



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

Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN

Affinité entre granulats et bitume, mise en application nationale de la EN

Affinity between aggregate and bitumen, national implementation of the EN

IMP Baute AG
Dr Christian Angst
Dr Françoise Beltzung

EMPA
Dr Martin Hugener

**Forschungsauftrag VSS 2005/505 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)**

Juli 2010

1289

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en).
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.
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.
Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) appointed by the Swiss federal roads office.
Supply: 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

Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN

Affinité entre granulat et bitume, mise en application nationale de la EN

Affinity between aggregate and bitumen, national implementation of the EN

IMP Baute AG
Dr Christian Angst
Dr Françoise Beltzung

EMPA
Dr Martin Hugener

**Forschungsauftrag VSS 2005/505 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Christian Angst

Mitglieder

Françoise Beltzung

Martin Hugener

Federführende Fachkommission

Fachkommission 5: Bau- und Geotechnik

Begleitkommission

Präsident

Thomas Arn

Mitglieder

Hans-Peter Beyeler

Erwin Fetz

Dieter Fux

Germann Rehmann

Max Seeberger

Antragsteller

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	10
	Summary	13
1	Einleitung	16
2	Die Prüfverfahren in EN und SN	18
2.1	Verfahren SN; statisches Prüfverfahren	18
2.2	Verfahren EN A; Flaschen-Rollverfahren	18
2.3	Verfahren EN B; statisches Prüfverfahren	18
2.4	Verfahren EN C; Ablösen in siedendem Wasser	18
2.5	Zusammenfassung	19
3	Baustoffe	21
3.1	Bitumen	21
3.1.1	Bitumen für das Erproben der Verfahren A und B	21
3.1.2	Bitumen für die Validierung des Verfahrens B	21
3.2	Gesteinskörnungen	22
3.3	Haftmittel/Haftvermittler	22
4	Erproben der Verfahren A und B	23
4.1	Durchführbarkeit und Aussagekraft	23
4.1.1	Verfahren A	23
4.1.2	Verfahren B	25
4.2	Verbesserungen	26
4.2.1	Mischtemperatur	26
4.2.2	Prüftemperatur	26
4.2.3	Auswertung mit graphischen Vorlagen	27
4.3	Formale CEN TC 227 Änderungsanträge	28
5	Validierung des modifizierten Verfahrens B	29
5.1	Prüfbedingungen	29
5.1.1	Modifikationen des Verfahrens B	29
5.2	Untersuchung zusätzlicher Parameter	29
5.2.1	Masse der Gesteinskörner	29
5.2.2	Effektiver Bindemittelanteil	30
5.2.3	Grösse der Glasschalen für die Bestimmung des Umhüllungsgrades	32
5.2.4	Doppeluntersuchung	33
5.2.5	Anzahl der ausgewerteten Mineralstoffkörner	33
5.3	Versuchsreihe mit Bitumen	35
5.3.1	Mischtemperatur	35
5.3.2	Temperatur der Wasserlagerung	36
5.3.3	Dauer der Wasserlagerung	37
5.4	Versuchsreihe mit Gesteinskörnungen	39
5.5	Versuchsreihe mit Haftmittel	42
6	Schlussdiskussion und Folgerungen	43
6.1	Diskussion der untersuchten Parameter	43
6.2	Folgerungen für die SN	44
6.3	Anforderungen an den Umhüllungsgrad	45
6.4	Folgerungen für die EN	45
7	Dank	46
	Abkürzungen	56
	Literaturverzeichnis	57
	Projektabschluss	58
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	61

Zusammenfassung

Ausgangslage

Das im Jahr 2005 formulierte Projekt hatte zum Ziel, Erfahrungs- und Anforderungswerte für das Flaschen-Rollverfahren, das in der Version 2003 der EN 12697-11 beschrieben wurde, zu erforschen. In der späteren Fassung EN 12697-11:2005 wurden aber zwei weitere Verfahren für die Bestimmung der Affinität aufgenommen, nämlich das statische Verfahren und das Ablösen in siedendem Wasser.

Das Forschungsvorhaben wurde daher entsprechend angepasst, so dass die Arbeiten sich nun auf zwei Verfahren (Flaschen-Rollverfahren und statisches Verfahren) konzentrierten. Das dritte Verfahren - das Ablösen in siedendem Wasser - wurde, wegen dem komplizierten Laboraufwand und der Handhabung von Flusssäure, aus Sicherheitsgründen von vornherein nicht in Betracht gezogen.

EN Verfahren A und B

Das EN 12697-11 Verfahren A für die Bestimmung der Affinität ist eine Prüfung, bei der die Adhäsion zwischen Gesteinskörnung und Bitumen zeitgleich chemisch und mechanisch beansprucht wird. Wasser sorgt für den chemischen Angriff und das Rollen der umhüllten Körner in einer Flasche für den mechanischen Abrieb des Bitumenfilms. Für die visuelle Auswertung des Umhüllungsgrades nach Rollzeiten von 6 und 24 Stunden ist kein geeignetes Hilfsmittel vorgesehen.

Das EN 12697-11 Verfahren B ist ein statisches Verfahren, das dem Schweizer Verfahren SN 670 460 ähnlich ist. Die Adhäsion des Bitumens auf der Gesteinsoberfläche wird nur chemisch beansprucht. Im Vergleich zur SN sind vier Prüfbedingungen stark abweichend: eine fixe Mischtemperatur von 130 °C für alle Bitumen- und Polymerbitumensorten, eine lange Wasserlagerung von 48 Stunden, eine Wassertemperatur von nur 19 °C und eine binäre Auswertung (erfüllt/nicht erfüllt).

Vorversuche

Beide Prüfverfahren wurden mit einer Auswahl von fünf Bitumen in Kombination mit der EMPA Referenzgesteinskörnung sowie einer Auswahl von 3 Gesteinskörnungen in Kombination mit dem EMPA Referenzbitumen getestet. Zusätzlich wurden diese insgesamt 7 Kombinationen gemäss SN 670 460 geprüft.

Das Flaschen-Rollverfahren A wurde leicht modifiziert in dem nach SN 670 460 ausgewertet wurde (mit Hilfe der graphischen Vorlage). Die Ergebnisse zeigen eine gute Korrelation zwischen dem Flaschen-Rollverfahren und dem Schweizer Verfahren. Stark abweichend war nur das Ergebnis mit dem weichen Bitumen 160/220: der Umhüllungsgrad nach SN ist viel tiefer als der nach EN A. Diese Beobachtung wird dadurch erklärt, dass im SN-Verfahren die Erweichungstemperatur des Bitumen (41 °C) deutlich unterhalb der Wasserbadtemperatur von 60 °C liegt. Wir gehen davon aus, dass die Prüftemperatur das weiche Bitumen infolge seiner tiefen Viskosität benachteiligt; die Bindemittel-Ablösungen wurden durch die Prüfbedingungen begünstigt. Das Flaschen-Rollverfahren wird als handlich und aussagekräftig beurteilt.

Beim statischen Verfahren B sind mehrere Probleme aufgetreten. Die einheitliche Mischtemperatur von 130 °C verursachte eine Klumpenbildung der Körner bei den Mischungen mit Polymerbitumen und mit Bitumen 10/20. Selbst wenn der Bitumenanteil erhöht wird (wie in der EN vorgesehen), bildeten sich Klumpen die zu einer unvollständigen Umhüllung führten. Darauf wurde die Mischtemperatur an die Bitumensorte angepasst. Nach 48 Stunden Wasserlagerung ergab dies einen Umhüllungsgrad von 100% für alle Kombinationen (mit Ausnahme 97% für das weiche Bitumen 160/220). Das Verfahren B wird in dieser Version als nicht geeignet beurteilt.

Verbesserungsvorschläge

Für das Flaschen-Rollverfahren wurden der CEN-Kommission TC 227 / WG 1 zwei Modifikationen der EN 12697-11 vorgeschlagen. Eine Reduktion der Mischtemperatur von $T + 25^{\circ}\text{C}$ auf T , wobei T die Referenztemperatur aus der EN 12697-35 ist, und eine Vereinfachung der Auswertung mit den Hilfsgraphiken der SN 670 460.

Das statische Verfahren brauchte umfangreichere Modifikationen. Die wichtigsten davon sind eine variable Mischtemperatur nach EN 12697-35, eine Zunahme der chemischen Beanspruchung indem die Wassertemperatur erhöht wird, und eine prozentuale Auswertung mit denselben Hilfsgraphiken wie in der SN 670 460.

Auf Grund der Ähnlichkeit des Verfahren EN B mit dem Schweizer Verfahren der SN 670 460 und der Möglichkeit in der CEN TC 227 / WG 1 auf die Norm Einfluss zu nehmen, sowie der beschränkten finanziellen Mittel wurde beschlossen, die Arbeit auf das statische Verfahren zu fokussieren.

Validierung des modifizierten Verfahren B

Allgemeines

Es wurden Reihenuntersuchungen mit einer Auswahl von 7 Bitumen in Kombination mit der EMPA Referenzgesteinskörnung sowie einer Auswahl von 11 Gesteinskörnungen in Kombination mit dem EMPA Referenzbitumen durchgeführt. Auch wurde der Einfluss von zwei verschiedenen Haftmitteln geprüft. Die Auswertung erfolgte in der Regel nach 6, 24 und 48 Stunden.

Vorbereitungen

Gemäss modifizierter EN B sind pro Prüfung 150 Körner 8/11 mit 4 Masse-% Bitumen zu mischen. Je nach statistischer Verteilung der Korngrösse variiert die Masse dieser 150 Körner um etwa 10%. Durch diese Art der Probenahme besteht eine gewisse Relation zwischen Gesteinsoberfläche und Bitumenmasse. Ausserdem ist dadurch eine homogene Dicke des Bitumenfilms gewährleistet.

Während des Mischvorgangs bleibt ein Teil des Bitumens an der Wand des Mischgefässes kleben. Dieses Bitumen ist für die Umhüllung verloren. Dabei ist zu beachten, dass die Gefässgrösse den verlorenen Bitumenanteil beeinflusst und somit die Dicke des Bitumenfilms.

Es wurde die Möglichkeit untersucht, das Kristallisierglas so zu wählen, dass die 150 Körner einschichtig verteilt werden können. Dies erleichtert die Auswertung, insbesondere wenn zusätzlich ein Raster unterlegt wird.

Zudem wurde festgestellt, dass das Ergebnis einer Probe praktisch identisch bleibt, auch wenn die Anzahl Körner von 150 auf 80 reduziert werden. Eine derartige Reduktion der Probemenge würde einen erheblichen Zeitgewinn mit sich bringen.

Versuchsreihe mit Bitumen

Um den Einfluss der Mischtemperatur auf den Unhüllungsgrad zu bestimmen, wurde mit T und $T - 15^{\circ}\text{C}$ gemischt, wobei T die Referenztemperatur aus EN 12697-35 ist. Es wurde eine Abnahme des Unhüllungsgrades von 79% auf 71% für 50/70 und von 78% auf 63% für 70/100 festgestellt. Interessanterweise wurde somit eine bessere Differenzierung der Bitumen erreicht.

Für die Wahl der geeigneten Wassertemperatur sind widersprüchliche Argumente abzuwägen: Höhere Wasserbadtemperaturen begünstigen zwar die Differenzierung zwischen den Bitumensorten, doch wird das Prüfergebnis stark von der Bitumenviskosität bei der Prüftemperatur beeinflusst, insbesondere wenn bei weichen Bitumen der Erweichungspunkt unterhalb der Prüftemperatur liegt. Im Gegensatz dazu wirken tiefere Temperaturen weniger differenzierend, dafür werden alle Bitumen „gleich“ beansprucht. Die Wahl der geeigneten Dauer der Wasserlagerung ist weniger umstritten; zum einen aus arbeitsorganisatorischen Gründen und zum anderen aus Gründen der Geschwindigkeit der Bitumenablösung. Um eine gute Differenzierung zu erreichen kann die Prüftemperatur erhöht und/oder die Lagerungsdauer verlängert werden. Es wurde eine Temperatur von 40°C und eine Lagerungsdauer von 24 Stunden gewählt.

Versuchsreihe mit Gesteinskörnungen

Obwohl mineralogisch sehr unterschiedliche Gesteine ausgewählt wurden, bildete der Umhüllungsgrad wenig von dieser Vielfalt ab. Quarzreiche Gesteine lassen sich von kalkreichen Gesteine kaum unterscheiden. Beim Verfahren gemäss SN 670 460 beeinflusst die Petrographie der Gesteinskörnung das Ergebnis stark. Der Grund dafür könnte in der unterschiedlichen Dauer der Abkühlung der umhüllten Körner vor der Wasserlagerung liegen. Nach SN dauert die Abkühlung nur fünf Minuten und das Wasser umspült die Körner solange diese noch heiss sind, wodurch der Ablösungsprozess beschleunigt wird. Nach modifizierter EN B dauert die Abkühlung 60 Minuten, wodurch die Körner auf Raumtemperatur abkühlen, bevor sie mit Wasser in Kontakt kommen. Demzufolge gehen wir davon aus, dass das Verfahren EN B grundsätzlich weniger streng ist als das Verfahren SN. Als Resultat des Forschungsprojektes wird ein statisches Prüfverfahren vorgeschlagen (siehe Anhang), das voraussichtlich mit der zukünftigen EN 12697-11 kompatibel ist.

