



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

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

# **Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten**

**Optimisation de l'indentation statique pour l'évaluation  
des asphaltes coulés dures.**

**Optimization of the static indentation for hard mastix as-  
phalts**

**Ch. Angst, Dr. sc. techn.; IMP Bautest AG; Oberbuchsitzen**

**Forschungsauftrag VSS 2001/504 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**Juni 2012**

**1382**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten 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 l' (les) auteur(s) mandaté(s) par 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)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

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

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

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



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

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

# **Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten**

**Optimisation de l'indentation statique pour l'évaluation  
des asphaltes coulés dures.**

**Optimization of the static indentation for hard mastix as-  
phalts**

**Ch. Angst, Dr. sc. techn.; IMP Bautest AG; Oberbuchsitzen**

**Forschungsauftrag VSS 2001/504 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**Juni 2012**

**1382**

# Impressum

## Forschungsstelle und Projektteam

**Projektleitung**  
Dr. Christian Angst

## Federführende Fachkommission

Fachkommission 5: Bau- und Geotechnik

## Begleitkommission

**Präsident**  
Dr. Thomas Arn

**Mitglieder**  
Heinz Aeschlimann  
Christoph Bressoud  
Hansjörg Byland  
Erwin Fetz  
Dieter Fux  
Felix Solcà  
Dr. Rémy Gubler  
Hans-Peter Beyeler  
Yvan Ramel  
Guido Tomaschett  
Danilo Besomi

## Antragsteller

Schweizerische Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

## Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> heruntergeladen werden.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>8</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b> .....	<b>10</b>
1.1	Stand der Dinge .....	10
1.1.1	Normierte Prüfverfahren.....	10
1.1.2	Bedürfnisse der Praxis .....	11
1.1.3	Herstellung der Prüfkörper .....	11
1.2	Zielsetzungen des Forschungsauftrages .....	11
<b>2</b>	<b>Evaluation der Prüfparameter</b> .....	<b>12</b>
2.1	Grundsätzliche Betrachtung der Parameter.....	12
2.1.1	Temperatur .....	12
2.1.2	Auflast .....	13
2.1.3	Stempeldurchmesser .....	14
2.1.4	Belastungsdauer .....	14
2.1.5	Höhe des Prüfkörpers .....	14
2.1.6	Durchmesser der Prüfkörper .....	14
2.1.7	Auflage der Prüfkörper .....	15
2.2	Planung der Parameterstudie .....	15
<b>3</b>	<b>Parameterstudie</b> .....	<b>16</b>
3.1	Verwendete Gussasphaltsorten .....	16
3.2	Dauer der Prüfung.....	19
3.3	Variation der Temperatur und der Belastung.....	20
<b>4</b>	<b>Herstellung der Prüfkörper</b> .....	<b>23</b>
4.1	Formen der Prüfkörper .....	23
4.1.1	Würfel .....	23
4.1.2	Zylinder auf der Baustelle gegossen.....	24
4.1.3	Zylinder im Labor gegossen.....	24
4.2	Vergleich Würfel zu Zylinder (auf der Baustelle gegossen) .....	25
4.3	Erfahrungen mit Zylinder Ø 150 mm .....	27
<b>5</b>	<b>Validierung der vorgeschlagenen Parameter</b> .....	<b>29</b>
5.1	Selektivität der neuen Prüfparameter .....	29
5.2	Präzision der neuen Prüfparameter .....	31
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>33</b>
	<b>Anhänge</b> .....	<b>34</b>
	<b>Abkürzungen</b> .....	<b>39</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>41</b>
	<b>Projektabschluss</b> .....	<b>43</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen</b> .....	<b>46</b>



## Zusammenfassung

### Zielsetzung

Für die Optimierung von Rezepturen, für die Herstellung der Erstprüfungen sowie für stichprobenweise Kontrollen von Baustellen eignet sich die Prüfung der dynamischen Eindringtiefe hervorragend. Für die laufenden Qualitätskontrollen der Produktion (Steuergrößen) fehlt zur Zeit eine aussagekräftige, zuverlässige und rasche Prüfmethode mit praxisgerechter Präzision.

Es soll eine einfache Methode für die Prüfung der statischen Eindringtiefe festgelegt werden. Als Verbesserung gegenüber der bestehenden, normierten Methode soll eine bessere Spreizung der Ergebnisse bei verschiedenen harten Gussasphaltsorten erreicht werden. Auch soll untersucht werden, ob die Wiederholbarkeit der Prüfmethode gegenüber der bisherigen Methode verbessert werden kann.

### Parameterstudie

Das Potential der einzelnen Prüfparameter wie Temperatur, Belastungsdauer, Auflast etc wurde aufgrund der bekannten Literatur und der Erfahrungen der Prüfstelle abgeschätzt. Daraus erfolgte eine Auswahl an Parametern, mit denen die eigentliche Laborarbeit durchgeführt wurde.

Die Studie wurde mit 8 verschiedenen Gussasphaltsorten durchgeführt, welche sich in Bezug auf Grösstkorn, Bindemittelsorte und Eindringtiefe unterschieden

#### Prüfdauer

Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Verkürzung der Prüfdauer ohne Einbusse der Aussagekraft möglich ist. Für die Auswertung der Prüfung „statische Eindringtiefe“ werden zwei Kennwerte erfasst: Die Eindringtiefe nach 30 Minuten, sowie die Zunahme der Eindringtiefe nach weiteren 30 Minuten. Die Prüfung dauert somit (ohne Berücksichtigung der Temperierungsphase und der Vorbelastung) 60 Minuten. Bei einer Auswertung nach 15 Minuten und weiteren 15 Minuten (gesamte Dauer 30 Minuten) werden erwartungsgemäss kleinere Werte gemessen. Nach 15 Minuten sind 85 % des Wertes nach 30 Minuten erreicht und zwar mit hoher Präzision; der Varianzkoeffizient beträgt lediglich 3 %!

#### Temperatur und Auflast

Es wurde sowohl die Prüftemperatur, als auch die Auflast variiert. Neben der normierten Temperatur von 40 °C wurden auch Versuche mit 55°C gefahren. Die normierte Auflast von 525 N wurde auf 650 und 775 N erhöht. Diese Lasten wurde deshalb gewählt, weil bei der normierten Prüfung die Auflast (525 N) mittels 4 Ringe à 125 N aufgebracht werden (plus Masse des Gestells 25 N). So konnte im Labor die Auflast erhöht werden, indem weitere Standard-Ringe aufgebracht wurden. Diese Variationen der Prüfbedingungen wurden an 8 Gussasphaltsorten durchgeführt.

Bei einer Prüftemperatur von 55 °C und einer Auflast von 650 N wurden die besten Ergebnisse erzielt.

### Validierung

Aufgrund der durchgeführten Parameterstudie wurden die Prüfparameter neu festgelegt (55°C / 650 N). An insgesamt 24 Gussasphaltsorten wurde die statische Eindringtiefe sowohl unter Standard-Bedingungen (40°C / 525 N) als auch mit den geänderten Prüfbedingungen untersucht. Es zeigte sich, dass die neuen Prüfbedingungen eine verbesserte Spreizung der Ergebnisse aufweist. Die Spanne zwischen dem tiefsten und dem höchsten Wert ist bei der modifizierten Prüfmethode um ca. 60 % grösser als bei der normierten Prüfmethode.

## Résumé

### Objectif

Que ce soit pour l'optimisation d'une formule, pour l'établissement d'une épreuve de formulation ou encore pour un contrôle d'échantillon prélevé sur chantier, la méthode de l'indentation dynamique convient parfaitement. En revanche, elle ne s'accorde pas bien avec le contrôle continu de la production en usine. Dans ce cas de figure précis, la méthode est trop lente, trop onéreuse, et pour ces raisons là, elle n'est pas compatible avec les besoins de la pratique.

Ce travail s'attache à définir une méthode d'indentation statique simple mais qui offre l'avantage d'être fiable, rapide et suffisamment sensible afin de pouvoir distinguer différentes qualités d'asphaltes coulés de grade dur. En outre, on cherchera à améliorer la répétabilité par rapport à celle de la méthode statique actuelle.

### Les paramètres étudiés

Les paramètres tels que la température, la durée de la sollicitation mécanique ou la charge ont fait l'objet d'une évaluation bibliographique de leur influence potentielle sur l'indentation. De cette étude préliminaire ont été retenus les paramètres qui ont finalement fait l'objet d'expérimentations en laboratoire. Ces dernières ont été menées sur un échantillon de huit asphaltes coulés qui se distinguent par la dimension des granulats, la qualité du liant et la profondeur d'indentation.

### Durée de l'essai

Il a été démontré qu'un raccourcissement de la durée de l'essai n'avait pas d'impact négatif sur la sensibilité de la méthode. L'essai fournit deux résultats distincts, à savoir la profondeur d'indentation après 30 minutes de charge et son augmentation résiduelle au cours des 30 minutes suivantes. Moyennant quoi, sans tenir compte du conditionnement et de la charge préliminaire, l'essai dure 60 minutes. Si les mesures sont faites au bout de deux fois 15 minutes (durée totale de 30 minutes), les valeurs de profondeur d'indentation prévues seront plus faibles. On obtient après 15 minutes une valeur qui correspond assez précisément à 85% de la profondeur mesurée après 30 minutes ; le coefficient de variation des résultats étant égal à 3%.

### Température et charge

Cette étude porte à la fois sur la température d'essai et sur la force appliquée. Les mesures ont été faites à 40 °C (conformément à la norme) et à 55 °C. La norme a fixé une force égale à 525 N. Des forces plus élevées de 650 N et 775 N ont également été appliquées. La force de 525 N correspond au poids de 4 anneaux de 125 N chacun (en plus de la masse du support). Les forces plus élevées sont obtenues en ajoutant un ou deux anneaux supplémentaires. Les résultats les plus probants sont obtenus avec une température d'essai de 55 °C et une charge de 650 N.

### Validation

L'étude a permis de fixer des nouveaux paramètres d'essai (55 °C et 650 N). Une comparaison des indentations a été faite en utilisant les paramètres normés (40 °C et 525 N) et les nouveaux paramètres sur un échantillon de 24 asphaltes coulés. Les résultats montrent que les nouveaux paramètres d'essai améliorent la sensibilité de la méthode. L'étendue des résultats augmente de 60% par rapport aux essais normés.

## Summary

### Objective target

For the optimization of formula, for defining meaningful test values for the initial testing as well as for spot checks on building sites, the suitability of the dynamic indentation test is excellent. Additionally the test can easily be applied for spot checks on building sites. On the basis of the determined figures the formula for mastic asphalt can be optimized. With regard to continuing factory production controls (control parameters), one has to say, that at the moment a convincing, reliable and quick test method with practice-oriented precision does not exist.

The aim is to determine a simple test method for testing the static indentation. As improvement towards the present standardized method, the results of the tested mastic asphalts, which differ in hardness, should get more differentiated and wider spread. It should be examined as well, whether it is possible to improve the repeatability of the new test method in contrast to the present method.

### Parameter study

The potential of every single test parameter, such as temperature, load duration, imposed load etc., was estimated on the basis of well-known literature and the experiences of the testing body. As a result of that a choice of certain parameters was made in order to use them for the actual laboratory work.

The study was carried out with eight different types of mastic asphalt, which differed in maximum grain size, kind of binder material and indentation depth.

### Test duration

It could be proved that it is possible to shorten the test duration without loss of meaningful results. For the evaluation of the "static indentation depth" two characteristic values are acquired: the indentation depth after 30 minutes, as well as the increase of the indentation depth after additionally 30 minutes. With that, the test duration is 60 minutes, regardless of the time which is needed for the heating process and the preload. The evaluation after 15 minutes and additionally 15 minutes (entire duration 30 minutes) shows, according to expectation, smaller values. After 15 minutes 85% of the standardized value (after 30 minutes) are reached, in fact with a high precision; the coefficient of variation is only 3% !

### Temperature and applied load

Both, the test temperature and the applied load were varied. Beside the standardized temperature of 40° C there had been tests with 55° C, too. The standardized applied load of 525 N was raised to 650 N, and 775 N. The reason for having chosen that weight was, because for the standardized test the load (525 N) is applied by four rings at 125 N ( plus weight of the frame, 25 N ). So, in the laboratory it was possible to increase the load by adding more standard-rings. This variation of the test requirements was carried out with eight types of mastic asphalt.

