteils
-
- [7] VSS, SN 670 401 Asphalt; Asphalt Teil 1: Löslicher Bindemittelgehalt
EN 12697-1:2000/AC Asphalt; Löslicher Bindemittelgehalt
-
- [8] VSS, SN 670 810c Mineralische Baustoffe und Lockergesteine; Siebanalyse
-
- [9] VSS, SN 670 510 Bituminöse Bindemittel, Rückgewinnung aus Extraktionslösungen
-
- [10] VSS, SN 670 403 Asphalt ; Rückgewinnung des Bindemittels: Rotationsverdampfer
EN 12697-3 Asphalt ; Rückgewinnung des Bindemittels: Rotationsverdampfer
-
- [11] VSS, SN 671 740 Bituminöse Bindemittel ; Bestimmung der Penetration
-
- [12] VSS, SN 670 500-7 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel; Bestimmung der Nadel-Penetration
EN 1426; Bestimmung der Penetration
-
- [13] VSS, SN 671 743 Bituminöses Bindemittel; Bestimmung des Erweichungspunktes R.u.K.
-
- [14] VSS, SN 670 500-8 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel; Bestimmung des Erweichungspunktes Ring und Kugel-Verfahren
EN 1427;1999 Bestimmung des Erweichungspunktes Ring und Kugel-Verfahren
-
- [15] VSS, SN 671 744 Bituminöse Bindemittel; Penetrationsindex (PI)
-
- [16] DIN 53505:August 2000, Kautschuk und Elastomere, Härteprüfung nach Shore A und Shore D
ISO 868:1985 Kunststoffe und Elastomere, Bestimmen der Eindruckhärte mit dem Härteprüfgerät nach Shore
-
- [17] Standard-Checkliste für Vergleichsprüfungen (Ringversuche) bei Bauprodukten, Dokument Nr. 727.d, Ausgabe November 1999, Rev. 00
-
- [18] Norm ISO 5725 „Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen“
-
- [19] SN 640 440 Gussasphalt; Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten
-

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

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 21.06.2013 / 14.04.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 1999/125
 Projekttitel: Ringversuch „Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt“
 Enddatum: 14.04.2014

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Im Ringversuch wurden keine Verbesserungen in den Messunsicherheiten erreicht, dies trotz minutiöser Prüfbeschreibung, einer vor dem Ringversuch durchgeführten Information der beteiligten Laboratorien, der Verwendung von industriell optimal gleichmässig hergestellten Gussasphalten als Prüfmateriale sowie aufwändiger Probenahme um möglichst gleichmässige Proben zu erhalten.

Die Durchführung des Ringversuchs an Gussasphalt-Würfeln erfolgte im Winter 2000/2001 entsprechend der VSS-Empfehlung SN 671 970 „Bituminöses Mischgut; Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung“ [2] an drei Gussasphaltsorten MA 6, MA 8 und MA 11. Die VSS-Empfehlung SN 671 970 [2] wurde im November 1999 veröffentlicht und war ab Januar 2000 gültig. In der SN 671 970 [2] wurden gegenüber dem vorher verwendeten, in DIN 1996 (Teil 13) [1] beschriebenen und in SN 640 440a übernommenen Verfahren einige Modifikationen angebracht, von denen man sich Verbesserungen in den Wiederhol- und Vergleichbarkeiten erhoffte. Diese Präzisierungen in der VSS-Empfehlung SN 671 970 [2] konnten in die EN 12697-20: 2003 „Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 20: Eindringversuch an Würfeln oder Marshall-Probekörpern“ [3] eingebracht werden. Mit dem nationalen Vorwort SN 670 420 wurde diese EN [3] am 1. Januar 2005 im Schweizer Normenwerk eingeführt. Die Angaben zu den Präzisionen der Ergebnisse, die in den Normen [2] und auch [3] angegeben sind, stammen allerdings aus [1], da zum Zeitpunkt der Bearbeitung der EN-Norm [3] keine neueren Untersuchungen vorlagen.

Die 13 Laboratorien bestimmten an den Gussasphalten MA 6, MA 8 und MA 11 Wiederholstandardabweichungen von 7.8 bis 10.0 %. Die Angaben gemäss Normen [1], [2] und [3] sind 10 %. Die Vergleichsstandardabweichungen betragen 14.7 bis 25.2 %. Die Angaben gemäss Normen [1], [2] und [3] sind 20 %. Über 20 % liegen die Werte für MA 11. Da für die Berechnung der Präzisionen die Standardabweichungen mit dem Faktor 2.8 multipliziert werden, entsprechen auch die Wiederhol- und die Vergleichspräzisionen den Angaben der Norm mit 28 und 55 %. Diese Messunsicherheiten wurden an Gussasphalten mit unterschiedlichen Eindringtiefen bestimmt. Die Mittelwerte nach 30 Minuten (ET 30) betragen für MA 6, MA 8 und MA 11: 3.9 mm, 2.2 mm und 1.3 mm.

Mit ergänzenden Abklärungen, die zusätzlich zum Forschungsgesuch durchgeführt wurden, liess sich das Ausmass des Einflusses des Prüfverfahrens inklusive der Prüfgeräte auf die Messunsicherheiten mit 20 bis 30% ermitteln. Der grösste Einfluss von etwa 70 bis 80% resultiert aus den unterschiedlichen Eigenschaften der Gussasphalt-Prüfkörper, insbesondere durch unterschiedliche Gussasphaltzusammensetzungen, Hohlraumgehalte und Bindemittelhärten. Herstellung, Probenahme und Probenteilung bewirken Inhomogenität im Gussasphalt, deren Einfluss auf die Eindringtiefe sehr gross ist. Die Verdichtung der Prüfkörper ist in den Normen [1], [2] und auch in der EN [3] nicht klar definiert. Daraus resultieren unterschiedliche Hohlraumgehalte, die einen grossen Einfluss auf die Eindringtiefe haben. Kleiner dürfte der Einfluss der zusätzlichen und unterschiedlich starken Bindemittelverhärtung bei der Würfelherstellung sein. Die Anteile der einzelnen unterschiedlichen Eigenschaften der Prüfkörper liessen sich jedoch im Betrag nicht feststellen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die Projektziele konnten erreicht und die Wiederhol- und Vergleichbarkeiten für die "Statische Eindringtiefe mit ebenem Stempel an Gussasphalt-Würfeln" gemäss dem Prüfverfahren der VSS-Empfehlung SN 671 970 bestimmt werden.