Résumé

Avant-propos

Le projet de recherche formulé en 2005, s'était fixé pour objectif, de réunir des valeurs expérimentales et de définir les performances requises pour la méthode de la bouteille tournante décrite dans la version 2003 de la norme EN 12697-11. Plus tard, dans la version EN 12697-11:2005, ont été ajoutées deux autres méthodes de détermination de l'affinité entre granulat et bitume, à savoir, la méthode statique et la méthode de désenrobage à l'eau bouillante.

En suite de quoi, la formulation du projet a été adaptée et les travaux se concentrent désormais sur l'étude de deux méthodes (bouteille tournante et statique). La troisième méthode - le désenrobage à l'eau bouillante - a d'emblée été écartée pour des raisons de sécurité puisqu'elle prévoit, outre des manipulations compliquées, l'emploi d'acide fluorhydrique.

Méthodes EN A et B

La méthode EN 12697-11 A pour la détermination de l'affinité est un essai qui sollicite l'adhésion entre le bitume et le granulat à la fois chimiquement et mécaniquement. L'eau entraîne une agression chimique tandis que le roulement des grains, préalablement enrobés, dans une bouteille, provoque l'abrasion mécanique du film de bitume. Aucune représentation figurative n'est prévue pour faciliter l'estimation visuelle du degré d'enrobage après 6 et 24 heures de roulage.

La méthode EN 12697-11 B est une méthode statique qui s'apparente à la méthode suisse décrite dans SN 670 460. L'adhésion des bitumes sur la surface des granulats n'est sollicitée que chimiquement. Parmi les conditions d'essai définies par la EN, quatre se démarquent fortement de la SN: une température de malaxage de 130 °C pour toutes les classes de bitume, modifié ou non, une longue immersion de 48 heures à une température de seulement 19°C et un examen binaire de l'enrobage (complet/incomplet).

Essais préliminaires

Les deux méthodes ont été testées sur un échantillon de 5 bitumes en combinaison avec le granulat de référence EMPA, ainsi que sur un échantillon de 3 granulats en combinaison avec le bitume de référence EMPA. L'affinité de ces 7 combinaisons a également été déterminée selon la méthode SN 670 460.

La méthode A de la bouteille tournante a été légèrement modifiée par l'introduction de représentations figuratives pour l'estimation du degré d'enrobage. Les résultats montrent une bonne corrélation entre la méthode de la bouteille tournante et la méthode suisse. Le seul écart remarquable se rapporte au bitume mou 160/220: le degré d'enrobage obtenu avec l'essai SN est beaucoup plus bas que celui obtenu avec l'essai EN A. Cette observation s'explique par le fait que la température de ramollissement (41 °C) de ce bitume est largement inférieure à la température du bain (60°C). Nous estimons que la température élevée du bain désavantage ce bitume de faible viscosité; le désenrobage est facilité par les conditions d'essai. La méthode de la bouteille tournante est jugée commode et pertinente.

Les essais avec la méthode B ont laissé apparaître une série de problèmes. La température de malaxage fixe de 130 °C a provoqué des agglomérations de grains avec le bitume 10/20 et les bitumes modifiés par des polymères. Une augmentation de la proportion de bitume (telle que prévue par la EN en cas d'enrobage incomplet) n'a empêché ni la formation d'agglomérations ni l'obtention de grains mal enrobés. À la suite de ces observations, la température de malaxage a été adaptée à la classe des bitumes. Toutefois, avec cette mesure, après 48 heures d'immersion, le degré d'enrobage obtenu est égal à 100 % pour toutes les combinaisons (à l'exception du bitume mou avec 97% d'enrobage). La méthode B, dans sa version 2005, est jugée inutilisable.

Suggestions et améliorations

Pour la méthode de la bouteille tournante, nous avons proposé deux modifications à la commission CEN TC227 WG1. La première est une réduction de la température de malaxage de $T + 25^{\circ}\text{C}$ à T , avec T la température de référence définie dans EN 12697-35. La seconde suggère de faciliter l'estimation du degré d'enrobage en introduisant dans la norme les représentations figuratives de la SN 670 460.

La méthode statique nécessite des modifications plus étendues. Parmi elles, les plus importantes sont une température de malaxage variable et conforme à EN 12697-35, une intensification de la sollicitation chimique par augmentation de la température du bain et une estimation nuancée du degré d'enrobage avec les représentations figuratives de la SN 670 460.

En raison des similitudes entre la méthode EN B et la méthode suisse SN 670 460 et de la possibilité d'intervenir au sein de la CEN TC227 WG1 pour influencer la norme, en raison également des limites de notre crédit de recherche, nous avons pris la décision de nous concentrer sur la méthode statique.

Validation de la méthode B modifiée

Généralités

La méthode a été testée sur un échantillon de 7 bitumes en combinaison avec le granulat de référence EMPA, ainsi que sur un échantillon de 11 granulats en combinaison avec le bitume de référence EMPA. Deux dopes d'adhésivité ont complété cette série d'essais. Le degré d'enrobage a été estimé après 6 heures, 24 heures et 48 heures d'immersion.

Préparations

La méthode B modifiée prescrit le malaxage de 150 grains 8/11 avec 4 %-massique de bitume. La distribution statistique de la taille des grains fait varier la masse de ces 150 grains de l'ordre de 10%. Cette manière de prélever un échantillon favorise une certaine relation entre la surface totale des grains et la masse de bitume. On cherche ainsi à éviter que l'épaisseur du film de bitume varie d'un échantillon à l'autre.

Pendant le malaxage une part de bitume reste collée contre la paroi du récipient. Cette part de bitume est perdue pour l'enrobage. Nous retenons que la dimension du récipient influence la part perdue et donc l'épaisseur du film de bitume.

Nous avons étudié la possibilité de choisir le cristalliseur en sorte que les 150 grains puissent être répartis en une seule couche. Cette mesure facilite l'estimation et ce, d'autant mieux, qu'un quadrillage est disposé sous le cristalliseur.

Nous avons également constaté que le résultat d'un essai avec un nombre de grains inférieur à 150 demeure pratiquement inchangé tant que l'échantillon comporte au moins 80 grains. Une réduction de l'échantillonnage de 150 à 80 grains pourrait faire gagner beaucoup de temps.

Série d'essais avec des bitumes

Afin de déterminer l'influence de la température de malaxage sur le degré d'enrobage, nous avons malaxé avec T et $T - 15^{\circ}\text{C}$, T étant la température de référence issue de EN 12697-35. Nous avons constaté une diminution du degré d'enrobage de 79% à 71% pour le bitume 50/70 et de 78% à 63% pour le bitume 70/100. Grâce à la baisse de la température de malaxage, nous obtenons une meilleure différenciation des classes de bitume.

Pour le choix de la température appropriée du bain, il faut tenir compte de deux arguments opposés. Une température de bain plus élevée favorise la différenciation entre les classes de bitume mais, en même temps que la température s'élève, la viscosité du bitume a tendance à influencer le résultat, notamment lorsque la température de ramollissement des bitumes mous se trouve en-dessous de la température du bain. Les températures basses, au contraire, limitent la sensibilité de l'essai, mais, en contrepartie, tous les bitumes sont sollicités de façon comparable. Le choix de la durée appropriée de l'immersion est moins controversé. Il repose d'une part sur une question d'organisation du travail et d'autre part, sur une autre considération, qui est celle de la cinétique du désenrobage. On peut obtenir une sensibilité de mesure satisfaisante en élevant la température et/ou en prolongeant l'immersion. Nous proposons une température de 40°C et une durée d'immersion de 24 heures.

Série d'essais avec des granulats

Bien qu'ayant choisi des granulats de diverses provenances, le degré d'enrobage a très peu reflété cette variété minéralogique. Les granulats riches en quartz et ceux riches en calcaires ne sont pas nettement dissociables. Avec la méthode SN 670 460, au contraire, la pétrographie des granulats influence considérablement le résultat. La raison pourrait être due à la différence entre les durées de refroidissement des grains enrobés avant l'immersion. La SN fixe une durée de cinq minutes tandis que la EN fixe 60 minutes, un temps relativement long qui permet aux grains de refroidir à température ambiante avant d'entrer en contact avec l'eau. De ce point de vue, la méthode EN B est bien moins sévère que la méthode SN. À partir des résultats de notre projet de recherche, nous proposons une méthode statique (voir Annexe I) qui devrait, à court terme, être compatible avec la future version de la norme EN 12697-11.

Summary

Starting point

The aim of the project formulated in 2005 was the exploration of empirical value and requirements data for the Rolling Bottle Method, which is described in the version 2003 of the EN 12697-11. In the later version of the EN 12697-11:2005 two additional methods for determining the affinity were added, namely the Static Method and the Boiling Water Stripping Method.

That's why the research project was modified, so that the tests now concentrate on two methods (Rolling Bottle Method and Static Method). Right from the start the third method - Boiling Water Stripping Method - wasn't taken into consideration because of safety reasons. Another reason was that the method is complicated because of the handling of the hydrofluoric acid, and it would require much time in laboratory, too.

EN Method A and B

The EN 12697-11 Method A for the determining of the affinity is a test where the adhesion between aggregate and bitumen is put under stress, chemically and mechanically at the same time. Water is responsible for the chemical attack, and the rolling of the coated grains in the bottle is responsible for the mechanical abrasion of the film of bitumen. For the visual evaluation of the degree of coverage which is made after the test material was rolled around for 6 hours and 24 hours, it is not planned to use any kind of suitable helping material.

The EN 12697-11 Method B is a Static Method, which is similar to the Swiss Method SN 670 460. The adhesion of the bitumen on the aggregate surface only gets stressed chemically. Compared to the SN, four testing conditions are very different: a constant mixing temperature of 130°C for all types of bitumen and polymer modified bitumen, a long water storage of 48 hours, a water temperature of only 19°C and a binary evaluation (fulfilled/not fulfilled).

Preliminary tests

For both test methods a choice of five types of bitumen in combination with the EMPA reference aggregate as well as a choice of three aggregates in combination with the EMPA reference bitumen was tested. Additionally these seven combinations were tested according to SN 670 460.

The Rolling Bottle Method A was slightly modified in the way that the evaluation was made according to SN 670 460 (with the help of the graphic pattern). The results give evidence that there is a good correlation between the Rolling Bottle Method and the Swiss Method. Only the test result of the high grade bitumen 160/220 was very different: the degree of coverage according to SN was much lower than the one according to EN A. This observation can be explained by the fact that according to the SN Method the softening temperature of the bitumen (41°C) is clearly below the water temperature of 60°C. We came to the conclusion that the temperature under which the bitumen was tested has a negative effect on the high grade bitumen because of its low viscosity; the stripping of the binder was supported by the test conditions. The Rolling Bottle Method can be judged as easy to handle and convincing.

With regard to the Static Method B several problems occurred. The mixture with the polymer modified bitumen and the mixture with bitumen 10/20 did cause a lump formation of the grains because of the homogenous mixing temperature of 130°C. Even when the proportion of bitumen was increased (as required by the EN) there was a lump formation which caused an incomplete coating. As a result of this the mixing temperature was adjusted to the paving grade of bitumen. After 48 hours of water storage a degree of coverage of 100% was reached for all combinations (with the exception of 97% for the high grade bitumen 160/220). The Method B, in this version, is evaluated as unsuitable.

Suggestions for improvements

For the Rolling Bottle Method two modifications of the EN 12697-11 were suggested to the CEN Commission TC227 WG1. A reduction of the mixing temperature from $T + 25^\circ\text{C}$ to T , where T is the reference temperature of the EN 12697-35, and a simplification of the estimation supported by graphics from the SN 670 460.

The Static Method needed extensive modifications. The most important are a variable mixing temperature according to EN 12697-35, an increase in the chemical related stress by increasing the water temperature, and an evaluation divided into percents by support of the same graphics as in the SN 670 460.

Because of the similarity between the Method EN B and the Swiss Method of the SN 670 460, and the possibility which is drawn out in the CEN TC227 WG1 to have influence on the standard specification, as well as the fact of having a low budget, the decision was made to focus one's attention on the Static Method.

Validation of the modified Method B

In general

With a selection of seven bitumen in combination with the EMPA reference aggregate as well as a selection of eleven aggregates in combination with the EMPA reference bitumen series of studies were made. Additionally the influence of two different adhesion improving additives were tested. Normally the estimation was made after 6, 24 and 48 hours.

Preparations

According to the modified EN B for every test 150 grains 8/11 have to be mixed with 4 mass-% bitumen. Depending on the statistical distribution of the grain size the mass of these 150 grains varies round about 10%. By that way of how the sample is taken, a certain relation between the aggregate surface and the mass of bitumen exists. Thus over various samples a homogeneous thickness of the film of bitumen is presumed.

During the mixing process, some of the bitumen sticks to the inner side of the mixing bowl. For the coating this bitumen is lost. One has to take into consideration that the size of the mixing bowl has influence on the lost proportion of bitumen and therefore on the thickness of the film of bitumen.

The possibility was checked to choose such a crystallizing dish so that 150 grains can be spread out in only one layer. This makes the evaluation easier, especially when additionally a raster is put underneath.