At a test temperature of 55° C and a load of 650 N the best results were achieved.

### Validation

On the basis of the carried out parameter study the test parameters were redefined (55°C/650N). In total 24 types of mastic asphalt were tested in view of the static indentation under standard conditions (40° C/525 N) as well as under changed test requirements (55°C/650N) . It turned out, that the new test requirements showed an improved spread of the results and therefore a better differentiation.

Regarding the modified test method, the span between the lowest and the highest value is 60 % greater than the span of the standardized test method.

# 1 Zielsetzung

## 1.1 Stand der Dinge

### 1.1.1 Normierte Prüfverfahren

Die in der Schweiz übernommenen EN-Normen beinhalten zwei Prüfungen der Eindringtiefe an Gussasphalt:

Statische Eindringtiefe:

SN 670 420 / EN 12697-20; Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 20: Eindringversuch an Würfeln oder Marshall-Probekörpern [1,2].

In der Schweiz wird die statische Eindringtiefe an Marshall-Prüfkörper in der Regel nicht angewendet; das Schweizerische Normenwerk enthält keine Anforderungen an die statische Eindringtiefe an Marshall-Prüfkörpern. Die statische Eindringtiefe wird ausschliesslich für Gussasphalte verwendet.

Zum Zeitpunkt der Auftragserteilung lies die damalige Norm SN 671 970 [3] auch die Prüfung an zylindrischen Prüfkörpern zu. Dabei handelte es sich um zylindrische Prüfkörper, welche auf der Baustelle in Formen gegossen wurden. Daher wird im folgenden Bericht auch auf die Anwendung derartiger Prüfkörper eingegangen. In der Zwischenzeit ist eine europäische Norm erschienen, welche die statische Eindringtiefe an Platten beschreibt [4]. Dieses Prüfverfahren hat in der Schweiz keine Anwendung gefunden.

Die statische Prüfung stammt aus einer Zeit in welcher die Gussasphalte mit Eindringtiefen in der Grössenordnung von 3 bis 6 mm hergestellt wurden. Mit der Weiterentwicklung der Gussasphalttechnologie, welche heute hochstandfeste Gussasphalte auch für extreme Beanspruchungen ermöglicht, kam die Prüfung der statischen Eindringtiefe an ihre Grenzen. Bei hochstandfesten Mischungen mit statischen Eindringtiefen unterhalb von 2.5 mm hat diese Prüfung nur noch eine beschränkte Aussagekraft. Die geltende Norm für Gussasphalt [5] legt deshalb fest, dass bei Gussasphalten mit einer statischen Eindringtiefe unterhalb von 2.5 mm die dynamische Prüfung durchzuführen sei.

Dynamischen Eindringtiefe:

EN 12697-25; Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 25: Druckschwellversuch [6].

Die Schweiz hatte die Prüfparameter im Anhang zur damaligen Gussasphaltnorm [7] präzisiert, da auf europäischer Ebene Unklarheiten vorlagen. In der europäischen Normung wird der dynamische Eindringversuch in der Prüfnorm [6] zu wenig präzise umschrieben, sodass in der Norm für Erstprüfungen nachträglich eine detaillierte Beschreibung erforderlich war [8]. Die heutige Schweizer Norm für Gussasphalt [5] nimmt Bezug auf die entsprechenden EN-Normen.

Die Durchführung dieser Prüfung in der Schweiz entspricht dem deutschen Prüfverfahren [9]. Im Rahmen einer weitergehenden Untersuchung wurde dieses Prüfverfahren validiert [10, 11].

### 1.1.2 Bedürfnisse der Praxis

Die Prüfung der dynamischen Eindringtiefe bei standfesten Gussasphalten hat sich bewährt. Die technischen Vorteile der verbesserten Aussagekraft haben dazu geführt, dass diese Prüfmethode in der Praxis – trotz untenstehender Nachteile – eine breite Anwendung gefunden hat. Die Nachteile für die Baustellenkontrollen sind:

- Dauer der Prüfung: die dynamische Prüfung dauert länger als die herkömmliche statische Prüfung
- Kosten: verbunden mit den erforderlichen servohydraulischen Prüfmaschinen sowie der längeren Prüfdauer entstehen höhere Kosten für die Durchführung der Prüfung.

Aus der Sicht der Praxis wäre es wünschenswert eine einfache, aussagekräftige Prüfmethode zur Verfügung zu haben; welche zu niedrigen Kosten rasche und wiederholbare Ergebnisse liefert. Ob sich diese Wunsch-Vorstellung realisieren lässt soll im vorliegenden Forschungsbericht abgeklärt werden.

### 1.1.3 Herstellung der Prüfkörper

Die zum Zeitpunkt der Auftragserteilung gültige Prüfnorm für die statische Eindringtiefe [3] liess für Eigenkontrolle auch die Prüfung von auf der Baustelle hergestellten Würfeln zu. Die Herstellung von Gussasphalt-Würfel bedarf einer gewissen Schulung des Personals sowie einer entsprechenden Routine. Die Herstellung von Würfeln auf den Baustellen, wird in der Regel von Personal durchgeführt, bei welchem andere Prioritäten als die Herstellung von Prüfkörpern wichtig sind; oft fehlt es auch an der nötigen Schulung und Routine.

Der von einer Bauunternehmung eingebrachte Vorschlag zylindrische Prüfkörper auf der Baustelle zu giessen brachte eine Verbesserung der Situation. Diese Baustellen-Prüfkörper hatten den Vorteil, dass der Gussasphalt im Labor nicht noch einmal erhitzt werden musste; der Nachteil lag in den Herstellungsbedingungen, welche auf der Baustelle nicht standardisiert werden können.

## 1.2 Zielsetzungen des Forschungsauftrages

Für die Optimierung von Rezepturen, für die Herstellung der Erstprüfungen sowie für stichprobenweise Kontrollen von Baustellen eignet sich die Prüfung der dynamischen Eindringtiefe hervorragend. Für die laufenden Qualitätskontrollen der Produktion (Steuergrößen) fehlt zur Zeit eine aussagekräftige, zuverlässige und rasche Prüfmethode mit praxisgerechter Präzision.

Es soll eine einfache Methode für die Prüfung der statischen Eindringtiefe festgelegt werden. Als Verbesserung gegenüber der bestehenden, normierten Methode soll eine bessere Spreizung der Ergebnisse bei verschiedenen harten Gussasphaltsorten erreicht werden. Als harte Gussasphaltsorten werden Gussasphalte mit einer statischen Eindringtiefe kleiner als 2.5 mm definiert. Auch soll untersucht werden, ob die Wiederholbarkeit der Prüfmethode gegenüber der bisherigen Methode verbessert werden kann.

## 2 Evaluation der Prüfparameter

### 2.1 Grundsätzliche Betrachtung der Parameter

#### 2.1.1 Temperatur

Die Temperatur des Prüfkörpers während des Versuches hat - wie bei allen thermoplastischen Baustoffen - einen grossen Einfluss auf das Prüfergebnis. Eine Erhöhung würde zu grösseren Eindringtiefen führen und daher möglicherweise zu einer besseren Spreizung der unterschiedlichen Gussasphaltsorten. Allerdings sollte die Temperatur noch unterhalb der Erweichungspunkte EP RuK liegen, die in Gussasphalt-Belägen zu erwarten sind. Wird dies nicht berücksichtigt, könnte die Prüftemperatur bei gewissen Gussasphalt-Sorten (z. Beisp. ohne PmB) oberhalb des EP RuK liegen, bei anderen wiederum unterhalb des EP RuK. In diesem Fall wären die Prüfbedingungen nicht vergleichbar, gilt doch der EP RuK als „obere Gebrauchstemperatur“, d.h. gewisse Gussasphalt-Sorten würden bei Temperaturen geprüft, für die sie gar nicht geeignet sind.

Um diese Gedanken mittels Laborergebnisse zu untermauern, wurde eine kleine Voruntersuchung mit drei Gussasphaltsorten durchgeführt; zwei wurden mit einem Bitumen B50/70 erstellt, bei der dritten Gussasphaltsorte kam ein PmB zu Einsatz.

Abb. 2.1 Eindringtiefe bei verschiedenen Temperaturen dreier Gussasphalte mit unterschiedlichem Bindemittel

Gussasphalt Sorte	IMP-Nr	Bindemittel	EP RuK des rück- gew. Bindemittel [°C]	Eindringtiefe nach 30 Minuten		
				40 °C	50 °C	60 °C
MA 11	A01-0056	B 50/70	58.1	2.1	3.8	6.5
MA 16	A01-0057	PmB	65.2	1.1	1.9	2.6
MA 8	A01-0060	B 50/70	56.9	3	4.6	6.9

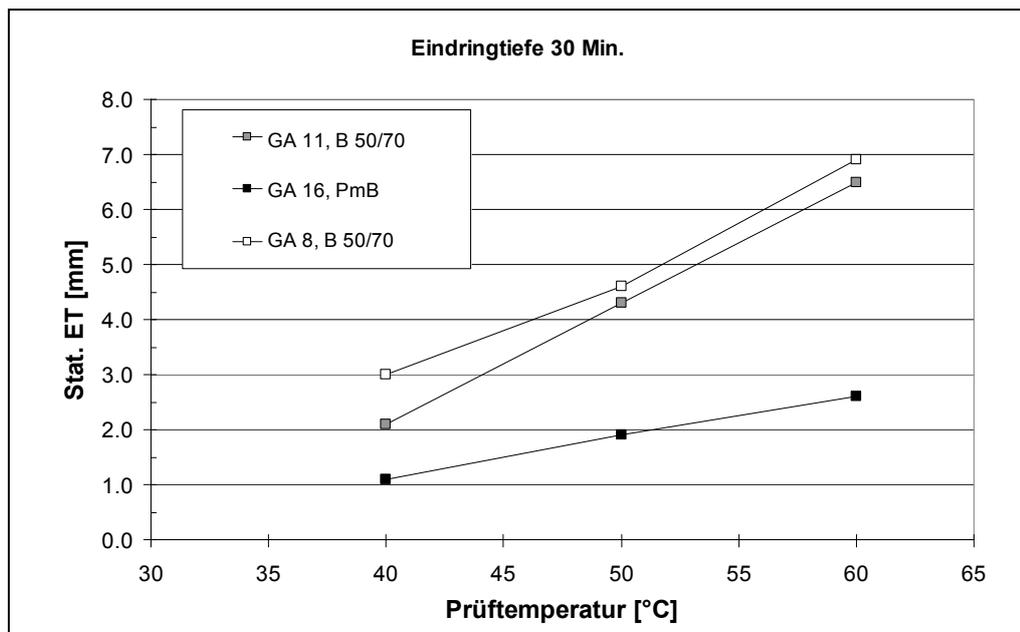


Abb. 2.2 Grafische Darstellung der statischen Eindringtiefe in Funktion der Prüftemperatur

Aus der Abbildung 2.2 geht deutlich hervor, dass die Temperaturabhängigkeit der Eindringtiefe stark vom verwendeten Bindemittel abhängig ist; die Steigung der beiden B 50/70 ist deutlich grösser als beim PmB. Zudem wird auch ersichtlich, dass die Eindringtiefe in der Temperaturspanne 50 – 60 °C bei den Bindemitteln mit einem Erweichungspunkt RuK unterhalb von 60°C stärker steigt als beim Bindemittel mit einem EP RuK oberhalb von 60 °C. Während beim PmB (EP RuK 65.2 °C) die Zunahme der Eindringtiefe in der Temperaturspanne 50-60 °C mit 0.7 mm etwa gleich gross ist wie in der Temperaturspanne 50-40 °C (0.8 mm); ist die Zunahme der Eindringtiefe beim B 50/70 (EP RuK 56.9 °C) in der Temperaturspanne 60-50°C deutlich grösser (2.3 mm) als in der Temperaturspanne 50-40°C (1.6 mm).