Diese Ergebnisse gelten auch für die damals neue CEN-Norm EN 12697-20: 2003 „Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 20: Eindringversuch an Würfeln oder Marshall-Probekörpern“, weil diese bei der Erarbeitung von der Schweiz massgebend mitgeprägt wurde. Die in der VSS-Empfehlung berücksichtigten Präzisierungen konnten in die EN-Norm aufgenommen werden. Die Wiederhol- und Vergleichbarkeiten gelten somit nicht nur für die VSS-Empfehlung SN 671 970 sondern auch für die EN-Norm 12697-20: 2003.

Folgerungen und Empfehlungen:

Da die Ergebnisse des Ringversuchs die bisher bekannten Wiederhol- und Vergleichbarkeiten bzw. -präzisionen bestätigten, wurden zusätzlich zum Forschungsgesuch ergänzende Abklärungen durchgeführt, um Hinweise auf mögliche Einflussparameter aufzuzeigen.

Die wesentlichen Einflüsse auf die Messunsicherheiten konnten ermittelt werden. Der grösste Einfluss von etwa 70 bis 80% resultiert aus den unterschiedlichen Eigenschaften der Gussasphalt-Prüfwürfel, insbesondere durch unterschiedliche Gussasphaltzusammensetzungen, Hohlraumgehalte und Bindemittelhärten. Etwa 20 bis 30% werden durch das Prüfverfahren inklusive der Prüfgeräte beeinflusst.

Die erarbeiteten Erkenntnisse können für die Überarbeitung der EN-Norm 12697-20 durch die Schweiz eingebracht werden.

Publikationen:

Keine

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Seeburger

Vorname: Max

Amt, Firma, Institut: Tecnotest AG, 8803 Rüschlikon

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die gestellten Zielsetzungen sind erreicht. Zusätzlich zum Forschungsprojekt konnten als Eigenleistungen des Projektteams, der Tecnotest AG und der IMP Bautest AG, die wesentlichen Einflüsse auf die Messunsicherheiten ermittelt werden. Da gegenüber dem Zeitpunkt der Fertigstellung des Berichtes im Jahre 2014 das eingesetzte Prüfverfahren der statischen Eindringtiefe unwesentlich geändert hat, haben die Ergebnisse für dasjenige in der heute gültigen EN-Norm 12697-20: 2012 weiterhin Gültigkeit.

Der Ringversuch mit dem Bestimmen der statischen Eindringtiefen an Gussasphalt-Würfeln wurde im Winter 2000/2001 durchgeführt. Weil ein vom VAB, der Vereinigung Akkreditierter Baustoffprüflabors, beauftragtes Auswerteprogramm für Ringanalysen in der Erstellung starke Terminverzögerungen erfuhr, beeinflusste dies auch die notwendigen statistischen Auswertungen des Ringversuchs. Der geplante Abschluss des Forschungsprojektes vom 31.12.2003 konnte dadurch nicht eingehalten werden.

Zusätzliche Terminverzögerungen ergaben sich, weil das provisorische Auswerten der Ergebnisse des Ringversuchs die bisher bekannten Wiederhol- und Vergleichbarkeiten bzw. -präzisionen in der Grössenordnung bestätigten und durch das Projektteam beschlossen wurde, mit zusätzlich zum Forschungsgesuch ergänzenden Abklärungen Hinweise auf mögliche Einflussparameter aufzuzeigen. Die statistischen Auswertungen dieser zusätzlichen Untersuchungen waren komplex und konnten erst durch Beizug des Spezialisten Dr. Remy Gubler befriedigend ausgeführt werden.

Umsetzung:

Die vorliegenden Erkenntnisse können für die Überarbeitung der EN-Norm 12697-20: 2012 verwendet werden.

Ob sich die Umsetzung für dieses Prüfverfahren lohnt, ist fraglich. So enthält die Schweizer Norm SN 640 441 Mischgutanforderungen - Teil 6: Gussasphalt vom Juli 2008 Aussagen, "wie Erfahrungen zeigen, ermöglichen die statische Eindringtiefe keine zuverlässigen Aussagen bei standfestem Gussasphalt. So sind für Gussasphalte mit statischer Eindringtiefe < 2.5 mm die beschriebenen dynamischen Eindringversuche anzuwenden".

weitergehender Forschungsbedarf:

Für die statische Eindringtiefe ist im Moment keiner vorgesehen. Die Weiterentwicklung des dynamischen Eindringversuchs hat Priorität.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Bedeutung der Anforderungen an die statischen Eindringtiefen sind zugunsten derjenigen an die dynamischen Eindringtiefen kleiner geworden.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Arn

Vorname: Thomas

Amt, Firma, Institut: Lombardi SA, Minusio

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	Vieillissement 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 Parkieranlagen	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 Fahrzeugrückhaltesysteme	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	Langzeitversuche 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	Entwurfgrundlagen 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 Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebsparkeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT 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 verkehrintensiven 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 Ausbaupasphalt 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 Netzzrisikos	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