Furthermore it was noticed that the test result practically stayed identical even when the number of grains was reduced from 150 to 80. Such a reduction of the amount of grains would save considerably time.

Series of experiments with bitumen

In order to determine the influence of the mixing temperature on the degree of coverage it was mixed with T and $T - 15^\circ\text{C}$, in which T is the reference temperature according to EN 12697-35. A reduction of the degree of coverage from 79% to 71% for 50/70 and from 78% to 63% for 70/100 was noticed. Interestingly enough a better differentiation of the bitumen was achieved.

For the choice of a suitable water temperature contradictory arguments have to be taken into consideration. Higher water temperatures are helpful with regard to the differentiation between the different paving grade of bitumen, but the examination result is influenced immensely by the bitumen viscosity and the test temperature, especially when the softening point of high grade bitumen is below the test temperature. On the contrary, lower temperatures have the effect that they make less distinctions, therefore all bitumen are put under stress equally.

The choice of an adequate duration of water storage isn't discussed so controversially, on the one hand because of reasons how labour can be organized, and on the other hand because of the stripping kinetics. In order to achieve a good differentiation it is possible to increase the test temperature and/or to prolong the time of storage. A temperature of 40°C and a 24 hours storage was chosen.

Series of experiments with aggregates

Although mineralogical very different aggregates had been chosen, the degree of coverage didn't reflect much of this great variety. It is difficult to differentiate between siliceous aggregates and calcareous aggregates. With regard to the method according to SN 670 460 one can say that the petrography of the aggregate has a great influence on the result. The reason for that could be the different duration of the cooling of the coated grains before they are stored in water. According to the SN the cooling only needs five minutes and the grains are immersed as long as they are hot which speeds up the stripping process. According to the modified EN B it takes 60 minutes for the cooling, during that time the grains cool down to room temperature before they have water contact. That is why we are of the opinion that Method EN B in general is not that strict than Method SN. As a result of this research project a static test method is suggested (see appendix) which is expected to be compatible to the future EN 12697-11.

1 Einleitung

Eine der Hauptursache für Schäden in bituminösen Belägen ist Wasser. Gesteine sind grundlegend hydrophil und die Anziehung zwischen Gesteinsoberfläche und Wasser ist stärker als die, zwischen Gesteinsoberfläche und Bitumen. Dieses Naturgesetz führt zu der Tatsache, dass Wassermoleküle versuchen, das Bitumen von der Gesteinsoberfläche zu verdrängen. Eine ausführliche Beschreibung dieser chemischen und physikalischen Prozesse ist zum Beispiel in [2] nachzulesen. Nachdem das Bitumen nur noch teilweise das Korn umhüllt, verliert der Asphalt an Zusammenhalt und seine mechanischen Eigenschaften verschlechtern sich ganz allgemein.

Nicht alle Gestein/Bitumen-Kombinationen sind gleich wasserempfindlich. Darum ist es wichtig, die Wasserempfindlichkeit jeder Kombination zu beurteilen. Messmethoden sind dafür entwickelt worden, die sich nach zwei unterschiedlichen Messprinzipien gliedern lassen [3]:

- Prüfungen an losen Mineralstoffkörnern, die mit Bitumen umhüllt werden (qualitativ)
- Mechanische Prüfungen an verdichteten Mischgutprüfkörpern (quantitativ).

Die Prüfung der Affinität gehört zum ersten Messprinzip. Sie beruht auf eine qualitative Schätzung des Umhüllungsgrades nachdem die mit Bitumen umhüllten losen Gesteinskörner chemisch, thermisch und teilweise mechanisch beansprucht wurden.

Rund um das Thema Wasserempfindlichkeit werden unterschiedliche Fachausdrücke angewendet. Wir wollen in der folgenden Aufzählung einige Fachausdrücke präzisieren und eingrenzen.

- **Affinität** ist eine chemische Eigenschaft die durch die Herabsetzung der freien Energie des Systems entsteht, wenn zwei oder mehrere Körper gemischt werden. Das System Gesteinskorn-Bitumen-Wasser besitzt bei Standardbedingungen eine tiefere freie Energie, wenn das Gesteinskorn vollständig mit Wasser umhüllt ist.
- **Haftvermögen** ist die mechanische Fähigkeit zweier Körper aneinander zu haften.
- **Umhüllungsgrad** ist der prozentuale Anteil der Kornoberfläche, die mit Bitumen überzogen ist.
- **Adhäsion** ist eine physikalische Eigenschaft die durch die molekulare Anziehungskraft zwischen zwei Körpern unterschiedlicher Natur entsteht [3]. Die Adhäsion zwischen Gesteinskorn und Bitumenfilm wird durch Wasser beeinträchtigt.
- **Kohäsion** ist eine physikalische Eigenschaft die durch die intermolekulare Anziehung innerhalb einer Substanz entsteht [3]. Eine Reduktion dieser Anziehungskraft bewirkt einen Verlust an Steifigkeit und Festigkeit.
- **Stripping** beschreibt das Ablösen des Bitumens von der Gesteinsoberfläche.

Im Rahmen der Europäischen Normierung müsste die Schweiz das bisherige Prüfverfahren SN 670460 (alte Nummer SN 671 960) „Bituminöses Mischgut, Prüfvorschriften; Haftvermögen von bituminösen Bindemitteln an Mineralstoffen“ [7] zurückziehen und mit einem in der Schweiz unbekannten Flaschen-Rollverfahren (EN 12697-11:2003 „Bestimmung der Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen“) ersetzen. In der Schweiz bestanden weder Erfahrungen mit dem EN-Prüfverfahren, noch war die Beziehung zu den Resultaten des bisher verwendeten Verfahrens bekannt. Das Projekt sollte Grundlagen für das Einbinden ins Normenwerk mittels Nationalem Anhang sowie für die Festlegung von Anforderungen liefern. Aus diesem Grunde wurde die EN 12697-11 nicht eingeführt und es wurde die Gültigkeitsdauer der SN 670 460 verlängert.

Dies war die Formulierung des Projektzieles im Antrag des Forschungsprojektes. In der Zeit, die zwischen Projektantrag und Auftragserteilung vergangen ist, wurde die EN 12697-11 revidiert und im Jahre 2005 als 12697-11:2005 publiziert [4]. Im Gegensatz zur Vorgängernorm wurden darin zwei zusätzliche Verfahren B und C aufgenommen. Dadurch veränderte sich die Ausgangslage für das Forschungsprojekt grundsätzlich. Sollten ursprünglich nur Erfahrungswerte von schweizerischen Mineralstoffen ermittelt werden, musste zuerst entschieden werden, welche Methode in der Schweiz überhaupt angewendet werden sollte. Das Ziel des Forschungsprojektes wurde in Absprache mit der Begleitkommission wie folgt geändert:

- Wahl des Verfahrens durch Erproben im Labor und unter Einbezug von Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen.
- Validierung der Prüfbedingungen des ausgewählten Verfahrens, ev. Verbesserungen vorschlagen.
- Erarbeitung von Vorschlägen für die Festlegung von Anforderungen zuhanden der zuständigen Expertenkommission der VSS.
- Einflussnahme auf die Revision der EN 12697-11 durch sachlich fundierte und mittels Versuchsergebnisse untermauerte Argumentation.

2 Die Prüfverfahren in EN und SN

2.1 Verfahren SN; statisches Prüfverfahren

Beim "Verfahren SN" gemäss SN 670 460 [7] werden die mit Bitumen umhüllten Gesteinskörner während 60 min bei 60°C gelagert. Danach wird jedes Gesteinskorn einzeln betrachtet und dessen Umhüllungsgrad anhand von Hilfsgrafiken bestimmt. Dieses Verfahren wurde im Forschungsprojekt FA 10/90 entwickelt [1]. Die Anwendung von Hilfsgrafiken hat zu einer deutlichen Besserung der Reproduzierbarkeit geführt. Diese Methode muss im Rahmen der Harmonisierung europäischer Prüfmethoden durch ein Verfahren der EN 12697-11 [4] ersetzt werden.

2.2 Verfahren EN A; Flaschen-Rollverfahren

Das Verfahren A gemäss EN 12697-11:2005 [4] ist ein dynamischer Wasserlagerungstest. Bitumenumhüllte Gesteinskörner werden in einer rotierenden Flasche während 24 Stunden bei Raumtemperatur geprüft. Die Mischtemperatur und die Rotationsgeschwindigkeit werden der Bitumenhärte angepasst. Die Affinität wird durch visuelle Beurteilung des Umhüllungsgrades nach Beanspruchung durch mechanisches Rühren in Anwesenheit von Wasser angegeben. Der Umhüllungsgrad wird zuerst nach einer Rolldauer von 6 Stunden und zum Schluss nach 24 Stunden geschätzt. Die visuelle Auswertung ist ähnlich wie in der SN, aber ohne die Verwendung von Hilfsgrafiken.

Das Verfahren wurde im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes im Labor mit unterschiedlichen Bitumen und Gesteinskörnungen erprobt.

2.3 Verfahren EN B; statisches Prüfverfahren

Das EN Verfahren B beinhaltet eine statische Wasserlagerung, die jedoch bei 19°C zwei Tage dauert. Die Mischtemperatur beträgt 130°C unabhängig davon, welche Bitumensorte geprüft wird. Es wird die Anzahl nicht vollständig umhüllter Mineralstoffkörner bestimmt. Wenn drei oder weniger Körner nicht vollständig umhüllt sind, ist die Prüfung abgeschlossen. Bei mehr als 3 nicht umhüllte Körner ist mit drei weiteren Proben die Prüfung zu wiederholen. Diese Prüfmethode liefert keinen Umhüllungsgrad sondern nur ein Kriterium, ob die Umhüllung vollständig ist oder nicht. Falls nicht, ist die Mineralstoff-Bitumenkombination ungeeignet.

Das Verfahren wurde im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes im Labor mit unterschiedlichen Bitumen und Gesteinskörnungen erprobt.

2.4 Verfahren EN C; Ablösen in siedendem Wasser

Das EN Verfahren C ist ebenfalls eine statische Prüfmethode, jedoch wird die Wasserlagerung bei höherer Temperatur (100°C) und in kürzerer Zeit (10 min) durchgeführt. Die Auswertung erfolgt nicht visuell, sondern der Anteil der nicht mit Bitumen bedeckten Mineralstoffoberfläche wird durch eine chemische Reaktion mit Salz- oder Flusssäure bestimmt. Das Prinzip ist einfach, die Säure reagiert mit der nicht mit Bitumen bedeckten Mineralstoffoberfläche und der Verbrauch an Chemikalien wird danach durch Titration der Säurelösung bestimmt. Voraussetzung ist, dass dieses chemische Reagens proportional zur freien Oberfläche reagiert. In der Regel muss für jede Gesteinsart eine Eichkurve gemessen werden, da je nach Petrographie die Reaktion etwas anders verläuft.

Das Verfahren hat den Vorteil, dass es dank der Titration zu einem messbaren objektiven Ergebnis führt, im Gegensatz zu den anderen Auswerteverfahren, wo die Umhüllung visuell geschätzt wird. Die visuelle Schätzung beinhaltet eine gewisse Subjektivität, da jeder Prüfer sein eigenes Ableseverfahren entwickelt.

Die Nachteile dieses Verfahrens überwiegen jedoch: Das Verfahren ist sehr zeitaufwendig, da für jede neue Bindemittel/Gesteinskörnung Kombination sechs Ablösungsprüfungen erforderlich sind. Zwei weitere Ablösungsprüfungen sind für die Berechnung des Umhüllungsgrades vorgesehen. Das sind insgesamt acht Titrations pro Bindemittel/Gesteinskörnung Kombination. Ausserdem ist das Arbeiten mit Flusssäure nach Ansicht der Autoren zu gefährlich für Mitarbeiter von Strassenbaulaboratorien, die in der Regel keine ausreichende chemische Ausbildung besitzen.

Aus diesen Gründen wurde das Verfahren C im vorliegenden Forschungsprojekt nicht in Betracht gezogen.

2.5 Zusammenfassung

Der Vergleich der verschiedenen Methoden zeigt, dass die SN Methode eine Kombination der EN-Verfahren A und B ist. Die Wasserlagerung erfolgt wie beim Verfahren B statisch, jedoch bei einer viel höheren Temperatur. Die Auswertung hingegen ist ähnlich wie im Verfahren A, mit dem Unterschied, dass keine Hilfsgrafiken verwendet werden. Neben den grundsätzlichen Unterschieden sind auch die Temperaturen für die Umhüllung der Mineralstoffe mit Bitumen sowie das Bitumen-Mineralstoffverhältnis verschieden. Dieses Verhältnis bestimmt die Dicke des Bitumenfilms um das Mineralstoffkorn. Eine dickere Bitumenschicht ist in der Regel ein besserer Schutz gegenüber dem Eindringen von Wasser. Die Grösse der Mineralstoffkörner variiert, ist aber in der EN nicht fest vorgeschrieben.

Die Tabelle 1 fasst die wichtigsten Parameter der vier Prüfverfahren zusammen.

Tab. 1 > Vergleich der verschiedenen Prüfmethoden.