Es ist einschränkend zu unterstreichen, dass obige Auswertungen lediglich auf den Ergebnissen von 3 Gussasphalt beruhen. Trotzdem scheint es richtig zu sein eine Prüftemperatur zu wählen, welche unterhalb der zu erwartenden Erweichungspunkte Ring und Kugel liegen.

Aufgrund der häufigsten für die Herstellung von Gussasphalt verwendeten Bitumen und Polymerbitumen wird eine erhöhte Prüftemperatur von 55 °C vorgeschlagen.

Potential:

Das Potential dieses Parameters wird als gross eingestuft.

## 2.1.2 Auflast

Die durch die statische Auflast erzeugten Druckspannung haben selbstverständlich einen Einfluss auf die Eindringtiefe. Analog dem Kapitel „Temperatur“ ist eine Erhöhung der Eindringtiefe mit zunehmender Auflast zu erwarten. Auch hier darf die Druckspannung nicht beliebig erhöht werden, denn der Versuch sollte seinen bisherigen Charakter als Kriechversuch beibehalten. Während der Prüfung soll das plastische Verhalten des untersuchten Gussasphaltes angesprochen werden; Risse in Prüfkörper sollen vermieden werden.

Die Auflast muss auch im Zusammenhang mit der Prüftemperatur gesehen werden. Die bisherige Auflast des normierten Versuches [1] beträgt 525 N und wird mit 4 Ringe à 125 N aufgebracht. Am einfachsten ist es, die Anzahl der Ringe zu variieren.

Die Fläche des Stempels beträgt 500 mm<sup>2</sup>; es ergeben sich folgende Drücke unter dem Stempel:

Abb. 2.3 Mögliche Belastungen und Drücke unter dem Stempel bei variierenden Anzahl Belastungsringe

Belastung	Masse	Druck
Gemäss Norm [1] mit 4 Ringen à 125 N plus der Masse des Stempels	525 N	1.05 N / mm <sup>2</sup>
Mit einem zusätzlichen Ring	650 N	1.30 N / mm <sup>2</sup>
Mit zwei zusätzlichen Ringen	775 N	1.55 N / mm <sup>2</sup>

Potential:

Das Potential dieses Parameters wird als gross eingestuft.

### 2.1.3 Stempeldurchmesser

Mit einem kleineren Prüfstempel könnten durchaus grössere Eindringtiefen erzeugt werden, allerdings ist zu befürchten, dass die Zuverlässigkeit der Prüfmethode dadurch verschlechtert würde. Die Stempel-Auflagefläche sollte im Verhältnis zum Grösstkorn des untersuchten Gussasphaltes genügend gross sein. Im Zentrum der Arbeit stehen hochstandfeste Gussasphalte, die in der Regel mit einem Grösstkorn von 8, 11 oder 16 mm hergestellt werden. Der Prüfstempel sollte daher nicht verkleinert werden, ganz im Gegenteil es wäre wünschenswert den Stempel zu vergrössern.

Potential:

Das Potential dieses Parameters wird als gering eingestuft; es wird nicht weiterverfolgt.

### 2.1.4 Belastungsdauer

Die Dauer der Belastung ist bei hochstandfesten Gussasphalten von untergeordneter Bedeutung. Die aufgezeichneten Kriechkurven der statischen Eindringtiefe zeigen nach einer spontanen Deformation in den ersten Minuten einen recht flachen Verlauf. Von einer Verlängerung der Belastungsdauer kann keine wesentliche Verbesserung erwartet werden.

Potential:

Das Potential dieses Parameters wird als sehr gering eingestuft.

### 2.1.5 Höhe des Prüfkörpers

Die Höhe der Prüfkörper sollte nicht vorwiegend aus versuchstechnischen Gründen festgelegt werden, sondern unter Berücksichtigung der in der Praxis verwendeten Schichtdicken. Da beim Gussasphalt die Korn-zu-Korn-Kontakte des Splittskelettes eine untergeordnete Rolle spielen (im Vergleich zu einem Asphaltbeton) hat auch die Höhe der Prüfkörper nicht die gleiche Bedeutung wie bei Walzbelägen.

Gestützt auf entsprechende Untersuchungen bei der dynamischen Eindringtiefe in [11], bei welchen nachgewiesen wurde, dass die Höhe der Prüfkörper keinen Einfluss auf die Aussage der Prüfung hat, erwarten wir keinen nennenswerten Einfluss der Prüfkörperhöhe auf die Eindringtiefe.

Potential:

Das Potential dieses Parameters wird als sehr gering eingestuft; es wird nicht weiterverfolgt.

### 2.1.6 Durchmesser der Prüfkörper

Der Durchmesser der Prüfkörper hat keinen Einfluss auf die Eindringtiefe, solange er gross genug ist damit keine Spannungen in der Mantelfläche auftreten. Ein grösserer Durchmesser wäre insofern interessant, als mehrere Prüfungen am gleichen Prüfkörper durchgeführt werden könnten (analog der Bestimmung der Penetration bei einem Bindemittel). Mit einem grösseren Durchmesser könnte auch eine grössere Stempel-Auflagefläche gewählt werden. Da es das Ziel der Arbeit war eine möglichst einfache Prüfmethode auf der Basis des bestehenden Verfahrens zur Bestimmung der statischen Eindringtiefe zu entwickeln, war im Rahmen der Aufgabestellung keine Variation des Stempel-Durchmessers vorgesehen.

Potential:

Das Potential dieses Parameters wird als gering eingestuft.

### 2.1.7 Auflage der Prüfkörper

Als statische Eindringtiefe wird die Kriechdeformation eines Prüfkörpers unter einem flach aufliegenden Stempel verstanden.

Will man das Verformungsverhalten des Gussasphaltes ansprechen, sind auch andere Formen der Prüfkörper denkbar, bei denen dem Gussasphalt mehr Spielraum eingeräumt wird um sich zu verformen. Da es sich ohnehin um einen empirischen Versuch ohne physikalisch definiertes Ergebnis handelt, wären auch andere Formen der Prüfkörper-Auflage denkbar. Wesentlich ist, dass die Ergebnisse reproduzierbar sind. Dieser Parameter ist insbesondere bei der baustellenseitigen Herstellung von zylindrischen Prüfkörpern durch Giessen in eine Büchse zu beachten. Da der Eindringversuch ohne Ausschalen der Zylinder direkt am Prüfkörper in der Büchse erfolgt, spielt die Form bzw. die Verformbarkeit des Bodens der Giessform eine grosse Rolle.

Potential:

Das Potential dieses Parameters wird bei der Verwendung nicht normierter Prüfkörper als gross eingestuft; es wird nicht systematisch weiterverfolgt, jedoch beobachtet.

## 2.2 Planung der Parameterstudie

Aufgrund der im Kapitel 2.1 erfolgten Betrachtungen wurde folgendes Untersuchungsprogramm festgelegt:

- Untersuchung der Prüfdauer; aufgrund der sich rasch abflachenden Verformungskurve ist anzunehmen, dass auch eine verkürzte Prüfdauer reproduzierbare Ergebnisse liefert.
- Variation der Parameter Temperatur und Auflast mit den normierten Prüfkörper (Würfel).  
Neben der normierten Prüftemperatur von 40 °C soll eine weitere Prüftemperatur von 55 °C untersucht werden.  
Die normierte Auflast von 525 N wird mit 4 Belastungsringen à 125 N erzeugt. Im Rahmen der Parameterstudie sollen weitere Belastungen mit weiteren Ringen untersucht werden: 650 N und 775 N  
Festlegung der optimalen Bedingungen.
- Durchführung von Reihenuntersuchungen mit den optimalen Bedingungen
- Vergleichsuntersuchungen mit den beiden Prüfkörper Würfel und Zylinder

### 3 Parameterstudie

#### 3.1 Verwendete Gussasphaltsorten

Um eine möglichst repräsentative Auswahl der Gussasphaltsorten für die Untersuchungen einsetzen zu können, wurden folgende 8 MA-Sorten bei der Aufbereitungsanlage der Firma Aeschlimann AG in Boningen bestellt. Die Anzahl der bestellten Gussasphaltmuster sind im Anhang I.1 aufgeführt.

Abb. 3.4 Gewählte Gussasphalt-Sorten zur Durchführung der Parameterstudie

	MA 11	MA 11	MA 11	MA 11	MA 16	MA 16	MA 8	MA 8
<b>Bindemittel</b>	PmB	B40/50	B 40/50	B 50/70	PmB	B 40/50	B 40/50	B 50/70
<b>ET<sub>stat</sub> [mm]</b>	1	2	3	5	1	2	3	5

Die erhaltenen Gussasphalte wurden registriert und untersucht; die Ergebnisse sind in der Abbildung 3.5 aufgeführt.

Abb. 3.5 Eigenschaften der für die Parameterstudie verwendeten Gussasphaltsorten

		A01-0053	A01-0054	A01-0055	A01-0056
		MA 11 TSP	MA 11 N	MA 11 L	MA 11 L
<b>Bezeichnung</b>		MA 11-1	MA 11-2	MA 11-3	MA 11-4
Bindemittel		PmB	B 30/45	B 30/45	B 50/70
Lösl. BMG	Masse-%	6.62	6.69	7.23	7.58
Durchgang	Masse-%				
Prüfsieb	0.09 mm	28.3	25.1	26.0	25.3
	2.8 mm	53.2	51.5	51.8	52.6
	5.6 mm	70.8	73.1	71.3	71.2
	8.0 mm	89.1	91.6	89.6	92.0
	11.2 mm	99.0	99.6	97.8	99.5
	16 mm	100.0	100.0	100.0	100.0
Fillermenge	Masse-%	28.3	25.1	26.0	25.3
Sandmenge	Masse-%	24.9	26.4	25.8	27.3
Splittmenge	Masse-%	46.8	48.5	48.2	47.4
Untersuchungen an rückgewonnenem Bindemittel					
Pen bei 25°C	1/10 mm	32	32	32	40
RuK	°C	65.9	62.3	62.3	58.1
Ip	-	+1.1	+0.4	+0.4	+0.1
statische Eindringtiefe					
Rohdichte <sub>Würfel</sub>	g/cm <sup>3</sup>	2.391	2.392	2.377	2.369
HRG <sub>Würfel</sub>	Vol.-%	1.5	1.3	1.2	1.0
stat. ET <sub>0.5h</sub>	Mm	1.23	1.52	1.34	2.10
stat. ZET <sub>0.5-1.0h</sub>	Mm	0.19	0.23	0.22	0.30
dynamische Eindringtiefe					
Rohdichte <sub>MA-Pk</sub>	g/cm <sup>3</sup>	2.392	2.391	2.384	2.389
HRG <sub>GA-Pk</sub>	Vol.-%	1.4	1.3	0.9	0.2
dyn. ET <sub>6000</sub>	mm	1.42	2.43	2.00	5.79
dyn. ZET <sub>6000-10000</sub>	mm	0.34	0.64	0.54	1.36

		A01-0057	A01-0058	A01-0059	A01-0060
		MA 16 SP	MA 16 N	MA 8 N	MA 8 L
<b>Bezeichnung</b>		MA 16-1	MA 16-2	MA 8-1	MA 8-2
Bindemittel		PmB	B 30/45	B 30/45	B 50/70
Lösl. BMG	Masse-%	6.32	7.18	7.38	7.82
Durchgang	Masse-%				
Prüfsieb	0.09 mm	25.8	25.4	27.3	26.6
	2.8 mm	47.2	46.3	70.6	73.1
	5.6 mm	63.3	64.9	88.5	91.3
	8.0 mm	74.2	80.1	98.2	99.6
	11.2 mm	81.5	90.5	100.0	100.0
	16 mm	97.7	99.3	100.0	100.0
Fillermenge	Masse-%	25.8	25.4	27.3	26.6
Sandmenge	Masse-%	21.4	20.9	43.3	46.5
Splittmenge	Masse-%	52.8	53.7	29.4	26.9
Untersuchungen an rückgewonnenem Bindemittel					
Pen bei 25°C	1/10 mm	40	27	29	43
RuK	°C	65.2	65.9	64.1	56.9
Ip	-	+1.5	+0.7	+0.6	+0.1
statische Eindringtiefe					
Rohdichte <sub>Würfel</sub>	g/cm <sup>3</sup>	2.409	2.384	2.343	2.349
HRG <sub>Würfel</sub>	Vol.-%	1.2	1.0	2.4	1.5
stat. ET <sub>0.5h</sub>	mm	1.09	1.59	1.71	3.03
stat. ZET <sub>0.5-1.0h</sub>	mm	0.13	0.27	0.22	0.38
dynamische Eindringtiefe					
Rohdichte <sub>GA-Pk</sub>	g/cm <sup>3</sup>	2.402	2.382	2.349	2.355
HRG <sub>GA-Pk</sub>	Vol.-%	1.5	1.0	2.1	1.3
dyn. ET <sub>6000</sub>	mm	2.10	1.58	2.58	10.86
dyn. ZET <sub>6000-10000</sub>	mm	2.59	0.42	0.58	3.64

Die erhaltenen Gussasphalte entsprachen nicht in allen Punkten den Erwartungen, wurden jedoch zur weiteren Bearbeitung der Fragestellung verwendet. Die Abweichungen der tatsächlichen zu den gewünschten Eigenschaften sind in der Abbildung 3.6 zusammengefasst.

Abb. 3.6 Unterschiede der statischen Eindringtiefe zwischen dem Soll- und dem Ist-Wert

IMP-Nr.	A01-0053	A01-0054	A01-0055	A01-0056
<i>Gussasphaltsorte</i>	MA 11	MA 11	MA 11	MA 11
Typ	TSP	N	L	L
<i>Bindemittel</i>	PmB	B 30/45	B 30/45	B 50/70
Bezeichnung IMP	MA 11-1	MA 11-2	MA 11-3	MA 11-4
ET <sub>stat</sub> [mm] Soll	1	2	3	5
ET <sub>stat</sub> [mm] Ist	1.23	1.52	1.34	2.10
ET <sub>dyn</sub> [mm] Ist	1.42	2.43	2.00	5.79

IMP-Nr.	A01-0057	A01-0058	A01-0059	A01-0060
<i>Gussasphaltsorte</i>	MA 16	MA 16	MA 8	MA 8
Typ	SP	N	N	L
<i>Bindemittel</i>	PmB	B 30/45	B 30/45	B 50/70
Bezeichnung IMP	MA 16-1	MA 16-2	MA 8-1	MA 8-2
ET <sub>stat</sub> [mm] Soll	1	2	3	5
ET <sub>stat</sub> [mm] Ist	1.09	1.59	1.71	3.03
ET <sub>dyn</sub> [mm] Ist	2.10	1.58	2.58	10.86

## 3.2 Dauer der Prüfung

An 24 verschiedenen Gussasphalten wurde die statische Stempeleindringtiefe mit verschiedenen Prüfparametern (Temperatur und Belastung) untersucht und ausgewertet. Die statische Eindringtiefe wurde einerseits gemäss dem normierten Verfahren nach 30 und nach 60 Minuten gemessen; andererseits wurde die statische Eindringtiefe nach einer wesentlich kürzeren Belastungsdauer ausgewertet, nämlich nach 15 und 30 Minuten. Die Ergebnisse aller 24 Gussasphaltsorten sind in der Abbildung 3.7 zusammengefasst und im Anhang I.2 detailliert protokolliert.

*Abb. 3.7 Zusammenfassung der vergleichenden Untersuchungen der statischen Eindringtiefe an 24 unterschiedlichen Gussasphalten mit unterschiedlichen Prüfparametern; ausgewertet nach 15 bzw 30 Minuten*

	Werte 15/30 Min in % der Werte 30/60 Min					
Temperatur	40 °C		55 °C		55 °C	
Last	525 N		525 N		650 N	
Auswertung nach	15 Min.	15/30 Min.	15	15/30	15 Min.	15/30 Min.
<b>Mittelwert</b>	<b>85%</b>	<b>91%</b>	<b>85%</b>	<b>91%</b>	<b>87%</b>	<b>98%</b>
Standardabweichung	2%	7%	6%	9%	5%	24%
Varianzkoeffizient	3%	8%	7%	10%	5%	24%
Anzahl Messungen	24	24	8	8	24	24

Die prozentualen Werte in der Abbildung 3.7 wurden wie folgt berechnet:

Eindringtiefe nach 15 min.:

Angabe in % des Wertes nach 30 min.

Zunahme der Eindringtiefe nach 15/30 min.: Angabe in % des Wertes nach 30/60 min.

Aus der Abbildung 3.7 geht klar hervor, dass nach 15 Minuten Belastung bereits 85 bis 87 % der Eindringtiefe, welche nach 30 Minuten erfasst wird, erreicht sind. Sowohl bei der normierten Prüfung (40°C / 525 N) als auch bei den Variationen der Prüfparameter (55 °C / 525 und 650 N) liegen die Varianzkoeffizienten mit 2.9 bis 7.3 % erstaunlich tief. Da diese Untersuchung mit 24 verschiedenen Gussasphalt-Sorten durchgeführt wurden, können diese Ergebnisse als gesichert betrachtet werden.

Auch bei der Zunahme der Eindringtiefe zwischen 15 und 30 Minuten kann eine erstaunlich kleine Streuung – mit Ausnahme der Werte für die Belastung 55 °C / 650 N – festgestellt werden.

Um auch die Möglichkeit einer Verlängerung der Prüfdauer abzuklären, wurde bei 8 MA-Sorten die Belastung während zwei Stunden aufgebracht. Die übrigen Prüfbedingungen entsprachen der Norm (40°C und 525 N); die Ergebnisse sind in der Abbildung 3.8 aufgeführt. Die Verformungskurve scheint nahezu linear zu verlaufen, denn die Zunahmen der Eindringtiefen zwischen 30 und 60 Minuten sind mit wenigen Ausnahmen gleich wie die Zunahmen zwischen 60 und 120 Minuten; die Mittelwerte der Zunahmen sind sogar identisch (0.26 mm).

Abb. 3.8 Vergleich der statischen Eindringtiefe bei 40 °C und einer Auflast von 525 N mit unterschiedlicher Dauer der Belastung

IMP-Nr	A01-0053	A01-0054	A01-0055	A01-0056	A01-0057	A01-0058	A01-0059	A01-0060
MA-Sorte	<b>MA 11 TSP</b>	<b>MA 11 N</b>	<b>MA 11 L</b>	<b>MA 11 L</b>	<b>MA 16 SP</b>	<b>MA 16 N</b>	<b>MA 8 N</b>	<b>MA 8 L</b>
ET 0.5 h [mm]	1.2	1.5	1.3	2.1	1.1	1.6	1.7	3.0
Zunahme 0.5./10 h [mm]	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.2	0.4
ET 1.0 h [mm]	1.4	1.8	1.6	2.4	1.2	1.9	1.9	3.4
Zunahme 1.0 / 2.0 h [mm]	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4
ET 0.5 h in % der ET 1.0 h	86%	83%	81%	88%	92%	84%	89%	88%

Aus diesen Untersuchungen kann die Folgerung abgeleitet werden, dass die statische Stempeldringtiefe für vergleichende Untersuchungen nach 15 bzw. 30 Minuten bestimmt werden kann, ohne dass die Aussagekraft vermindert wird. Es muss hier klar betont werden, dass dies nur für vergleichende Untersuchungen – ohne Bezug auf Sollwerte – gilt.

### 3.3 Variation der Temperatur und der Belastung

Es soll durch Variation der Prüftemperatur und der Auflast abgeklärt werden, ob eine bessere Spreizung der Ergebnisse als beim normierten Verfahren erreicht werden kann. Um den Einfluss der Prüfkörperform auszuschliessen, werden die unterschiedlichen Prüfbedingungen an den normierten Prüfkörpern (Würfeln) untersucht. Gestützt auf den Ausführungen in Kapitel 2.1 sowie der Planung der Parameterstudie in Kapitel 2.2 wurden Prüftemperatur und Auflast festgelegt. Die gewählten Prüfbedingungen sind in der Abbildung 3.9 zusammengefasst.

Aufgrund der Erkenntnisse des Kapitels 3.2 wurde der Einfachheit halber die Belastungszeit auf 15 bzw. 30 Minuten verkürzt.

Abb. 3.9 Wahl der Prüfbedingungen

Temperatur [°C]	40	55	55	55
Auflast [N]	525	525	650	775

Abb. 3.10 Eindringtiefen nach 15 bzw. 30 Minuten bei unterschiedlichen Prüftemperaturen und Auflasten

		Eindringtiefen nach 15 bzw. 30 Minuten													
		Werte in mm								Werte in % des Wertes bei 40°C					
		40 °C		55 °C		55 °C		55 °C		55 °C		55 °C		55 °C	
Temperatur	Last	525 N		525 N		650 N		775 N		525 N		650 N		775 N	
ET nach ... Minuten		15'	15'/30'	15'	15'/30'	15'	15'/30'	15'	15'/30'	15'	15'/30'	15'	15'/30'	15'	15'/30'
03-01233-001	MA 11	1.07	0.16	1.53	0.20	2.10	0.23	2.17	0.25	144	125	197	144	204	156
03-01267-004	MA 11	1.47	0.23	2.80	0.39	3.04	0.40	3.79	0.55	190	170	206	174	258	239
03-01267-001	MA 16	1.41	0.20	2.51	0.27	2.95	0.32	2.44	0.21	178	135	209	160	173	105
03-01315-001	MA 8	3.58	0.81	9.46	2.72	16.91	5.73	*	*	264	336	472	707	*	*
03-01321-001	MA 11	1.21	0.28	2.06	0.31	2.17	0.32	2.41	0.34	170	111	179	114	199	121
03-01321-004	MA 11	1.10	0.25	2.60	0.43	3.62	0.61	2.95	0.41	236	172	329	242	268	164
03-01321-007	MA 8 N	1.55	0.26	3.03	0.45	4.23	0.62	5.19	0.81	195	173	273	238	335	312
03-01321-010	MA 6 N	2.84	0.65	10.18	3.77	11.63	4.44	16.49	*	358	584	410	688	581	*
	ET <sub>min</sub>	1.07		1.53		2.10		2.17							
	ET <sub>max</sub>	3.58		10.18		16.91		16.49							
	ET <sub>max</sub> /ET <sub>min</sub>	3.36		6.65		8.05		7.60							
	Mittelwert									217		285		288	

\* Versuch abgebrochen; zu hohe Werte

Die Prüfung der statischen Stempelleindringtiefe wurde gemäss der Prüfnorm [3] durchgeführt, ausser dass die Temperatur des Wasserbades und die Auflast geändert wurden. Die Prüfung wurde, gestützt auf den Ausführungen des Kapitels 3.2, nach 15 und nach 30 Minuten ausgewertet. Aus den in der Abbildung 3.10 zusammengefassten Untersuchungsergebnissen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die geänderten Prüfbedingungen führen allesamt zu höheren Stempelleindringtiefen
- Die weitere Erhöhung der Auflast von 650 auf 775 N führt zu keiner weiteren Vergrösserung der Eindringtiefe; der Mittelwert der Prüfbedingung 55°/650 N beträgt 285 % des Wertes unter normierten Prüfbedingungen; derjenige der Prüfbedingung 55°/775 N 288 %.
- Angestrebt wurde eine möglichst grosse Spreizung der Ergebnisse; damit will man zwischen den Gussasphaltsorten besser unterscheiden können. In der Abbildung 3.10 wurden 8 verschiedene Gussasphalte mit unterschiedlichem Verformungsverhalten geprüft. Bei normierten Prüfbedingungen ergaben sich statische Eindringtiefen zwischen 1.07 und 3.58 mm. Wählt man den Quotienten aus  $ET_{\max}$  zu  $ET_{\min}$  als Mass für die Beurteilung der Spreizung der Ergebnisse, so stellt man fest, dass die Erhöhung der Prüftemperatur generell zu einer besseren Spreizung führt. Der Quotient  $\frac{ET_{\max}}{ET_{\min}}$  steigt von 3,36 bei 40 °C/525N auf 6,65 bei 55 °C/525N bzw. 8,05 bei 55°C/650N. Zudem stellt man fest, dass auch hier eine weitere Erhöhung der Auflast keine Verbesserung bringt.