Die drei EN Prüfverfahren A, B und C werden untereinander und mit dem bisherigen Schweizerischen Prüfverfahren verglichen.

	EN 12697-11:2005 AC 2007 [4]			SN 670460 [7]
	Verfahren A (Flaschen- Rollverfahren)	Verfahren B (Statisches Prüfverfahren)	Verfahren C (Prüfverfahren des Ablösens in siedendem Wasser)	(Statisches Prüfverfahren)
Umhüllen der Mineralstoffe				
Bindemittelanteil	16 g (3.1%)*	4% (+0.5% falls nicht vollständig umhüllt)	32.1 g (2.1%)*	8 g (5.3%)
Körnung der Mineralstoffe	8/11.2 (5.6/8, 6.3/10)	6/10	7/14	8/11.2
Mischtemperatur	EN 12697-35 + 25°C [6]	130°C	EN 12697-35 [6]	EN 12697-30 [5]
Mineralstoffmenge pro Probe	150 g	150 Körner	1500 g	150 g
Anzahl Proben	3	1 (+3)	2+6 für Eichkurve	2
Wasserlagerung				
Wassertemperatur	15 - 25°C	19°C	100°C	60°C
Lagerungsdauer	6 + 18h	48h	10 min	60 min
Auswertung				
Beurteilung	visuell an feuchten Körnern durch 2 Prüfer	visuell an getrockne- ten Körnern	Titration der Säurelösung	visuell unter Wasser mit Hilfe von Abbildungen
Resultat	Umhüllungsgrad auf 5% gerundet	Anzahl Körner mit unvollständiger Umhüllung	Umhüllungsgrad auf 1% gerundet	Umhüllungsgrad auf 1% gerundet
* für eine Mineralstoffdichte von 2650 kg/m ³				

3 Baustoffe

Es wurden möglichst unterschiedliche Bitumen und Gesteinskörnungen eingesetzt. Das Bitumen-Assortiment wurde während dem Projekt erneuert. Zur Validierung des ausgewählten Prüfverfahrens wurde zusätzlich noch Haftvermittler angewendet.

3.1 Bitumen

3.1.1 Bitumen für das Erproben der Verfahren A und B

Die Bitumen für das Erproben der Verfahren A und B stammen aus Beständen der Forschungsstellen. Deren Penetration und Erweichungspunkt Ring und Kugel wurden im Rahmen des aktuellen Projekts neu ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 zusammengefasst.

Tab. 2 > Bitumen für das Erproben der Verfahren A und B.

Normierte Beschreibung der Bitumensorten und gebräuchliche viskoelastische Eigenschaften.

Bitumensorten	Kurzbezeichnung	Quelle	Penetration [0,1 mm]	Erweichungstemperatur [°C]	Penetrationsindex [-]
SN Standard 80/100	B SN	EMPA			
10/20	B hart	IMP	17	72.8	0.9
160/220	B weich	IMP	182	40.8	-0.1
PmB 10/30-70	PmB hart	IMP	35	70.8	2.1
PmB 70/100-65	PmB weich	EMPA	95	65	

Diese Bitumen wurden im Laufe der Arbeit durch ein handelsübliches neues Assortiment ersetzt.

3.1.2 Bitumen für die Validierung des Verfahrens B

Die Bitumen für die Validierung des Verfahrens B wurden bei einem regionalen Bitumenanbieter bezogen. Die Untersuchungsergebnisse dieser Bitumen sind aus Tab. 3 zu entnehmen. Das Bitumen 70/100 ist als neues Referenzbitumen für das zukünftige Prüfverfahren vorgesehen.

Tab. 3 > Bitumen für die Validierung des Verfahrens B.

Normierte Beschreibung der Bitumensorten und gebräuchliche viskoelastische Eigenschaften.

Bitumensorten	IMP-Nr.	Penetration [0,1 mm]		Erweichungstemperatur [°C]		Penetrationsindex [-]	
		ist	soll	ist	soll	ist	soll
50/70	07-05227-001	56	50...70	50.7	46...54	-0.7	-1.5...0.7
70/100	07-05227-002	86	70...100	47.2	43...51	-0.6	
160/220	07-05227-003	149	160...220	42.8	35...43	-0.1	
PmB E 25/55-65	07-05227-004	47	25...55	63.5	> 65	1.6	keine Anforderungen
PmB E 65/105-60	07-05227-005	91	65...105	75.0	> 60	5.5	
PmB C 25/55-55	07-05227-006	48	25...55	58.8	> 55	0.7	
PmB C 45/80-50	07-05227-007	63	45...80	55.9	> 50	0.8	

Aus den Penetrationswerten und Erweichungstemperaturen ist zu entnehmen, dass das Bitumen 160/220 etwas härter ist als erwartet. Das Polymerbitumen E 25/55-65 ist auf-

grund einer relativ tiefen Erweichungstemperatur weicher als erwartet. Beide Abweichungen von den Normanforderungen werden für die bevorstehende Validierung als annehmbar betrachtet.

3.2 Gesteinskörnungen

Es wurde eine breite Auswahl an Gesteinskörnungen mit unterschiedlichen geologischen Provenienzen gesammelt. Einige davon sind kalkreich und der Umhüllungsgrad gemäss SN 670 460 liegt über 80%. Andere sind quarzreich mit einem Umhüllungsgrad unter 50%.

Tab. 4 > Gesteinskörnungen.

Herkunft und Petrographie der unterschiedlichen Gesteinskörnungen.

Bezeichnung	IMP-Nr.	Steinbruch/Kiesgrube	Petrographie	Umhüllungsgrad gemäss SN [%]
M1		Ambrosini (Lodrino TI)	Granitischer Gneis	34*
M2		St-Léonard (VS)	Quarzite	22*
M3	07-04583-007	Gasperini (Attinghausen UR)	Alpine Kalke	
M4	07-04583-003	Balmholz (Sundlauenen BE)	Alpine Kalke	84*
M5	07-04583-004	Comibit (Sigirino TI)	Kalke/Dolomite	
M6	07-04583-002	Aebisholz (Oensingen SO)	Alluvialkiese	
M7		EMPA Referenzmischung		
M8	07-04583-005	Weiach (ZH)	Alluvialkiese	
M9	07-04583-006	Oldis (Haldenstein GR)	Alluvialkiese	
M10	07-04583-001	Bartenheim (F)	Alluvialkiese	
M11	08-06102-003	Farrirola (Filisur GR)	Quarzporphyr	26**

* EMPA interne Untersuchung; **IMP interne Untersuchung

Die EMPA Referenzmischung M7 ist in Tab. 5 beschrieben.

Tab. 5 > Empa-Referenzmischung.

Die Empa-Referenzmischung setzt sich aus gleichen Teilen von fünf Referenzmineralstoffe zusammen [1]

Empa-Code	Steinbruch	Umhüllungsgrad gemäss SN	Anteil harte/weiche Körner [Masse-%]	Petrographie
RM3105-02	Ambrosini, Castione	34%	2 / 0	Quarzit, Quarzsand
RM3105-03	Arvel	89%	84 / 0	Kieselkalk
RM3105-04	Balmholz	84%	88 / 0	Kieselkalk
RM3105-05	St. Léonhard (VS)	22%	99 / 1	Quarzit
RM3105-06	Massongex	86%	94 / 0	Quarzsandstein

Die Referenzmineralstoffe Ambrosini (M1), St. Leonhard (M2) und Balmholz (M4) wurden auch in diesem Projekt als Einzelkomponenten verwendet

3.3 Haftmittel/Haftvermittler

Für die Untersuchungen wurde das Haftmittel Bithaftin (Hydrior AG, Wettingen) in flüssiger und fester Form verwendet, das in der Schweiz und Süddeutschland stark verbreitet ist.

4 Erproben der Verfahren A und B

Die normgetreue Durchführung der Prüfverfahren hat mehrere Fragen und Stolpersteine zum Vorschein gebracht. Daher wurden Reihenuntersuchungen durchgeführt um - gestützt auf deren Ergebnisse - die Norm auf CEN TC227 Ebene zu verbessern und den Schweizer Bedürfnissen anzupassen.

4.1 Durchführbarkeit und Aussagekraft

4.1.1 Verfahren A

Die normgerechten Mischtemperaturen für Strassenbaubitumen und Polymerbitumen entsprechen denjenigen Temperaturen die in EN 12697-35 für Labormischungen definiert sind plus 25 °C. Demzufolge gelten für Strassenbaubitumen Mischtemperaturen, so wie sie in Tab. 6 angegeben sind.

Tab. 6 > Mischtemperaturen für Strassenbaubitumen.

Die EN 12697-11 bezieht sich auf die EN 12697-35 für die Wahl der Mischtemperaturen in Abhängigkeit der Bindemittelsorte. Das Prüfverfahren A erfordert Mischtemperaturen die diejenigen aus der EN 12697-35 um 25 °C überschreiten.

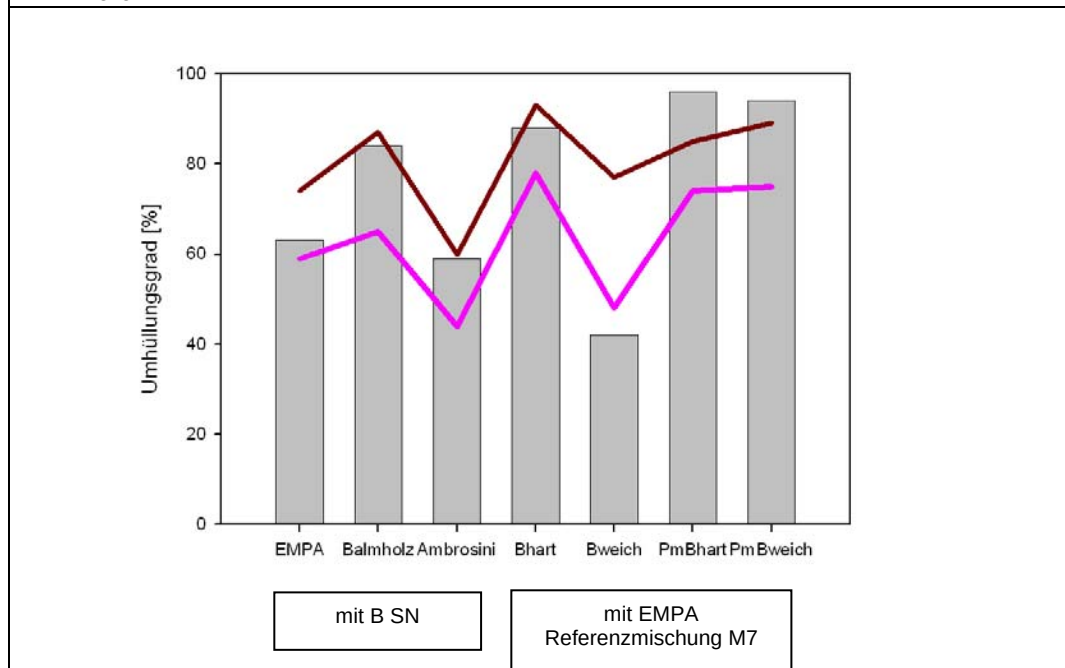
Bitumensorte	Mischtemperatur nach EN 12697-35 [°C]	Mischtemperatur nach EN 12697-11 A [°C]
10/20	nach Angaben des Herstellers	T + 25
20/30	180	205
35/50	165	190
50/70	150	175
70/100	145	170
100/150	140	165
160/220	135	160
250/330	130	155

Für Polymerbitumen schreibt die Norm EN 12697-35:2004+A1:2007: „Bei Mischgütern, die modifizierte Bindemittel enthalten, muss die Bezugstemperatur so gewählt werden, dass das Bindemittel eine Viskosität nach EN 12595 hat, die den in Tabelle 1 angegebenen entspricht.“. Unserer Meinung nach ist die EN 12595 nicht anwendbar für Polymerbitumen. Einen zukünftigen Revisionsvorschlag (eine Revision ist frühestens im Jahr 2012 möglich) der CEN Kommission TC227 WG1 sieht für Polymerbitumen folgenden Text vor: « ..., the reference compaction temperature for mixtures with modified binders or other additives shall be indicated by suppliers.». Demzufolge, wurde für polymermodifizierte Bitumen beschlossen, die Mischtemperatur so zu wählen, dass sie den Angaben der Hersteller entspricht.

Die Aussagekraft des Verfahrens A wurde durch einen Vergleich der Ergebnisse EN A und SN geprüft. Die Mischtemperatur beträgt 160°C für das Bitumen 160/220 und 170°C für das Standardbitumen 80/100. Das harte Bitumen 10/20 und die Polymerbitumen hart und weich wurden auf 215°C bzw. 195°C und 190°C erhitzt. Diese Temperaturen entsprechen den Angaben der Hersteller plus 25°C. Die visuelle Beurteilung erfolgt mit Hilfe der graphischen Vorlage aus der Schweizer Norm (siehe Tab. 8). In Abb. 1 werden die Ergebnisse nach 6 Std und 24 Std mit denen der SN verglichen.

Abb. 1 > Verfahren A versus Dauer der Wasserlagerung.

Affinität nach EN A (Linien) und nach SN (Balken) mit Bitumen 80/100. Mischtemperatur EN A nach EN 12697-35 + 25 °C (zwischen 160 und 215 °C). Dunkelrote Linie: Umhüllungsgrad nach 6 Std; Rosarote Linie: Umhüllungsgrad nach 24 Std.