Aufgrund der bisherigen Untersuchungen ist davon auszugehen, dass die Durchführung der statischen Eindringtiefe mit einer erhöhten Temperatur des Prüfkörpers (55 °C anstelle der normierten 40°C) sowie einer Erhöhung der Auflast von 525 N auf 650 N eine bessere Differenzierung erreicht werden kann. Diese Aussage wird im Kapitel 5 „Validierung der vorgeschlagenen Parameter“ überprüft werden.

## 4 Herstellung der Prüfkörper

### 4.1 Formen der Prüfkörper

Zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung waren drei verschiedene Formen der Prüfkörper möglich:

- Würfel gemäss Norm
- Auf der Baustelle gegossene Zylinder
- Im Labor gegossene Zylinder ( $\varnothing$  150 mm), welche für die Durchführung der dynamischen Eindringtiefe verwendet werden

#### 4.1.1 Würfel

Die würfelförmigen Prüfkörper mit Kantenlängen von 70 x 70 x 70 mm werden gemäss Norm [1] wie folgt hergestellt:

Zitat aus [1]:

##### *5.4 Herstellen der Prüfwürfel*

*Um die geforderten Prüfwürfel zu erhalten, ist der Gussasphalt behutsam zu erwärmen, damit kleine Teilmengen über die gesamte Dicke der Platte entnommen werden können, ohne dabei die Gesteinskörnungen zu zerkleinern.*

*Die für einen Prüfwürfel benötigte nach prEN 13108-6 hergestellte Gussasphaltmenge (siehe 5.3) ist in einer geschlossenen Dose im Wärmeschrank oder einem thermostatisch geregelten Heizmantel auf eine Temperatur von  $(235 \pm 5)$  °C vorzuwärmen. Bei Verwendung von modifizierten Bindemitteln müssen die Empfehlungen des Herstellers befolgt werden. Danach ist die für den Prüfwürfel benötigte Menge durch Rühren zu homogenisieren, bis sie gut vermischt und streichfähig ist. Während dieses Vorgangs darf die Höchsttemperatur von 240 °C nicht überschritten werden.*

*Das erwärmte Prüfgerät ist mit dem Löffel in Teilmengen in eine auf mindestens 100 °C, aber nicht über 150 °C erwärmte Form (siehe Bild 1) zu füllen.*

*ANMERKUNG: Um das Ausformen zu erleichtern, kann es zweckmässig sein, die Form vorher mit einem Trennmittel, wie z. B. Glycerin, auszustreichen oder sie mit Wachspapier auszukleiden.*

*Der Gussasphalt ist zu verteilen, und durch Stochern mit dem Spatel sind eingeschlossene Luftblasen herauszutreiben. Mit Hilfe eines Hartholzstampfers ist die Gussasphaltmasse zu stampfen, bis sie bündig mit der Form abschliesst, wobei besonders darauf zu achten ist, dass die Ecken der Form ausgefüllt sind. Dann wird die Oberfläche des Prüfwürfels so geformt, dass in der Mitte eine geringe Erhebung verbleibt. Nach etwa 15 min, wenn der Gussasphalt in der Form ausreichend abgekühlt ist, ist die Oberfläche mit einem erwärmten Spatel abzuziehen, wobei die Form als Lehre zu verwenden ist.*

*Sobald der Prüfwürfel auf eine Temperatur zwischen 18 °C und 25 °C abgekühlt ist, ist er aus der Form zu entnehmen und auf einer ebenen Unterlage zu lagern.*

Dieses Verfahren wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit überall dort angewendet, wo würfelförmige Prüfkörper geprüft wurden.

## 4.1.2 Zylinder auf der Baustelle gegossen

Die SN-Norm 671 970 [3] war vom November 1999 bis Januar 2005 in Kraft und liess folgende Prüfkörperherstellung zu:

Zitat aus [3]:

*C. Herstellen der Prüfkörper auf der Baustelle*

*9. Prüfkörper aus Gussasphalt (Zylinder)*

*Für jeden Versuch sind mindestens zwei Prüfkörper in Formen gemäss [6] herzustellen.*

*a) Geräte*

*- Zylindrische Metallform (Blechbüchse), Innendurchmesser 90 mm,  $\pm 5$  mm*

*Höhe 70 mm  $\pm 5$  mm*

*- Streichbrett (Reibholz)*

*b) Herstellen der Prüfkörper*

*Während des zweiten Drittels der Kocherentleerung die Form mit Gussasphalt füllen. Der Gussasphalt ist direkt aus dem Ausflussstrom zu entnehmen.*

*Die Oberfläche der überfüllten Prüfkörper sind ohne Einstampfen und Verdichtung mit dem Streichbrett (Reibholz) abzuglätten.*

*Vor dem Transportieren sind die Prüfkörper an der Luft auf eine Temperatur von  $< 50$  °C abkühlen zu lassen. Nach frühestens 12 Stunden werden die obersten 20 mm des Zylinders abgetrennt. Die verbleibende Prüfkörperhöhe für die Bestimmung der Eindringtiefe beträgt 50 mm,  $\pm 2$  mm.*

Zur Durchführung der Stempelleindringtiefe hielt die SN 670 970 [3] folgendes fest:

Zitat aus [3]:

*11. Vorbereiten und Temperieren der Prüfkörper*

*Die Zylinder aus Gussasphalt, auf der Baustelle hergestellte gemäss Ziffer 9, in der Herstellform auf der Oberseite prüfen. Die Metallform muss während der Prüfung zentrisch auf eine planparallele Unterlagsscheibe aus Stahl, Durchmesser 80 mm,  $\pm 1$  mm platziert werden.*

*Die vorbereiteten Prüfkörper sind vor der Beanspruchung für die Dauer von mindestens 60 bis maximal 90 Minuten bei der Prüftemperatur im Wasserbad zu lagern.*

## 4.1.3 Zylinder im Labor gegossen

Für die Durchführung der dynamischen Eindringtiefe nach [6] sind wesentlich grössere Prüfkörper als bei der statischen Prüfung zu verwenden. Die beste Beschreibung der Herstellung der Prüfkörper findet man in der Technischen Prüfvorschrift der FGCV [9]. Aus diesem Dokument wird folgendes zitiert:

*4 Probekörper*

*Die prüffertigen Probekörper müssen eine zylindrische Form mit einem Durchmesser von (148  $\pm 5$ ) mm und einer Höhe von (60  $\pm 1$ ) mm aufweisen. Es sind zwei Probekörper zu prüfen.*

*5.1 Probekörperherstellung und –vorbereitung*

*5.1.1 Probekörperherstellung im Laboratorium*

*Die Formzylinder werden im Wärmeschrank auf ca. 150 °C erhitzt. Danach werden sie mit dem Trennmittel eingerieben, auf die zylindrischen Schreiben gesetzt und das Silikonpapier eingelegt. Der auf höchstens 230 °C erwärmte und homogenisierte Gussasphalt wird in zwei Lagen eingestampft und an der Oberfläche geglättet. Nach dem Erkalten werden die Probekörper ausgepresst, die Raumdichte nach den TP A-06 bestimmt und anschliessend mit einer Schleifmaschine an beiden Grundflächen im Nassverfahren orthogonal planparallel auf eine Dicke von (60  $\pm 1$ ) mm geschliffen.*

*5.1.2 Lagerung der Proben bis zur Prüfung*

*Nach dem Schleifen werden die Probekörper auf einer sauberen und ebenen Unterlage bei Raumtemperatur getrocknet und bis zur Prüfung gelagert. Sie dürfen nicht gestapelt werden.*

## 4.2 Vergleich Würfel zu Zylinder (auf der Baustelle gegossen)

Im Rahmen des Forschungsauftrages wurden vergleichende Untersuchungen mit Prüfkörpern aus Würfel und Prüfkörpern aus auf der Baustelle gegossenen Zylindern durchgeführt. Zudem wurden Ergebnisse aus laufenden Baustellen gesammelt; im Anhang I.3 sind die Ergebnisse detailliert aufgeführt.

Die Prüfung der statischen Eindringtiefe wurde mit den Prüfbedingungen der Norm (40 °C / 525 N) durchgeführt.

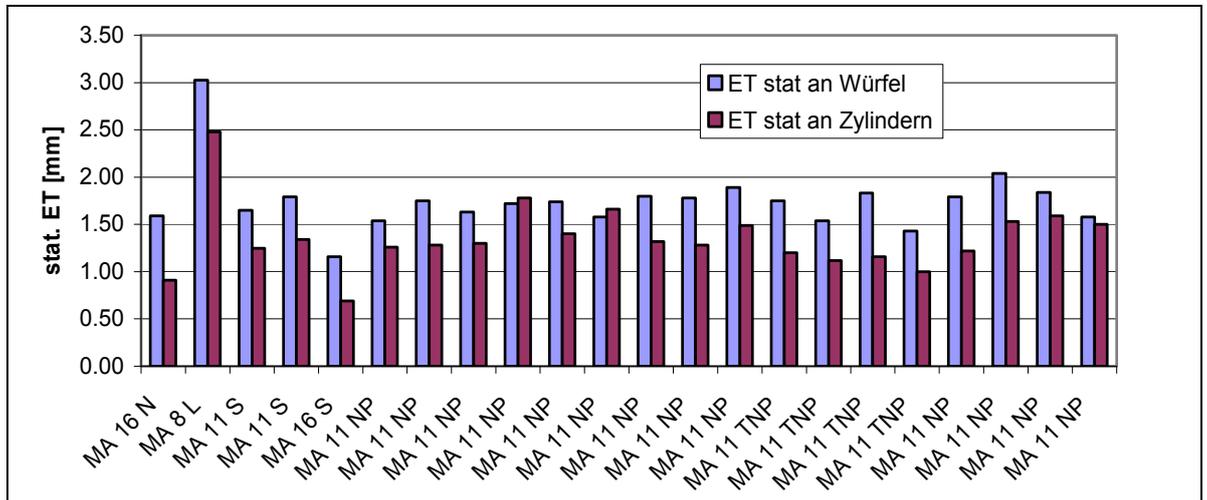


Abb. 4.11 Vergleich der Ergebnisse der statischen Eindringtiefe an Würfeln und an Zylindern

Wie der Abbildung 4.11 zu entnehmen ist, sind die Eindringtiefen an den Würfeln bei 20 von 22 Proben grösser als an den Zylindern. Der Mittelwert der Eindringtiefe nach 30 Minuten beträgt bei den Würfeln 1.75 mm; bei den Zylindern 1.35 mm.

Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen aus [12] überein. In dieser Publikation wurde ausgewiesen, dass der Mittelwert von 30 Eindringtiefen am Würfel um ca. 55% höher liegt als an den Zylindern. Diese Feststellung gilt unabhängig von der Gussasphaltsorte und vom verwendeten Bindemittel.

Bei der Verwendung der auf Baustellen gegossenen Prüfkörpern wurden Beobachtungen gemacht, welche die grundlegenden Bedenken gegenüber der Prüfkörper-Herstellung auf der Baustelle bestätigen.

Durch das stirnseitige Abschneiden der 70 mm hohen Zylinder auf eine Höhe von 50 mm kann eine saubere, ebenmässige Oberfläche des Prüfkörpers erzeugt werden, was sicherlich von Vorteil ist.

Da für das Giessen der Gussasphalt-Probekörper Aluminium-Büchsen verwendet wurden, gab es Fälle, bei denen der Boden verformt ins Labor angeliefert wurde. In der Abbildung 4.12 ist ein solches Beispiel fotografisch festgehalten.



Abb. 4.12 Verformter Boden einer Giessform in welcher Gussasphalt-Zylinder auf der Baustelle gegossen wurden.

### 4.3 Erfahrungen mit Zylinder Ø 150 mm

Für die Durchführung der dynamischen Eindringtiefe werden zylindrische Prüfkörper mit einer Höhe von 60 mm und einem Durchmesser von 150 mm verwendet. Da der Durchmesser des ebenen Stempels bei der statischen Eindringtiefe mit 25 mm relativ klein ist, wurde geprüft, ob mit einem einzigen, relativ grossen Prüfkörper drei Eindringversuche - analog der Bestimmung der Nadelpenetration in einer Bitumenschale - durchgeführt werden könnte.

Untersuchte Gussasphalte:

Aus den laufenden Laboraufträgen wurden 5 Gussasphalte untersucht, deren statische Eindringtiefen in den folgenden Bereichen lagen

ET < 1.5 mm	3 Gussasphalte
ET 1.5 ... 2.5 mm	1 Gussasphalt
ET > 2.5 mm	1 Gussasphalt

Es wurden folgende Prüfbedingungen (in Anlehnung an die Ergebnisse des Kapitels 3.3) festgelegt:

Prüftemperatur	55 °C
Auflast	650 N
Dauer der Belastung	60 Minuten

Abb. 4.13 Ergebnisse der Stempелеindringtiefen an zylindrischen Prüfkörpern mit einem Durchmesser von 150 mm.

Gussasphaltsorte	normierte Prüfung (40°C/525 N) an Würfeln		Eindringtiefe an Zylindern 150 mm; 55°C / 650N; Mittelwert dreier Einzel-Eindringtiefen			
	ET 30'	ZET 30' / 60'	ET 15'	ZET 15' / 30'	ET 30'	ZET 30'/60'
MA 11 THP	1.2	0.2	2.8	0.5	3.3	0.5
MA 11 TNP	1.5	0.2	3.3	0.4	3.7	0.5
MA 11 TSP	1.3	0.2	2.4	0.3	2.7	0.3
MA 11	2.1	0.3	7.1	1.4	8.5	1.8
MA 8	3.0	0.4	7.6	1.7	9.3	1.8



Abb. 4.14 Zerstörungen der Oberfläche bei hoher Auflast (650N)

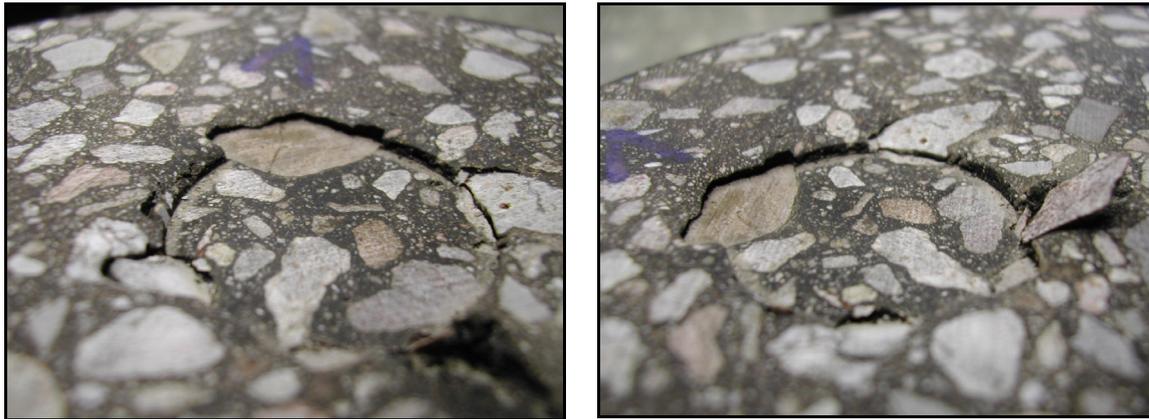
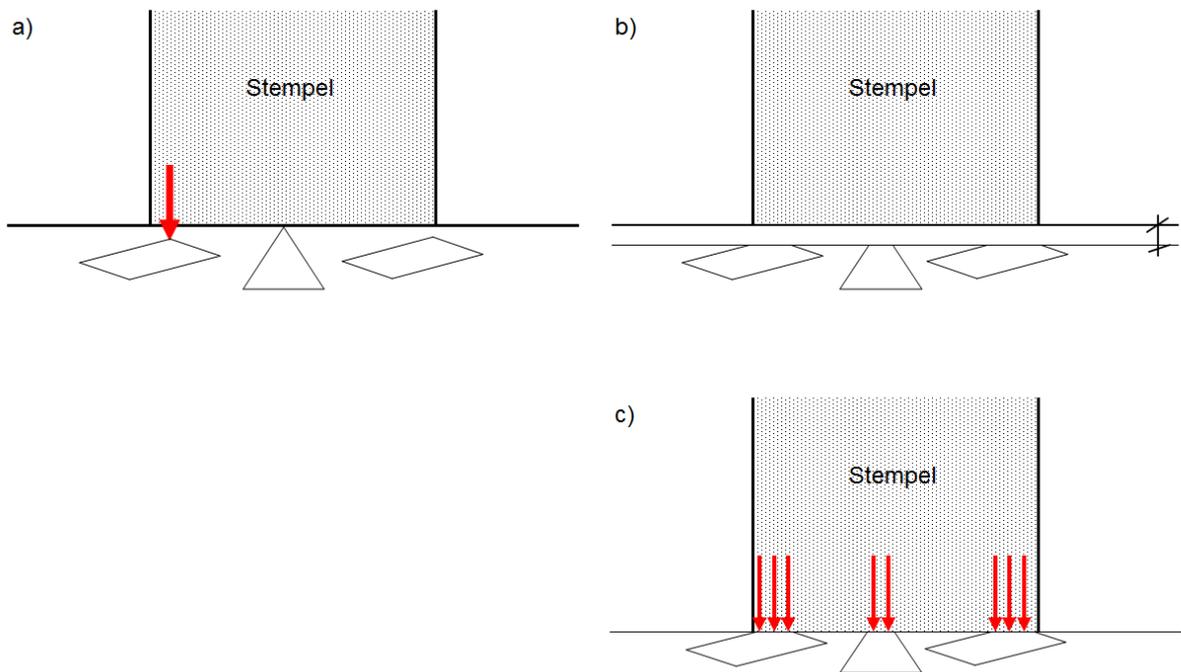


Abb. 4.15 Unkontrollierte Vergrößerung der Auflagefläche durch Miteinbezug der Körner; teilweise Bruch der Körner

Die Belastung eines Prüfkörpers auf einer geschliffenen Oberfläche erzeugt wesentlich höhere Spitzendrücke in den Randzonen als auf ungeschliffener Oberfläche:

- bei ungeschliffener Oberfläche werden die Körner punktuell an ihrer ursprünglichen Form belastet. Das Korn weicht durch Umlagerung / Verschiebung / Eindrücken aus.
- Bei geschliffener Oberfläche werden die Körner flächig teilweise belastet. Das Korn bricht oder es wird flächig eingedrückt bzw. eingekippt.



- a) Belastung auf ungeschliffener Oberfläche
- b) Schleifen
- c) Belastung auf geschliffener Oberfläche

Abb. 4.16 Schematische Darstellung der unterschiedlichen Belastungen bei geschliffener/ungeschliffener Oberfläche.

Die Spannung unter dem Stempel darf bei geschliffener Oberfläche nicht zu gross sein, da sonst Randeffekte auftreten, welche das Ergebnis verfälschen. Eine Zunahme gegenüber der normierten Belastung (525N bei Stempel Ø 25 mm) ist bei geschliffener Oberfläche nicht zu empfehlen.

## 5 Validierung der vorgeschlagenen Parameter

### 5.1 Selektivität der neuen Prüfparameter

Offensichtlich stellen die Prüfbedingungen bei 55 °C und einer Auflast von 650 N die optimale Kombination für ungeschliffene Würfel dar. Die Erhöhung der Auflast von 525 auf 650 N kann einfach erzielt werden, indem im bestehenden Prüfgerät neben den normierten 4 Belastungs-Ringen ein 5. Ring platziert wird. Um mehr Erfahrungen mit den Prüfbedingungen 55°C / 650 N zu sammeln, wurden weitere Versuche an 16 Gussasphalte durchgeführt, welche im Rahmen von Kontrollaufträgen des Prüflabors anfielen. Diese Untersuchungen wurden an normierten (ungeschliffenen) Würfeln durchgeführt.

Abb. 5.17 Ergebnisse von insgesamt 24 Gussasphaltproben, welche mit beiden Prüfbedingungen untersucht wurden

		Eindringtiefen nach 15 bzw 30 Minuten					
		Werte in mm				Werte in % des Wertes bei 40°C	
		40 °C		55 °C		55 °C	
Last		525 N		650 N		650 N	
ET nach ... Minuten		△		△		△	
		15'	15'/30'	15'	15'/30'	15'	15'/30'
03-01233-001	MA 11	1.07	0.16	2.1	0.23	197%	144%
03-01267-004	MA 11	1.47	0.23	3.04	0.4	206%	174%
03-01267-001	MA 16	1.41	0.20	2.95	0.32	209%	160%
03-01315-001	MA 8	3.58	0.81	16.91	5.73	472%	707%
03-01321-001	MA 11	1.21	0.28	2.17	0.32	179%	114%
03-01321-004	MA 11	1.10	0.25	3.62	0.61	329%	242%
03-01321-007	MA 8 N	1.55	0.26	4.23	0.62	273%	238%
03-01321-010	MA 6 N	2.84	0.65	11.63	4.44	410%	688%
03-01625-001	MA 11 TSP	1.48	0.23	3.82	0.50	258%	217%
03-01734-001	MA 16 THP	1.39	0.21	2.41	0.29	173%	136%
03-01734-002	MA 11 N	2.19	0.28	3.75	0.33	156%	109%
03-01734-003	MA 11 N	1.93	0.35	4.55	0.78	235%	225%
03-01752-001	MA 16 S	1.13	0.16	2.64	0.36	235%	229%
03-01775-001	MA 16	2.18	0.30	5.14	0.37	236%	124%
03-01775-002	MA 11	0.68	0.11	1.89	0.23	279%	219%
03-01793-001	MA 11	1.29	0.25	2.90	0.46	226%	188%
03-01793-002	MA 11	0.51	0.11	1.48	0.24	290%	229%
04-00092-001	MA 11	1.19	0.21	2.41	0.29	202%	136%
04-00092-002	MA 6	2.02	0.33	4.78	0.65	237%	197%
04-00093-001	MA 6	0.72	0.14	1.81	0.24	252%	178%
04-00093-002	MA 6	0.67	0.12	2.18	0.29	327%	238%
04-01455-002	MA 11	0.89	0.20	2.64	0.56	298%	287%
04-01457-003	MA 11	1.29	0.18	2.07	0.18	160%	100%
04-01619-001	MA 11	2.13	0.34	4.91	0.87	230%	260%
	Min	0.51		1.48			
	Max	3.58		16.91			
	Max/Min	7.02		11.4			
	Mittelwert					253%	231%

Aus der Abbildung 5.17 lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Die allgemeine Erhöhung der Eindringtiefe infolge der abgeänderten Prüfbedingungen wurde bestätigt. Der Mittelwert des „neuen Wertes“ beträgt 266 % des „normierten Wertes“.

Auch die Aussagekraft der Ergebnisse konnte erhöht werden, denn die Spreizung der Werte ist grösser. Bei den normierten Prüfbedingungen beträgt das Verhältnis des tiefsten Ergebnisses zum höchsten 7.0. Dies bedeutet, dass vom weichsten zum härtesten der 24 geprüften Gussasphalte eine Spanne von 700 % besteht. Bei den modifizierten Prüfbedingungen (55 °C/650N) beträgt das Verhältnis Max/Min 11,4; die Spanne zwischen dem tiefsten und höchsten Wert 1140%. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gussasphalten sind grösser.

## 5.2 Präzision der neuen Prüfparameter

Im Rahmen des Forschungsauftrages war es nicht möglich die Präzision des abgeänderten Prüfverfahrens mit der Durchführung eines Ringversuches zu bestimmen. Um trotzdem die Präzision der neuen Prüfparameter mit der normierten Methode zu vergleichen, wurden die Streuungen der Einzelwerte untersucht. Die in den bisherigen Abbildungen angegebenen Werte der Eindringtiefen wurden – gemäss der normierten Versuchsdurchführung – aus zwei Einzelwerten berechnet. Die Streuung dieser Einzelwerte, welche an zwei verschiedenen Prüfkörpern bestimmt werden, kann als Indikator für die Präzision der Prüfmethode verwendet werden. In der untenstehenden Abbildung 5.18 wurden die zur Berechnung des massgebenden Wertes (=Mittelwert aus 2 Einzelwerte) bestimmten Einzelwerte aufgeführt und die Differenz berechnet. Der Mittelwert der Differenzen wurde in Relation zum Mittelwert der massgebenden Werte gesetzt.