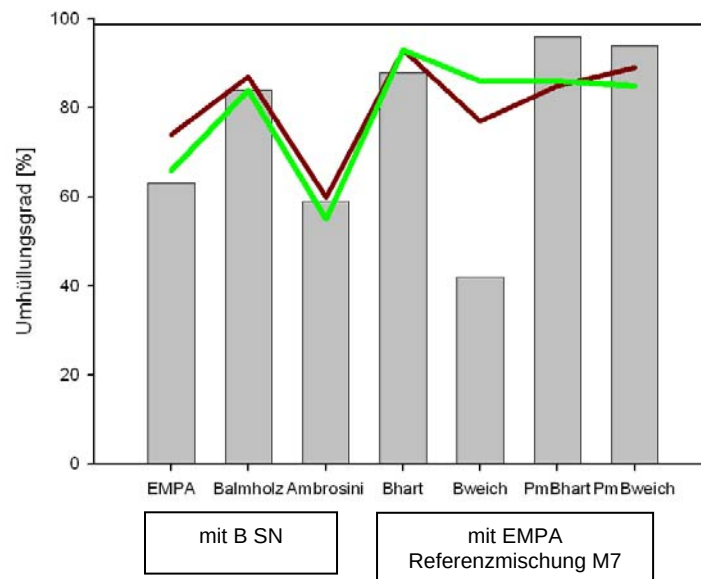
Grob betrachtet ist eine gute Korrelation zwischen den SN und EN A Ergebnisse vorhanden. Zwei Besonderheiten fallen jedoch auf:

- Die nach SN Verfahren ermittelte Affinität des Bitumen B weich und der Standardgesteinskörnung hat einen sehr tiefen Wert. Der Grund dafür ist offensichtlich die Tatsache, dass der Erweichungspunkt des weichen Bitumens (ca. 40 °C) unterhalb der Temperatur des Wasserbades (60 °C) liegt. Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass das Schweizer Verfahren sich nicht für weiche Bitumen eignet.
- Die Ergebnisse nach EN A mit den beiden PmB liegen tiefer als zu erwarten wäre. Zum Beispiel, ist das Ergebnis mit dem Bindemittel „PmB hart“ etwa gleich wie dasjenige des Strassenbaubitumens „B hart“ obwohl erfahrungsgemäss PmB eine bessere Adhäsion aufweisen.

Die Messreihe wurde mit tieferen Mischtemperaturen wiederholt (ohne den Temperaturzuschlag von 25°C) um abzuklären, ob „übliche“ Labormischtemperaturen zu einem ähnlichen Ergebnis führen. Die Ergebnisse EN A nach 6 Stunden Wasserlagerung und Rotation sind für die beiden Temperaturbereiche (T+25 und T) in Abb. 2 dargestellt.

Abb. 2 > Verfahren A versus Mischtemperaturen.

Affinität nach EN A (Linien) und nach SN (Balken) mit Bitumen 80/100. Die Werte EN A entsprechen dem Ergebnis nach 6 Std. Dunkelrote Linie: Mischtemperatur nach EN 12697-35 + 25 °C (zwischen 160 und 215 °C); grüne Linie: Mischtemperatur nach EN 12697-35 (zwischen 135 und 190 °C).



Der Temperatur-Zuschlag hat einen günstigen Einfluss auf die Umhüllung mit dem Standardbitumen 80/100: der Umhüllungsgrad liegt im Schnitt 5% höher. Auf die Umhüllung mit dem Bitumen 10/20 (B hart) haben Mischtemperaturen von 190°C oder 215°C keinen Einfluss auf das Ergebnis. Beim weichen Bitumen 160/220 (B weich) hingegen beeinflusst die Mischtemperatur das Ergebnis. Die Polymerbitumen sind von der Temperaturänderung nicht betroffen. Über alle Bindemittel betrachtet, hat der Zuschlag von + 25 °C keinen nennenswerten Einfluss auf die gemessene Affinität. Es stellt sich die Frage, warum die EN einen solchen Temperatur-Zuschlag eingeführt hat. Wir sind der Meinung, dass man auf den Zuschlag von 25°C bei der Mischtemperatur verzichten kann.

4.1.2 Verfahren B

Die Vergleichsmessungen beim Verfahren B wurden mit zwei Temperatur-Varianten durchgeführt:

- Genau nach Norm, mit einer festgelegten konstanten Mischtemperatur von 130°C.
- Norm abweichend, indem die Mischtemperaturen nach EN 12697-35 angewendet wurden.

Die Ergebnisse sind in Tab. 7 zusammengefasst.

Tab. 7 > Affinität nach dem Verfahren B versus Mischtemperatur.*Ermittlung der Affinität nach dem statischen Verfahren B; die roten Zellen deuten auf Klumpenbildung.*

Bitumen	Gesteinskörnung	Anzahl nicht umhüllte Körner	
		T = 130 °C	T = 135 ... 180 °C
SN Standard 80/100	EMPA	12	0
SN Standard 80/100	Balmholz	8	0
SN Standard 80/100	Ambrosini	7	0
10/20	EMPA		0
160/220	EMPA	25	5
PmB 10/30-70	EMPA		0
PmB 70/100-65	EMPA		0

Für „B hart“, „PmB weich“ und „PmB hart“ ist die Mischtemperatur von 130°C zu niedrig. Die Körner kleben und es bilden sich Klumpen. Beim Verfahren B sieht die EN 12697-11 vor, die Bitumenmenge zu erhöhen, falls die Körner nicht vollständig umhüllt werden können. Bei hochviskosen Bindemitteln nützt dies nichts. Die Auswertung Korn für Korn ist in diesen Fällen trotz Erhöhung der Bindemittelmenge nicht möglich. Bei den anderen Versuchen fällt auf, dass das Verfahren B die petrographisch sehr unterschiedlichen Gesteine Balmholz (kalkreich) und Ambrosini (quarzreich) nicht unterscheiden kann.

Wird die Mischtemperatur der Bitumenqualität angepasst so können die Körner zwar klumpenfrei umhüllt werden, doch es wird eine ungenügende Empfindlichkeit der Messmethode beobachtet. Die angewandte thermo-chemische Beanspruchung (Wasser, 19°C) zeigt bei den 5 Bitumen und den 3 Gesteinskörnungen keine Affinitätsunterschiede, mit Ausnahme betreffend das weiche Normalbitumen 160/220.

Das Verfahren B ist ohne umfassende Verbesserungen der Norm für die Bestimmung der Affinität nicht geeignet.

4.2 Verbesserungen

4.2.1 Mischtemperatur

Die Mischtemperatur, bei der die Gesteinskörner mit Bitumen umhüllt werden, ist in allen drei EN-Verfahren unterschiedlich. Während in Methode B eine für alle Bitumensorten konstante Temperatur von 130°C verwendet wird, sind in Methode A und C die Mischtemperaturen von der Bindemittelhärte (Penetration bei 25°C) abhängig. Methode C verwendet die in EN 12697-35 (Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 35: Labormischung) angegebenen Temperaturen, während Methode A eine um 25°C höhere Temperatur vorschreibt. Die Erprobung des statischen Verfahrens B hat gezeigt, dass eine Mischtemperatur von 130°C für harte Bitumen und Polymerbitumen zu tief ist und keine vollständige Umhüllung ermöglicht. Die Erprobung des Flaschen-Rollverfahrens A hat gezeigt, dass ein Zuschlag von 25°C bei der Mischtemperatur keine Verbesserung der Prüfmethode mit sich bringt.

In beiden Fällen, hat die Schweiz Verbesserungsvorschläge in die CEN-Kommission eingebracht.

4.2.2 Prüftemperatur

Die in dem EN-Verfahren B vorgegebene Prüftemperatur von 19°C ist auch bei einer Prüfdauer von 48 h ungenügend. Andererseits wird die in der SN definierte Prüftempe-

ratur von 60°C als zu hoch betrachtet, da sie für viele Bindemittel über ihrem Erweichungspunkt Ring und Kugel liegt. Deshalb wurde beschlossen, eine geeignete Temperatur dazwischen zu ermitteln (siehe Kap. 4.2) und diese der CEN Kommission zu unterbreiten.

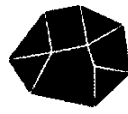
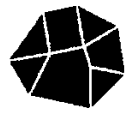
4.2.3 Auswertung mit graphischen Vorlagen

Beim Auswerteverfahren des Umhüllungsgrades nach EN B wird nur zwischen vollständig und nicht vollständig umhüllten Mineralstoffkörnern unterschieden. Das Ergebnis ist die Anzahl an nicht vollständig mit Bindemittel umhüllten Gesteinskörnern. Mit dieser Auswertemethode und einer Wasserbadtemperatur von 19°C sind zwar alle Ergebnisse gut aber eine qualitative Unterscheidung zwischen verschiedene Kombinationen von Gestein und Bitumen ist nicht möglich. Wird die Wasserbadtemperatur erhöht (Absatz 5.3) springt das Ergebnis von 0/150 auf 150/150 nicht vollständig umhüllte Körner. Die Bildung einer Rangfolge von Mineralstoffe und Bitumen anhand ihres Umhüllungsgrades ist bei dieser Prüfmethode nicht möglich.

Aus der langjährigen Erfahrung hat sich gezeigt, dass die im Forschungsprojekt [1] entwickelten grafischen Vorlagen (Tab. 8) und das zugehörige Auswerteverfahren, sich gut bewährt haben. Es wird versucht, diese Auswertungsmethode auf europäischer Ebene einzuführen.

Tab. 8 > Graphische Skala für die Auswertung.

Graphische Darstellung von teilumhüllten Körnern mit dem zugehörigen Umhüllungsgrad.

						
100%	95%	90%	80%	60%	40%	20%

Nach [1]

Ergänzungen zu den graphischen Darstellungen in Tab. 8 sind in Tab. 9 gelistet.

Tab. 9 > Ergänzende Bemerkungen zu den graphischen Darstellungen.

Umhüllungs-grad	Erläuterungen
100%	Das Mineralkorn ist vollständig umhüllt und die Kanten sind nicht durchscheinend.
95%	Das Mineralkorn ist vollständig umhüllt, die Kanten sind leicht durchscheinend.
90%	Das Mineralkorn ist vollständig umhüllt, die Kanten sind jedoch deutlich erkennbar und frei von Bitumen
80%	Neben den Kanten sind kleinere Flächen frei von Bitumen.
60%	Grössere Flächen sind bitumenfrei, die umhüllten Flächen sind aber grösstenteils zusammenhängend.
40%	Es ist kein zusammenhängender Bitumenfilm mehr vorhanden, grössere Bitumenflecken sind aber noch vorhanden.
20%	Es sind nur noch kleinere Bitumenflecken erkennbar.

4.3 Formale CEN TC 227 Änderungsanträge

Es wird prinzipiell versucht, die gewonnene Erfahrung mit den Verfahren A und B in die Norm EN 12697-11 einzuarbeiten. Im Hinblick auf das Schweizer Interesse das statische Verfahren weiter anzuwenden - damit die Labors das Flaschen-Rollverfahren nicht zwingend einführen müssen - wird während diesem Prozess ganz speziell darauf geachtet, das Verfahren B dem Schweizer Verfahren anzupassen.

Die CEN TC 227 hat insbesondere die Hilfsgrafiken (Tab. 8) für beide Verfahren A und B als Anhang in die Norm integriert. Änderungsvorschläge bezüglich Misch- und Wasserbadtemperatur wurden auch besprochen und formal aufgenommen. Die ausführlichen Änderungsanträge sind im Anhang 1 angefügt.

5 Validierung des modifizierten Verfahrens B

In dieser Phase 2 geht es um die Erhebung der Umhüllungsgrade für einen repräsentativen Querschnitt von Mineralstoffen in der Schweiz. Zudem soll bei der Referenzmineralstoffmischung der Einfluss des Bindemittels und die Wirksamkeit eines Haftmittels beurteilt werden. Da die EN-Methoden noch nicht als definitiv erklärt wurden, sollen allfällige Verbesserungsmöglichkeiten und Vereinfachungen der Prüfmethode untersucht werden.

5.1 Prüfbedingungen

5.1.1 Modifikationen des Verfahrens B

Die Validierung wurde an der modifizierten Methode B, die wie vorgängig erläutert, folgende Modifikationen aufweist:

- Die Bitumenmenge beträgt fix 4 Masse-% der Gesteinskörnung
- die Untersuchung wird an 2 anstelle von 4 Proben durchgeführt
- genau 150 Körner der Körnung 8/11 anstelle von 6/10
- Mischtemperatur gemäss EN 12697-35 mit Abzug von 15 °C anstelle von fix 130 °C
- Prüftemperatur Wasser = 40 ± 0.5 °C anstelle von 19 °C
- Neben 48 h zusätzliche Auswertung nach 6 und 24 h
- Auswertung der Prüfung gemäss SN mit Hilfe von Hilfsabbildungen und Berechnung des Umhüllungsgrades

5.2 Untersuchung zusätzlicher Parameter

Eine praxistaugliche Prüfmethode sollte möglichst wenig Zeit benötigen, aber doch eine gute Wiederholbarkeit und Differenzierung der Resultate ermöglichen. Aus diesem Grunde wurde die Prüfdauer und die Zahl der Mineralstoffkörner näher betrachtet, da diese einen massgebenden Einfluss auf den zeitlichen Aufwand der Prüfung haben. Auch die Frage, ob eine Wägung die aufwändigere Zählung von 150 Körnern ersetzen kann, sollte beantwortet werden.