Die Streuung der Einzelwerte ist bei beiden Verfahren vergleichbar. Beim normierten Verfahren beträgt die Differenz zwischen den Einzelwerten – gemessen am massgebenden Wert (Mittelwert der beiden Einzelwerte) - 11.8 %; bei der modifizierten Prüfmethode 13.7 %.

Abb. 5.18 Auswertung der Einzelwerte der Bestimmung der Eindringtiefe zur Abschätzung der Präzision des Verfahrens

Probe-Nummer	MA-Sorte	40°C / 525N			55°C / 650N		
		EW 1	EW 2	$\Delta$	EW 1	EW 2	$\Delta$
03-01233-001	MA 11	1.04	1.09	0.05	1.99	2.34	0.35
03-01267-004	MA 11	1.36	1.57	0.21	3.01	3.06	0.05
03-01267-001	MA 16	1.21	1.61	0.4	2.43	3.47	1.04
03-01315-001	MA 8	3.17	3.99	0.82	15.58	18.24	2.66
03-01321-001	MA 11	1.17	1.24	0.07	1.78	2.56	0.78
03-01321-004	MA 11	1.05	1.15	0.1	3.51	3.73	0.22
03-01321-007	MA 8 N	1.34	1.75	0.41	3.99	4.47	0.48
03-01321-010	MA 6 N	2.76	2.91	0.15	11.3	11.96	0.66
03-01625-001	MA 11 TSP	1.39	1.57	0.18	3.33	4.31	0.98
03-01734-001	MA 16 THP	1.3	1.48	0.18	2.17	2.65	0.48
03-01734-002	MA 11 N	2.14	2.23	0.09	3.24	4.26	1.02
03-01734-003	MA 11 N	1.88	1.98	0.1	4.47	4.62	0.15
03-01752-001	MA 16 S	1.09	1.16	0.07	2.28	3	0.72
03-01775-001	MA 16	1.95	2.41	0.46	5.12	5.15	0.03
03-01775-002	MA 11	0.67	0.68	0.01	1.73	2.04	0.31
03-01793-001	MA 11	1.2	1.37	0.17	2.89	2.91	0.02
03-01793-002	MA 11	0.5	0.51	0.01	1.33	1.63	0.3
04-00092-001	MA 11	1.14	1.24	0.1	2.4	2.41	0.01
04-00092-002	MA 6	1.87	2.16	0.29	4.08	5.48	1.4
04-00093-001	MA 6	0.63	0.8	0.17	1.8	1.81	0.01
04-00093-002	MA 6	0.66	0.67	0.01	2.14	2.21	0.07
04-01455-002	MA 11	0.87	0.9	0.03	2.33	2.95	0.62
04-01457-003	MA 11	1.27	1.31	0.04	1.96	2.17	0.21
04-01619-001	MA 11	2.08	2.18	0.1	4.61	5.2	0.59
Mittelwert des massgebenden Wertes (Mittelwert der beiden EW)		1.49			4.00		
Mittelwert der Differenzen				0.18	0.55		
Differenzen in % des Mittelwertes des massgebenden Wertes				11.8%	13.7%		

## 6 Schlussfolgerungen

Aufgrund von Laboruntersuchungen konnten Vorschläge für neue Prüfparameter festgelegt werden, mit denen die Prüfung nicht nur rascher durchgeführt werden könnte, sondern mit denen auch die Selektivität der Prüfmethode verbessert werden könnte.

### Prüfdauer:

Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Verkürzung der Prüfdauer ohne Einbusse der Aussagekraft möglich ist. Für die Auswertung der Prüfung „statische Eindringtiefe“ werden zwei Kennwerte erfasst: Die Eindringtiefe nach 30 Minuten, sowie die Zunahme der Eindringtiefe nach weiteren 30 Minuten. Die Prüfung dauert somit (ohne Berücksichtigung der Temperierungsphase und der Vorbelastung) 60 Minuten. Bei einer Auswertung nach 15 Minuten und weiteren 15 Minuten (gesamte Dauer 30 Minuten) werden erwartungsgemäss kleinere Werte gemessen. Nach 15 Minuten sind 85 % des Wertes nach 30 Minuten erreicht und zwar mit hoher Präzision; der Varianzkoeffizient beträgt lediglich 3 %!

### Temperatur und Auflast

Es wurde sowohl die Prüftemperatur, als auch die Auflast variiert. Neben der normierten Temperatur von 40 °C wurden auch Versuche mit 55°C gefahren. Die normierte Auflast von 525 N wurde auf 650 und 775 N erhöht. Diese Lasten wurde deshalb gewählt, weil bei der normierten Prüfung die Auflast (525 N) mittels 4 Ringe à 125 N aufgebracht werden (das Gewicht der Belastungsvorrichtung beträgt 25 N). So konnte im Labor die Auflast erhöht werden, indem weitere Standard-Ringe aufgebracht wurden. Diese Variationen der Prüfbedingungen wurden an 8 Gussasphaltsorten durchgeführt.

Bei einer Prüftemperatur von 55 °C und einer Auflast von 650 N wurden die besten Ergebnisse erzielt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gussasphaltsorten sind bei der modifizierten Prüfmethode grösser.

Die ausgewählten Prüfparameter müssten anhand umfangreicher Reihenuntersuchungen weiter validiert werden, um allenfalls als Alternative zur normierten Prüfung eingesetzt zu werden. Derartige Arbeiten konnten im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt werden.

## Anhänge

I.1	Gussasphalte zur Durchführung der Parameterstudie.....	35
I.2	Untersuchungen zur Dauer der Belastung.....	36
I.3	Vergleichende Untersuchungen an verschiedenen Gussasphalten mit unterschiedlichen Prüfkörpern .....	38

# I Gussasphalte zur Durchführung der Parameterstudie

Abb. I.1 Übersicht der erhaltenen Proben

<i>Material</i>	<b>MA 11</b>	<b>MA 11</b>	<b>MA 11</b>	<b>MA 11</b>
<b>Bindemittel</b>	PmB	B 40/50	B 40/50	B 50/70
<b>Stat. ET MA [mm] (Ziel)</b>	1	2	3	5
<b>Anzahl Rondellen</b>	40	40	40	40
<b>Anzahl Platten</b>	12	12	12	12

<i>Material</i>	<b>MA 16</b>	<b>MA 16</b>	<b>MA 8</b>	<b>MA 8</b>
<b>Bindemittel</b>	PmB	B 40/50	B 40/50	B 50/70
<b>Stat. ET [mm] (Ziel)</b>	1	2	3	5
<b>Anzahl Rondellen</b>	20	20	20	20
<b>Anzahl Platten</b>	12	12	12	12

## II Untersuchungen zur Dauer der Belastung

Abb. I.2 Vergleichende Untersuchung zur Dauer der Belastung

		Werte 15/30 Min in mm						Werte 30/60 Min in mm						Werte 15/30 Min in % Werte 30/60 Min					
Temperatur		40 °C		55 °C		55 °C		40 °C		55 °C		55 °C		40 °C		55 °C		55 °C	
Last		525 N		525 N		650 N		525 N		525 N		650 N		525 N		525 N		650 N	
Auswertung nach [Min]		15	15/30	15	15/30	15	15/30	30	30/60	30	30/60	30	30/60	15	15/30	15	15/30	15	15/30
03-01233-001	MA 11	1.07	0.16	1.53	0.20	2.10	0.23	1.20	0.20	1.70	0.20	2.30	0.20	89	80	90	100	91	115
03-01267-004	MA 11	1.47	0.23	2.80	0.39	3.04	0.40	1.70	0.30	3.20	0.40	3.40	0.40	86	77	88	98	89	100
03-01267-001	MA 16	1.41	0.20	2.51	0.27	2.95	0.32	1.60	0.20	2.80	0.30	3.30	0.30	88	100	90	90	89	107
03-01315-001	MA 8	3.58	0.81	9.46	2.72	16.91	5.73	4.40	1.00	12.20	3.10	22.60	2.90	81	81	78	88	75	198
03-01321-001	MA 11 TSP	1.21	0.28	2.06	0.31	2.17	0.32	1.50	0.30	2.40	0.30	2.50	0.30	81	93	86	103	87	107
03-01321-004	MA 11 TSP	1.10	0.25	2.60	0.43	3.62	0.61	1.30	0.30	3.00	0.50	4.20	0.60	85	83	87	86	86	101
03-01321-007	MA 8 TN	1.55	0.26	3.03	0.45	4.23	0.62	1.80	0.30	3.50	0.50	4.90	0.60	86	87	87	90	86	103
03-01321-010	MA 6 N	2.84	0.65	10.18	3.77	11.63	4.44	3.50	0.80	14.00	5.00	16.10	6.50	81	81	73	75	72	68
03-01625-001	MA 11 TSP	1.48	0.23			3.82	0.50	1.71	0.25			4.32	0.51	87	92			88	98
03-01734-001	MA 16 THP	1.39	0.21			2.41	0.29	1.60	0.24			2.70	0.32	87	89			89	90

		Werte 15/30 Min in mm						Werte 30/60 Min in mm						Werte 15/30 Min in % Werte 30/60 Min					
03-01734-002	MA 11 N	2.19	0.28			3.41	0.30	2.46	0.27			3.71	0.34	89	104			92	88
03-01734-003	MA 11 NT	1.93	0.35			4.55	0.78	2.28	0.37			5.32	0.89	85	95			85	88
03-01752-001	MA 16 SP	1.13	0.16			2.64	0.36	1.28	0.17			3.00	0.36	88	94			88	99
03-01775-001	MA 16	2.18	0.30			5.14	0.37	2.48	0.29			5.72	0.55	88	104			90	66
03-01775-002	MA 11	0.68	0.11			1.89	0.23	0.78	0.11			2.12	0.24	87	95			89	96
03-01793-001	MA 11 K	1.29	0.25			2.90	0.46	1.53	0.28			3.36	0.50	84	89			86	92
03-01793-002	MA 11 K	0.51	0.11			1.48	0.24	0.61	0.12			1.72	0.27	83	91			86	91
04-00092-001	MA 11	1.19	0.21			2.41	0.29	1.40	0.21			2.69	0.28	85	100			89	102
04-00092-002	MA 6	2.02	0.33			4.78	0.65	2.35	0.35			5.43	0.69	86	94			88	95
04-00093-001	MA 6	0.72	0.14			1.81	0.24	0.85	0.15			2.05	0.27	84	93			88	89
04-00093-002	MA 6	0.67	0.12			2.18	0.29	0.79	0.13			2.46	0.30	85	92			88	95
04-01455-002	MA 11	0.89	0.20			2.64	0.56	1.08	0.23			3.20	0.64	82	87			83	88
04-01457-003	MA 11	1.29	0.18			2.07	0.18	1.47	0.20			2.25	0.17	88	92			92	106
04-01619-001	MA 11	2.13	0.34			4.91	0.87	2.47	0.36			5.78	1.06	86	94			85	82