5.2.1 Masse der Gesteinskörner

Die Prüfung sollte möglichst unter gleichen Bedingungen stattfinden, insbesondere sollte der Bitumenfilm gleich dick sein. Da sich die Form der Körner (8/11) und ihre Dichte je nach Mineralstoffherkunft und Petrographie ändern, ist die Anzahl der Körner unterschiedlich, wenn eine definierte Masse eingewogen wird. Es wurde deshalb vorgeschlagen, jeweils 150 Körner auszuzählen, damit immer die gleiche Anzahl getestet wird. Da dies gegenüber einer Wägung aber einen zeitlichen Mehraufwand bedeutet, stellte sich die Frage, ob dieser berechtigt ist. In einigen Versuchen wurden deshalb die Masse der 150 ausgezählten Körner untersucht.

Tab. 10 > Variationsbereich der Masse von 150 Körner der Fraktion 8/11.*Untersuchung der Masse von 150 Gesteinskörnern an unterschiedlichen Gesteinssorten.*

Mineralstoff	Anzahl Proben	Minimum [g]	Maximum [g]	Mittelwert [g]	Differenz [g]
M1	2	177.9	190.1	184.0	12.2
M2	2	184.9	198.5	191.7	13.6
M3	2	168.5	188.3	178.4	19.8
M4	2	196.0	198.5	197.3	2.5
M5	2	187.6	195.1	191.3	7.5
M6	2	167.6	187.0	177.3	19.4
M7	10	164.2	178.6	170.9	14.4
M8	2	174.5	187.4	181.0	12.9
M9	4	188.8	203.2	195.7	14.4
M10	4	209.2	213.2	211.1	4.0

In der gesamten Untersuchung mit 10 Gesteinssorten und 32 Proben (Tab. 10) bewegt sich die Masse der 150 Mineralstoffkörner in einem Bereich zwischen 164 und 213 g. Solche Variationen der Masse beruhen auf unterschiedliche Korngrößenverteilungen und Gesteinsdichten. Die Bitumenmenge wird an die Masse der Probe angepasst, da das Bindemittel in Masse-% zudosiert wird.

Betrachtet man nun die 10 Gesteinssorten, kann die Gesteinsdichte grob (es wurden in der Regel nur zwei Proben untersucht) über den Mittelwert abgeschätzt werden (vorausgesetzt die statistische Korngrößenverteilung ist von der Gesteinsherkunft unabhängig). Die mittlere Masse der Gesteinssorten variiert zwischen 171 und 211 g für 150 Körner. Umgerechnet ergeben diese Zahlen zwischen 132 und 106 Körner pro 150 g. Demzufolge, ob 150 Körner oder 150 g, das Problem ist dasselbe: ohne Berücksichtigung der Gesteinsdichte sind die dichteren Gesteinssorten mit einer dickeren Bitumenschicht umhüllt als die weniger dichten.

5.2.2 Effektiver Bindemittelanteil

Für die Prüfung ist es wichtig, dass der Bindemittelfilm auf den Körnern möglichst gleich dick ist. Dazu müssten prinzipiell die Oberfläche, die Dichte und die Porosität der Mineralstoffkörner bekannt sein. Gesteinskörnungen der Schweiz weisen allgemein eine geringe Porosität auf, weshalb dieser Effekt vernachlässigt werden kann. Der Bindemittelanteil betrug in der alten Schweizer Norm 5.3 (Masse-%) während in der Methode B der aktuellen EN Version 4.0% verwendet werden.

Die Gesteinsdichte könnte besser berücksichtigt werden, wenn die zudosierte Menge Bitumen in Volumen-% anstelle der üblichen Masse-% gemessen würde. Als einfache Lösung schlagen wir vor, die Bitumendosierung wie folgt festzulegen:

- Bei einer Dichte der Gesteinskörnungen von 2650 ... 2750 kg/m³ beträgt der Bindemittelanteil 4.0 M.-%,
- Bei anderen Dichten beträgt der Bindemittelanteil = 4.0 (2700/Gesteinsdichte) M.-%.

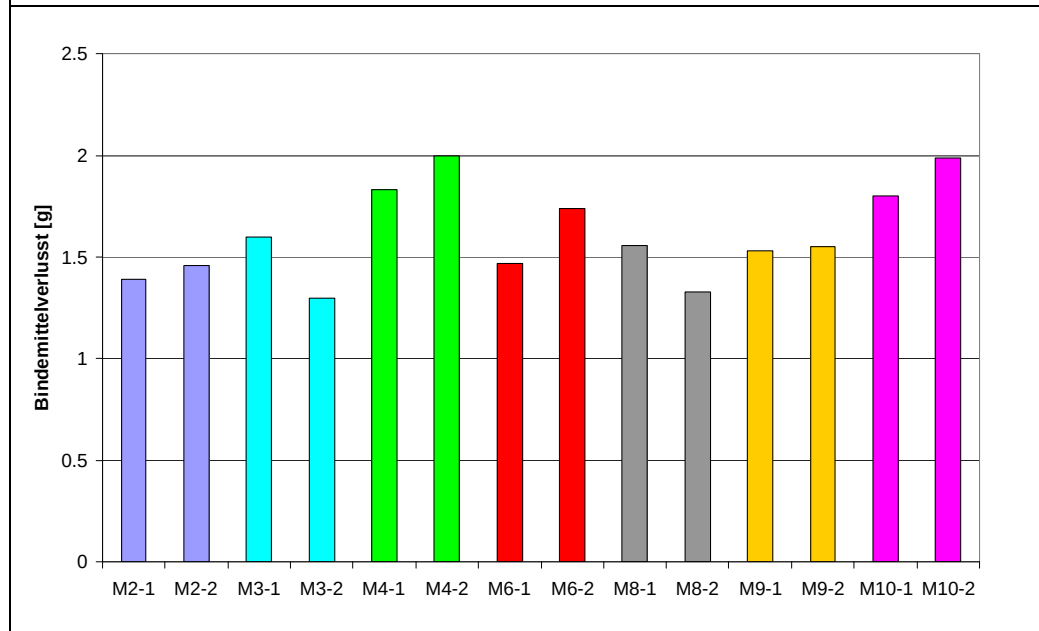
Gewisse Gneise aus der Süd-Ost-Schweiz besitzen eine Dichte von 3000 kg/m³. In einem solchen Beispiel würde man den Bindemittelanteil auf 3.6 M.-% reduzieren.

Es ist auch zu berücksichtigen, dass nicht alles Bitumen, das eingewogen wird, für die Umhüllung der Mineralstoffe zur Verfügung steht. Ein nicht zu unterschätzender Teil

bleibt im Mischgefäss zurück. Für die Bestimmung des effektiven Bindemittelanteils wurde die Menge an Bitumen, das in der Mischschale zurückbleibt bestimmt.

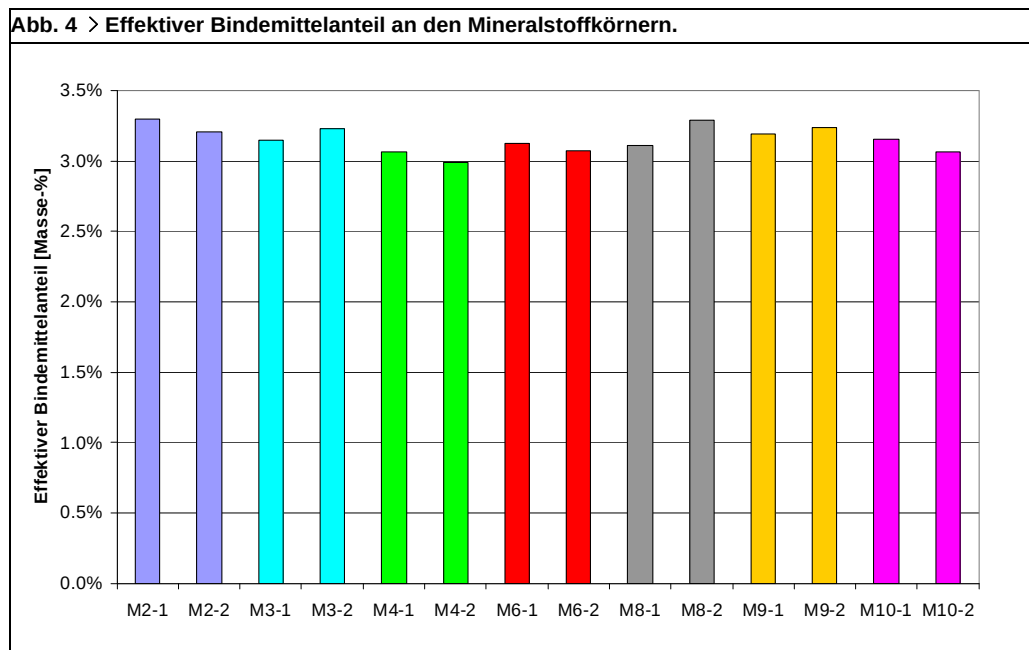
Abb. 3 > Bindemittelverlust im Mischgefäss.

Nach dem Mischen von Bitumen und Mineralstoffkörnern bleibt ein Teil des Bitumens im Mischgefäss zurück.



Da die zugegebene Bindemittelmenge von der variablen Masse der 150 Mineralstoffkörner abhängt, müssen die Bindemittelverluste bezüglich zugegebener Bitumenmenge betrachtet werden. Der prozentuale Bindemittelverlust beträgt beachtliche 20 - 30 Masse-% und führt zu einem relativ konstanten Bindemittelgehalt der Mischung von 3.0 bis 3.3 Masseprozent. Je grösser das Mischgefäss desto grössere Verluste sind zu erwarten. Deshalb sollte das Mischgefäss nicht zu gross gewählt werden. Andererseits wird das Mischen in kleinen Gefässen schwieriger, was die Mischzeit durch das vorsichtiger Mischen verlängert. Ausserdem ist darauf zu achten, dass die Mischung während des Mischens nicht stark abkühlt, da sonst der im Mischgefäss anhaftende Bindemittelfilm dicker wird.

Die Autoren empfehlen eine angemessene Grösse des Mischgefässes und eine Vermeidung des Abkühlens während des Mischens durch kurze Mischzeit oder durch Heizen des Mischgefässes in einem Sandbad.



In Abb. 4 ist zwischen gewissen Mineralstoffen ein Unterschied ersichtlich, allerdings reichen die zwei Proben für eine gesicherte Aussage nicht aus. Dieser Effekt müsste eventuell genauer untersucht werden.

5.2.3 Grösse der Glasschalen für die Bestimmung des Umhüllungsgrades

Die Anzahl auszuwertender Körner hat einen direkten Einfluss auf die zu verwendende Grösse der Kristallisierschale. Nach alter SN wurden 150 g Mineralstoffe verwendet, was etwa 120 Mineralstoffkörnern entspricht. Die Wasserlagerung und Auswertung erfolgte in einer Schale von 110 – 125 mm Durchmesser. Dabei war es nicht möglich, dass alle Körner nebeneinander lagen. Einige Körner lagen immer übereinander und wurden deshalb bei der Auswertung in der Regel nicht berücksichtigt. Nach EN werden nun 150 Mineralstoffkörner ausgewertet, wodurch bei dieser Schalengrösse noch mehr Körner übereinander zu liegen kommen. In der EN wird deshalb eine Schale mit einem Fassungsvermögen von 1.5 l verlangt. Diese Grösse ist im Handel jedoch nicht erhältlich, weshalb für diese Versuche die nächst grössere Schale mit einem Volumen von 2.4 Litern verwendet wurde.

Tab. 11 > Geometrie der handelsüblichen Kristallisierschalen.

Unterschiedliche im Handel erhältliche Kristallisierschalen für die Wasserlagerung und Auswertung.

Aussendurchmesser [cm]	Wanddicke [cm]	Höhe [cm]	Fläche [cm²]	Volumen [l]	Bemerkung
11.5	0.2	6.5	100	0.6	nach SN
14.5	0.2	7	161	1.1	Für Versuche mit Bitumen verwendet
19	0.2	9	278	2.4	Für Versuche mit Gesteinskörnungen verwendet

Wie in Abb. 5 zu sehen ist, sind bei der grossen Schale die Körner gut voneinander getrennt und auch zwischen den Körnern ist genügend freier Platz vorhanden. Dies erleichtert die Auswertung; insbesondere kann darunter ein Raster gelegt werden, was die Orientierung verbessert. Es hat sich gezeigt, dass bei grossen Schalen die Orientie-

rung schneller verloren geht. Je nach Prüfer werden aber andere Hilfsmittel bevorzugt, sei es das erwähnte Raster, eine Abdeckung die einen Viertel offen lässt oder gar keine.

Abb. 5 > Auswertung in der grossen Schale mit Hilfe eines Rasters.



Grössere Schalen erleichtern die Auswertung deutlich, insbesondere wenn zusätzlich ein Raster verwendet wird, um die Orientierung nicht zu verlieren. Dabei ist wichtig, dass die Schale gross genug ist, dass das Raster deutlich sichtbar ist. Grössere Schalen benötigen aber auch mehr Platz im Wasserbad, wodurch weniger Proben gleichzeitig geprüft werden können. Es stellt sich deshalb die Frage, ob unter Umständen weniger Körner verwendet werden können oder auf eine Doppeluntersuchung verzichtet werden kann.

5.2.4 Doppeluntersuchung

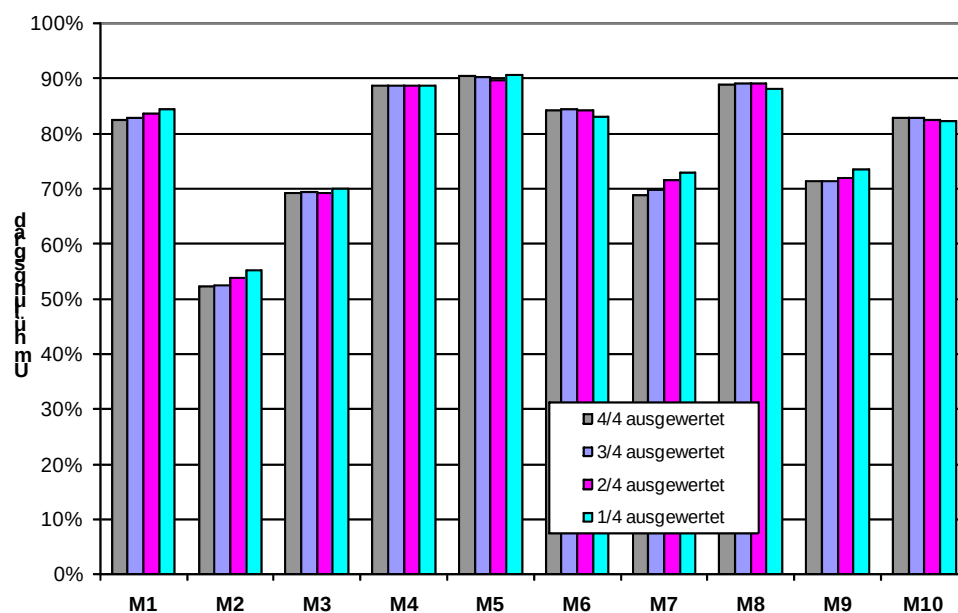
Bei den Untersuchungen hat sich gezeigt, dass zwischen den beiden untersuchten Proben Unterschiede im Umhüllungsgrad von bis zu 15% auftraten. Solch grosse Unterschiede könnten auf Probleme bei der Umhüllung der Körner hindeuten, insbesondere da der Unterschied bei beiden Prüfern aufgetreten ist. Deshalb ist die Untersuchung an Doppelproben sicherlich sinnvoll. Für die Gültigkeit der Prüfung sollte eine maximale Differenz des Umhüllungsgrades der beiden Proben von ca. 10% festgelegt werden. Wird diese überschritten, sollte die Prüfung wiederholt werden.

5.2.5 Anzahl der ausgewerteten Mineralstoffkörner

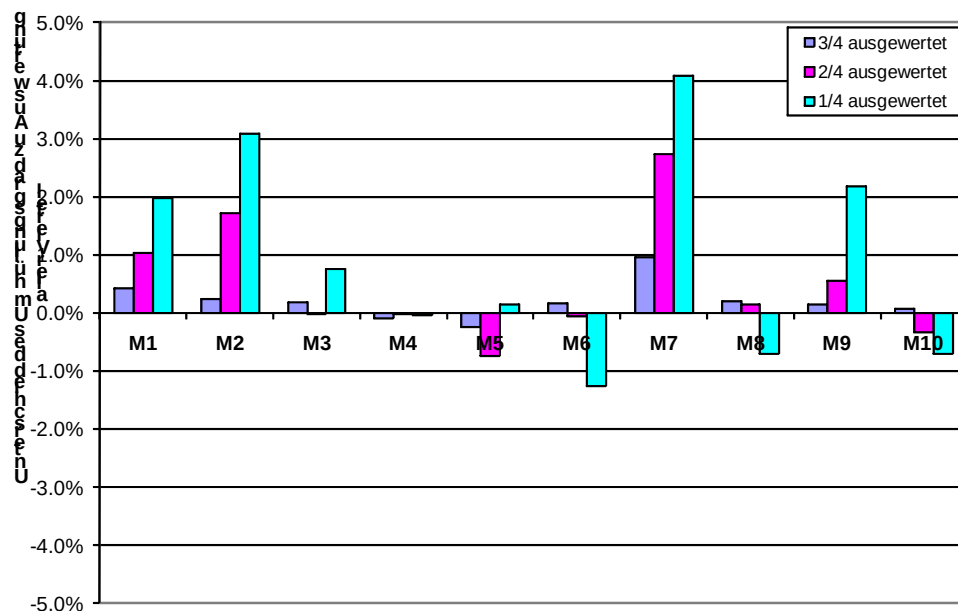
Bei der Bestimmung des Umhüllungsgrades wurde die Schale in vier Viertel unterteilt und jeder Viertel wurde separat ausgewertet. So konnte analysiert werden, wie gross die Auswirkung auf die Resultate ist, wenn $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ oder gar nur $\frac{1}{4}$ der Körner ausgewertet werden. Grundlage für die Auswertung waren die Resultate eines Prüfers an einer Doppelprobe nach 24 Stunden.

Abb. 6 > Einfluss der Anzahl untersuchter Körner auf den Umhüllungsgrad.

Umhüllungsgrad für die Auswertung von 1 bis 4 Vierteln der Mineralstoffkörner (Mittelwert von 2 Prüfungen und 2 Prüfpersonen, M10 wurde nur von einer Person ausgewertet)

**Abb. 7 > Einfluss der Anzahl untersuchter Körner auf den Umhüllungsgrad.**

Prozentuale Veränderung des Umhüllungsgrades in Funktion der Anzahl untersuchter Körner (Mittelwert von 2 Prüfungen und 2 Prüfpersonen, M10 wurde nur von einer Person ausgewertet)

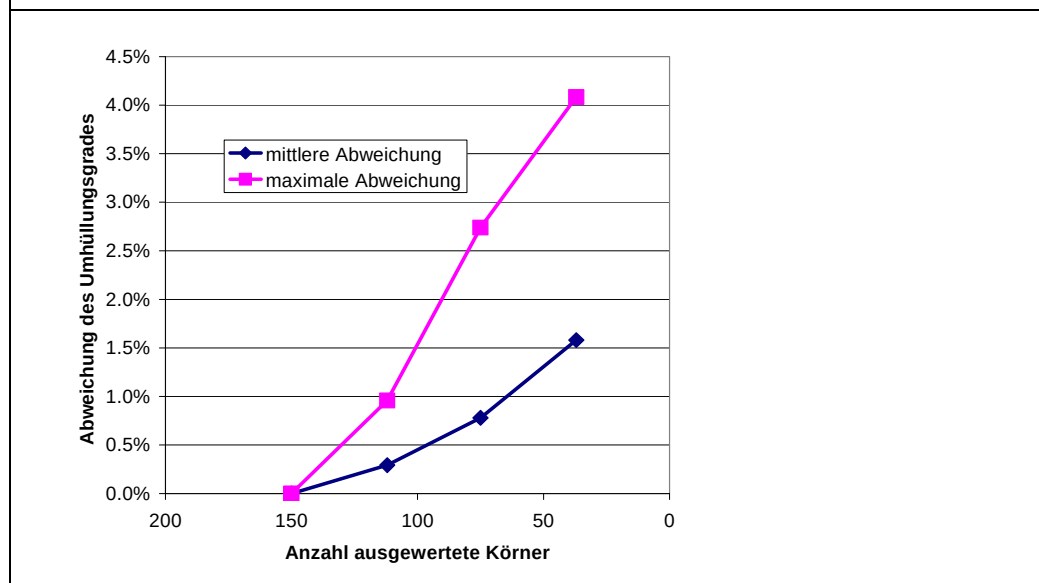


Die Abb. 6 und Abb. 7 zeigen, dass die Körner recht homogen verteilt sind. Bei Auswertung von 3 Vierteln ist das Resultat mit einer Abweichung von weniger als 1% Umhüll-

lungsgrad praktisch identisch mit dem Ergebnis der Auswertung der ganzen Schale. Dies entspricht etwa 113 Körnern, das heisst etwa soviel wie in der alten SN verwendet wurde. Auch bei Auswertung von der Hälfte ist die Abweichung noch unterhalb 3% Umhüllungsgrad. Erst wenn nur noch ein Viertel ausgewertet wird, steigt die Abweichung auf 4 % des Umhüllungsgrades, wobei es sich dabei um das Referenzgemisch M7 handelt, das aus sehr unterschiedlichen Körnern zusammengesetzt ist. Dies bedeutet, dass bei homogenen Gesteinskörnungen etwa 40 -50 Körner ausreichend wären. Auch bei der Empa-Referenzmischung M7, die aus fünf teilweise stark unterschiedlichen Gesteinssorten besteht ist die Abweichung bei $\frac{1}{4}$ der ausgewerteten Körner immer noch gut.

Abb. 8 > Optimale Anzahl Körner.

Relative Abweichung des Umhüllungsgrades bei der Auswertung von unterschiedlich vielen Körnern, 150 Körner = 100%.



Die optimale Anzahl Körner für die Auswertung dürfte zwischen 70 und 100 Körnern liegen. Wird eine gleiche Flächenbedeckung der Körner in der grossen Schale als Grundlage genommen, das heisst gleiche Anzahl von Körnern pro Fläche, so wären für die Schale mit einem Durchmesser von 14.5 cm 87 Körner und bei der kleinen Schale mit 11.5 cm Durchmesser 54 Körner auszuwerten, was immer noch mehr als $\frac{1}{4}$ der 150 Körner ist.

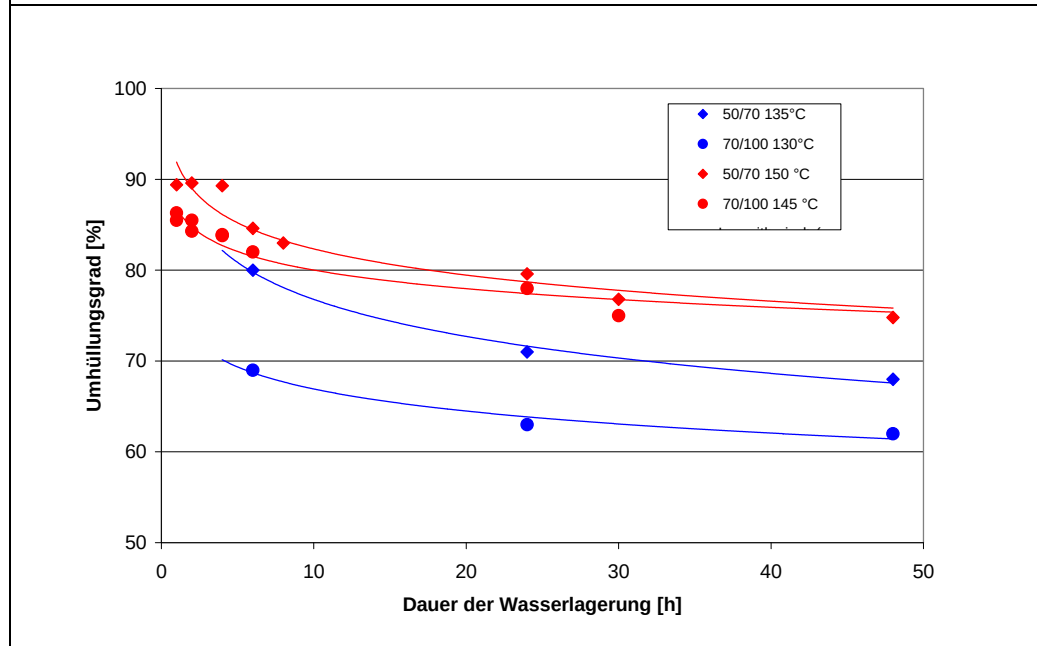
5.3 Versuchsreihe mit Bitumen

5.3.1 Mischtemperatur

CEN Mitglieder aus dem Vereinigten Königreich wollen aus historischen Gründen für das Bitumen 70/100 eine Mischtemperatur von 130°C. Um diese Bedingung zu erfüllen, wurde in der CEN-Kommission TC 227 vorgeschlagen, die Mischtemperatur gemäss EN 12697-35 festzulegen, jedoch einen Abzug von 15°C einzurechnen. Dieses Anliegen wurde durch eine Vergleichsreihe mit Temperatur T nach EN 12697-35 und T-15°C geprüft (Abb. 9).

Abb. 9 > Affinität versus Mischtemperatur.

Ermittlung des Umhüllungsgrades nach statischem Verfahren zwischen Bitumen 50/70 (Raute) bzw. 70/100 (Kreise) und Standardgesteinskörnung M7; Wasserlagerung 40°C. Es wird der Einfluss der Mischtemperatur untersucht; Mischtemperatur T-15 (blau); Mischtemperatur T (rot).