### III Vergleichende Untersuchungen an verschiedenen Gussasphalten mit unterschiedlichen Prüfkörpern

Abb. I.3 Zusammenstellung der Ergebnisse

		Eindringtiefe am Würfel [mm]		Eindringtiefe am Zylinder [mm]	
MA-Sorte	Labor-Nr	0.5 h	0.5 / 1.0 h	0.5 h	0.5 / 1.0 h
MA 16 N	A01-0058	1.59	0.27	0.91	0.14
MA 8 L	A01-0060	3.03	0.38	2.48	0.29
MA 11 S	A01-1874	1.65	0.24	1.25	0.19
MA 11 S	A01-1875	1.79	0.27	1.34	0.20
MA 16 S	A01-1876	1.16	0.18	0.69	0.08
MA 11 NP	C2.0564.98	1.54	0.26	1.26	0.22
MA 11 NP	C2.0567.98	1.75	0.30	1.28	0.21
MA 11 NP	C2.0586.98	1.63	0.28	1.30	0.24
MA 11 NP	C2.0589.98	1.72	0.29	1.78	0.24
MA 11 NP	C2.0592.98	1.74	0.30	1.40	0.26
MA 11 NP	C2.0646.98	1.58	0.23	1.66	0.27
MA 11 NP	C2.0655.98	1.80	0.34	1.32	0.26
MA 11 NP	C2.0664.98	1.78	0.29	1.28	0.21
MA 11 NP	C2.0667.98	1.89	0.30	1.49	0.26
MA 11 TNP	C2.0596.98	1.75	0.32	1.20	0.24
MA 11 TNP	C2.0598.98	1.54	0.27	1.12	0.21
MA 11 TNP	C2.0599.98	1.83	0.33	1.16	0.20
MA 11 TNP	C2.0600.98	1.43	0.23	1.00	0.23
MA 11 NP	C2.0671.98	1.79	0.31	1.22	0.21
MA 11 NP	C2.0675.98	2.04	0.33	1.53	0.25
MA 11 NP	C2.0677.98	1.84	0.34	1.59	0.29
MA 11 NP	C2.0678.98	1.58	0.26	1.50	0.28
Mittelwert		1.75	0.29	1.35	0.23

## Abkürzungen

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
SN	Schweizer Norm
EN	Europäische Norm
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
MA	Gussasphalt
ET	Eindringtiefe
EP RuK	Erweichungspunkt Ring und Kugel
FGSV	Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen
PmB	polymermodifiziertes Bitumen
Pen	Penetration
Ip	Penetrationsindex
HRG	Hohlraumgehalt
stat. ET	statische Eindringtiefe nach 30 Minuten
stat. ZET	Zunahme der statischen Eindringtiefe nach weiteren 30 Minuten
MA-Pk	Gussasphalt-Prüfkörper
dyn. ET	dynamische Eindringtiefe nach 6'000 Zyklen
dyn. ZET	Zunahme der dynamischen Eindringtiefe zwischen 6000 und 10'000 Zyklen



## Literaturverzeichnis

- 
- [1] EN 12697-20; *Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 20: Eindringversuch an Würfeln oder Marshall-Probekörpern*
- 
- [2] SN 670 420 *Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 20: Eindringversuch an Würfeln oder Marshall-Probekörpern*
- 
- [3] SN 671 970 Bituminöses Mischgut Prüfverfahren; Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung (seit 2005 ungültige Norm)
- 
- [4] EN 12697-21; *Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 21: Eindringversuch an Platten*
- 
- [5] SN 640 441b Mischgutanforderungen – Teil 6: Gussasphalt
- 
- [6] EN 12697-25, Asphalt-Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 25: Druckschwellversuch
- 
- [7] SN 640441a-NA; Mischgutanforderungen – Teil 6: Gussasphalt
- 
- [8] EN 13108-20:2006; Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen- Teil 20: Erstprüfungen
- 
- [9] Technische Prüfvorschrift für Asphalt TP Asphalt-StB; Teil 25A: Dynamischer Stempel Eindringversuch an Gussasphalt; Forschungsgesellschaft für Strassen – und Verkehrswesen;
- 
- [10] Schellenberg K., Eulitz H.-J.; Ansprache des Verformungswiderstandes von Gussasphalt mit dem dynamischen Eindringversuch mit ebenem Stempel - Weiterentwicklung und Bewertungshintergrund / Dezember 2000 / Heft Nr. 789 / Bundesministerium für Verkehr, Bonn
- 
- [11] Angst Ch., Schellenberg K.; Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt; Forschungsauftrag ASTRA 2000/433
- 
- [12] Partl M., Raab Ch.; Einfluss der Prüfkörperform auf die statische Stempel Eindringtiefe von Gussasphalt mit und ohne PmB; Strasse und Verkehr 9/ 2003
-



# Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK      Strassen, Brücken, Tunnel Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 11.11.2011

### Grunddaten

Projekt-Nr.: 2001/504  
 Projekttitel: Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphalten  
 Enddatum: 11.11.2011

### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Aufgrund von Laboruntersuchungen konnten Vorschläge für neue Prüfparameter festgelegt werden, mit denen die Prüfung nicht nur rascher durchgeführt werden könnte, sondern mit denen auch die Selektivität der Prüfmethode verbessert werden könnte.

**Prüfdauer:**

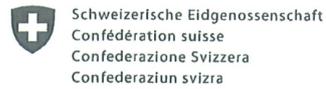
Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Verkürzung der Prüfdauer ohne Einbusse der Aussagekraft möglich ist. Für die Auswertung der Prüfung „statische Eindringtiefe“ werden zwei Kennwerte erfasst: Die Eindringtiefe nach 30 Minuten, sowie die Zunahme der Eindringtiefe nach weiteren 30 Minuten. Die Prüfung dauert somit (ohne Berücksichtigung der Temperierungsphase und der Vorbelastung) 60 Minuten. Bei einer Auswertung nach 15 Minuten und weiteren 15 Minuten (gesamte Dauer 30 Minuten) werden erwartungsgemäss kleinere Werte gemessen. Nach 15 Minuten sind 85 % des Wertes nach 30 Minuten erreicht und zwar mit hoher Präzision; der Varianzkoeffizient beträgt lediglich 3 %!

**Temperatur und Auflast**

Es wurde sowohl die Prüftemperatur, als auch die Auflast variiert. Neben der normierten Temperatur von 40 °C wurden auch Versuche mit 55°C gefahren. Die normierte Auflast von 525 N wurde auf 650 und 775 N erhöht. Diese Lasten wurde deshalb gewählt, weil bei der normierten Prüfung die Auflast (525 N) mittels 4 Lasten à 125 N aufgebracht werden (das Gewicht der Belastungsvorrichtung beträgt 25 N). So konnte im Labor die Auflast erhöht werden, indem weitere Standard-Lasten aufgebracht wurden. Diese Variationen der Prüfbedingungen wurden an 8 Gussasphaltsorten durchgeführt.

Bei einer Prüftemperatur von 55 °C und einer Auflast von 650 N wurden die besten Ergebnisse erzielt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gussasphaltsorten sind bei der modifizierten Prüfmethode grösser.

Die ausgewählten Prüfparameter müssten anhand umfangreicher Reihenuntersuchungen weiter validiert werden, um allenfalls als Alternative zur normierten Prüfung eingesetzt zu werden. Derartige Arbeiten konnten im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt werden.



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

Zielerreichung:

Das Ziel des Projektes wurde erreicht.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Arbeiten werden im Rahmen der europäischen Normierung in der entsprechenden Arbeitsgruppe (TG 2 der WG 1 des TC 227) vorgestellt werden. Das weitere Vorgehen wird im europäischen Kontext festgelegt werden müssen.

Publikationen:

keine

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Christian

Vorname: Anget

Amt, Firma, Institut: IMP Bautest AG; Hauptstrasse 591; 4625 Oberbuchsitzen

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 2 / 3



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**      **Strassen, Brücken, Tunnel**  
**Formular Nr. 3: Projektabschluss**

**Beurteilung der Begleitkommission:**

Beurteilung:

Die Forschungsarbeit hat länger gedauert als ursprünglich angenommen, aber die Ziele wurden letztlich erreicht.

Umsetzung:

Da die Schweiz keine eigenen Prüfungen normieren kann, müssen die Ergebnisse der Forschung im Rahmen der CEN-Normierung umgesetzt werden.

weitergehender Forschungsbedarf:  
zur Zeit kein weiterer Bedarf

Einfluss auf Normenwerk:

siehe Umsetzung

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

Name: Am

Vorname: Thomas

Amt, Firma, Institut: Lombardi SA; Via R. Simen; 6648 Minusio

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

# Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

## Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Auszug zur Integration in Schlussberichte (Stand: 4. Quartal 2011)

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel <i>Détection d'incidents dans les tunnels routiers</i> <i>Incident Detection in Road Tunnels</i>	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen <i>Prévision de gel et de brouillard pour les routes</i> <i>Prediction of frost and fog for roads</i>	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten <i>Principes pour la quantification des effets des déficits de la sécurité</i> <i>Basis for the quantification of the effects of safety deficits</i>	2011
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen <i>Alternatives aux passages pour piétons dans les zones 30</i> <i>Alternatives to zebra crossings in 30km/h zones</i>	2010
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln; Systemevaluation <i>Energy extraction from urban tunnels, evaluation of systems</i> <i>Extraction d'énergie géothermique de tunnels urbains;</i>	2010
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau <i>Analyse inverse pour la construction routière</i> <i>Inverse analysis in Road Geotechnics</i>	2011
1311	VSS 2000/543	Viabilité des projets et des Installations annexes <i>Kontrolle der Befahrbarkeit von Strassen und Nebenanlagen</i> <i>Viability of road projects and secondary facilities</i>	2010
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement <i>Standardisation des données de trafic pour gestion intermodale du trafic</i> <i>Standardised traffic data for intermodal traffic management</i>	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum <i>Standards for mobility supply in peripheral regions</i> <i>Standards pour l'offre de mobilité dans l'espace périphérique</i>	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an ? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen <i>Transports de l'avenir ?</i> <i>Moteurs et carburants pour la mobilité de demain</i> <i>What drives us on ?</i> <i>Drives and fuels for the mobility of tomorrow</i>	2011
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im labormasstab <i>Désenrobage des enrobés peu bruyants des couches de roulement sous sollicitation de roulement en laboratoire</i> <i>Stripping of Low Noise Surface Courses during Laboratory Scaled Wheel Tracking</i>	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors <i>SPIN-ALP: Abschätzung des Potentials des Intermodalen Verkehrs auf Alpenkorridoren</i> <i>SPIN-ALP: Estimation du potentiel du transport intermodal sur les axes transalpins</i>	2010
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts- Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten <i>Fonctions de résistance pour des tronçons routiers urbains en dehors de la zone d'influence de carrefours</i> <i>Capacity restraint functions for urban road sections not affected by intersection delays</i>	2010

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. <i>Die charakteristischen Indikatoren einer Velostadt. Evaluationsmethode der Velopolitiken anhand von 8 Indikatorgruppen für kleine und mittlere Gemeinden</i> <i>Characteristic indices of a Bike City. Method of evaluation of cycling policies in 8 indices for small and medium-sized communes</i>	2010
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology <i>Temps de parcours en réseau urbain</i>	2011
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit <i>Modèles d'impact d'équipements de véhicules pour améliorer la sécurité routière</i> <i>Modelling of the impact of in-vehicle equipment for the enhancement of traffic safety</i>	2009
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground <i>Entscheidungsgrundlagen und Hilfsmittel für die Planung von TBM-Vortrieben in druckhaftem Gebirge</i> <i>Critères de décision et outils pour la planification de</i>	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr <i>Basic technologies for detecting intermodal traveling passengers</i> <i>Les technologies de base pour l'enregistrement automatique</i>	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr <i>L'agressivité au volant</i> <i>Aggressive Driving</i>	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS" <i>Projet initial pour le paquet de recherche "Augmentation de l'utilité pour les usagers du système d'information de la route"</i> <i>Initial project for the research package "Increasing benefits for the users of the road and transport information system"</i>	2011
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen <i>Application areas of various means of transportation in agglomerations</i> <i>Domaine d'application de différent moyen de transport dans</i>	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren <i>Investigations of the ice-wall grow and frost heave in artificial ground freezing</i> <i>Recherches sur la formation corps gelés et du soulèvement au gel pendant la procédure de congélation</i>	2010
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges <i>Qualitätsprüfung und Überwachung elektrisch isolierter Spannglieder in Brücken</i> <i>Contrôle de la qualité et surveillance des câbles de précontrainte isolés électriquement dans les ponts</i>	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene <i>Sécurité en cas de tracés rail-route parallèles ou rapprochés</i> <i>Safety measures to manage risk of roads meeting or running close to railways</i>	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen <i>On-site runoff experiments on roads</i> <i>Essai d'écoulements pour l'évacuation des eaux des</i>	2011

1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik <i>IT-Security pour la télématique des transports</i> <i>IT-Security for Transport and Telematics</i>	2011
1352	VSS 2008/302	Fußgängerstreifen (Grundlagen) <i>Passage pour piétons (les bases)</i> <i>Pedestrian crossing (basics)</i>	2011