Der Umhüllungsgrad ist stark von der Mischtemperatur abhängig. Der Einfluss ist umso stärker, je weicher das Bitumen. Höhere Mischtemperaturen sorgen für weniger strenge Prüfbedingungen, die Adhäsion ist wirksamer, der Umhüllungsgrad entsprechend höher. Ein Absenken der Mischtemperatur um 15 °C bewirkt nach 24 Stunden eine absolute Abnahme des Umhüllungsgrades von 10% für 50/70 und 15% für 70/100 Bitumen. Die bessere Differenzierung der Bitumensorte und der tiefere Umhüllungsgrad werden als Vorteile betrachtet und befürworten die Mischtemperatur T-15 die in Tab. 12 angegeben ist.

5.3.2 Temperatur der Wasserlagerung

Aus den Vorversuchen (Tab. 7) haben wir beobachtet, dass die statische Wasserlagerung bei 19°C mit Ausnahme des weichen Bitumens 160/220 keine Bitumenablösung verursacht. Für das statische Verfahren B ist deshalb eine höhere thermische Beanspruchung erforderlich. Um diese festzulegen wurde mit zwei Bitumen eine Reihe von Versuchen bei Prüftemperaturen zwischen 19°C und 60°C durchgeführt. Bitumen 50/70 wurde bei 150 °C gemischt, Bitumen 70/100 bei 145 °C; somit ohne Abzug von 15 °C. Die daraus erhaltenen Kurven des Umhüllungsgrades in Abhängigkeit der Lagerungsdauer und der Wassertemperatur sind in Abb. 10 dargestellt. Aus diesen Kurven ist ersichtlich, dass sich die Prüftemperatur aus einem Kompromiss zwischen Ablösungskinetik und Erweichungstemperatur ergeben muss.

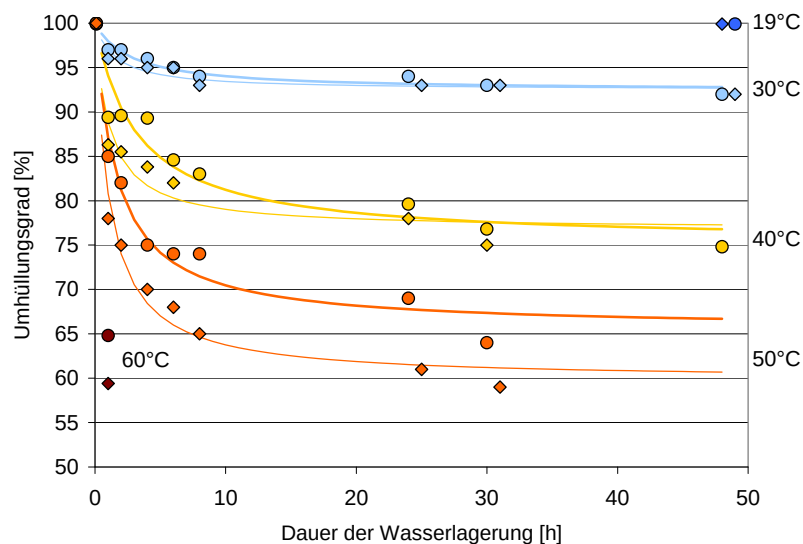
Für die in der Schweiz handelsüblichen Strassenbaubitumen liegt die Erweichungstemperatur unter 60°C (mit Ausnahme von der Sorte 20/30). Am tiefsten liegen die Bitumen 160/220 und 250/330 mit 35...43°C und 30...38°C.

Will man die Temperatur der Wasserlagerung derart festlegen, dass sie für alle Bindemittel unterhalb der Erweichungstemperatur liegt, so sollte die allgemeingültige Wasserlagerungstemperatur bei höchstens 30°C liegen. Dagegen spricht aber der sehr langsame Vorgang der Bindemittelablösung. Bei einer Wassertemperatur von 30 °C besteht

das Risiko, dass alle Bitumen-Gesteinskorn-Kombinationen nach 24 oder 48 Stunden einen Umhüllungsgrad zwischen 90% und 100% aufweisen. Der Versuch würde an Aussagekraft verlieren.

Abb. 10 > Affinität versus Lagerungsdauer und -temperatur.

Ermittlung der Affinität nach statischem Verfahren zwischen Bitumen 50/70 (Kreise) oder 70/100 (Raute) und Standardgesteinskörnung M7; Wasserlagerung bei 19°C, 30°C, 40°C, 50°C und 60°C; Schätzung des Umhüllungsgrades nach 1, 2, 4, 6, 8, 24, 30 und 48 Stunden.



Die Alternative wäre eine Wasserlagerung bei 40 °C. Die Bitumen 20/30, 35/50, 50/70 und 70/100 könnten bedenkenlos geprüft werden. Der Umhüllungsgrad eines Bitumen 100/150 müsste mit Sorgfalt interpretiert werden, da dessen Erweichungstemperatur (39...47°C) sehr nahe bei der Wassertemperatur liegen würde. Eine Wasserlagerung der Bitumen 160/220 und 250/330 bei 40°C hingegen könnte deren Viskosität stark herabsetzen und zu relativ tiefen Umhüllungsgrade führen.

Gegen eine Sonderbehandlung der Bitumen 100/150, 160/220 und 250/330 spricht die Tatsache, dass im Sommer, wenn Regen und Sonne gleichzeitig auf die Deckschicht einwirken, das Wasser 40°C erreichen kann und sich dann entsprechend Bitumen ablöst. Dennoch könnte eine Sonderbehandlung sinnvoll sein, weil diese Bitumensorten in der Schweiz nicht für Deckschichten angewendet werden. Für diese drei Bitumensorten könnte zum Beispiel die Anforderung oder die Wassertemperatur angepasst werden.

Zusammenfassend und auf Grund der oben erwähnten Überlegungen schlagen die Autoren für alle Bitumensorten eine Wasserbadtemperatur von 40 °C vor.

5.3.3 Dauer der Wasserlagerung

Die Affinität nach statischem Verfahren wurde mit sieben weiteren Bitumen durchgeführt. Die Auswertung nach SN erfolgt nach 6 Std, 24 Std und 48 Std. Es wurden folgende Prüfparameter und -bedingungen angewendet:

- Pro Bitumen werden 2 Schalen ausgewertet,
- Schätzung durch 1 Prüfer,
- Glasschalen mit Ø 140 mm statt Ø 110 mm werden getestet,

- Gesteinskörnung ist die genormte EMPA Referenzmischung
- Abkühlung dauert 5 Minuten.
- Mischtemperatur T -15°C
- Temperatur der Wasserlagerung 40°C

Die wichtigsten Angaben zu den eingesetzten Bitumen sind in der Tab. 12 zusammengefasst.

Tab. 12 > Versuchsreihe mit Bitumen.

Beschreibung der vollständigen Versuchsreihe mit unterschiedlichen Bitumensorten.

Bitumen	EP R&K [°C]	Bitumendosierung [g]	Referenz-Temperatur nach EN 12697-35	Mischtemperatur [°C]
50/70	50.7	7.51 / 8.26	150	135*
70/100	47.2	7.00 / 5.98	145	130*
160/220	42.8	7.51 / 7.60	135	120*
PmB E 25/55-65	63.5	7.69 / 7.52	k.A.	145**
PmB E 65/105-60	75.0	6.85 / 7.62	k.A.	135**
PmB C 25/55-55	58.8	7.74 / 7.10	k.A.	140**
PmB C 45/80-50	55.9	7.01 / 7.16	k.A.	130**

k.A. keine Angaben, für PmBs sind in der EN keine Referenztemperaturen definiert

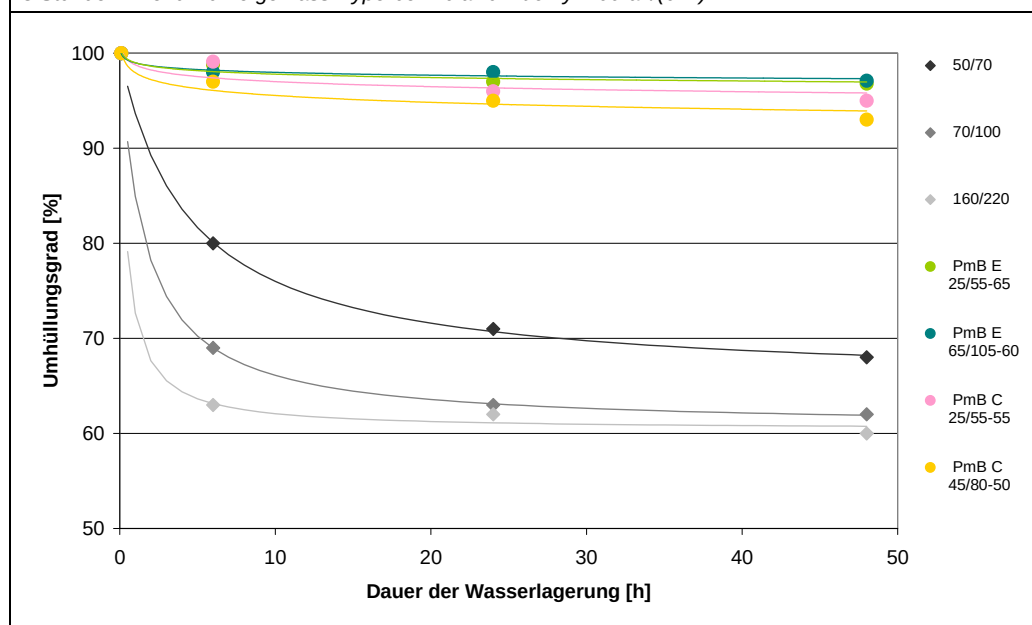
* Mischtemperatur = Referenzverdichtungstemperatur EN 12697-35 minus 15°C

** Mischtemperatur = Marshall-Verdichtungstemperatur gemäss Produkteblatt des Lieferanten minus 15 °C

Das Ergebnis ist in Abb. 11 dargestellt. Es zeigt einen grundsätzlichen Unterschied zwischen polymermodifizierte Bitumen und konventionelle Bitumen: Die Affinität der polymermodifizierten Bitumen gegenüber der Gesteinskörnung überragt deutlich die der nicht modifizierten Bitumen, so dass Polymerbitumen auch in dieser Hinsicht als Hochleistungsbitumen betrachtet werden dürfen.

Abb. 11 > Affinität versus Lagerungsdauer.

Ermittlung der Affinität nach statischem Verfahren zwischen unterschiedlichen Bitumen und Standardgesteinskörnung M7; Wasserlagerung bei 40°C; Schätzung des Umhüllungsgrades nach 6, 24 und 48 Stunden. Trend-Kurve gemäss Hyperbel-Abfallfunktion $y=100-ax/(b+x)$.



Ausserdem wird festgestellt, dass der Umhüllungsgrad mit steigender Penetration abnimmt während die Ablösungskinetik zunimmt. Beim 160/220 ist nach 6 Stunden schon 93% der 48Std-Ablösung erreicht; beim 70/100 erst 82%; beim 50/70 nur gerade 63%. Je weicher umso schneller tendiert die Kurve gegen die maximale Ablösung.

Der Versuch ist schon nach 6 Stunden aussagekräftig und es lässt sich zwischen den einzelnen nicht modifizierten Bindemitteln am besten differenzieren. Eine Einstufung zwischen den vier polymermodifizierten Bitumen ist erst nach 48 Stunden deutlich. Bemerkenswert ist, wie die PmB E einen noch höheren Umhüllungsgrad offenbaren als die PmB C. Ausserdem zeigen härtere analog zu den Normalbitumen PmB eine höhere Affinität als weiche PmB, wie dies am Beispiel von PmB C 25/55-55 und PmB C 45/80-50 nachgewiesen wurde.

Gestützt auf den hervorragenden Umhüllungseigenschaften aller polymermodifizierten Bitumen und auf eine ausreichende Differenzierung zwischen den herkömmlichen Bitumen, können Wasserlagerungen von 6 und 24 Stunden in Betracht gezogen werden. Gegenüber einer Wasserlagerung von nur 6 Stunden, hat die Dauer von 24 Stunden jedoch zwei entscheidende Vorteile:

- Die Versuchsabwicklung bestehend aus Vorbereitungen, Wartezeit für das Abkühlen der Mischung, Lagerung im Wasser und Auswertung passt nur knapp in einen Arbeitstag. Und wenn mehrere Proben zu prüfen sind, wäre es noch viel schwieriger.
- Nach 6 Stunden ändern sich die Resultate bei den Normalbitumen zeitlich noch stark. Der Zeitpunkt für die Auswertung müsste deshalb in einem engeren Zeitraum definiert werden als nach 24 Stunden.

Aus diesen Gründen wird eine Dauer der Wasserlagerung von 24 Stunden vorgeschlagen.

5.4 Versuchsreihe mit Gesteinskörnungen

In einer zweiten Versuchsserie wurden verschieden Mineralstoffe (vgl. Tab. 4) mit dem gleichen Bitumen 70/100 geprüft. Dabei wurde darauf geachtet, dass bezüglich Petrographie die wichtigsten Vorkommen in der Schweiz untersucht wurden.

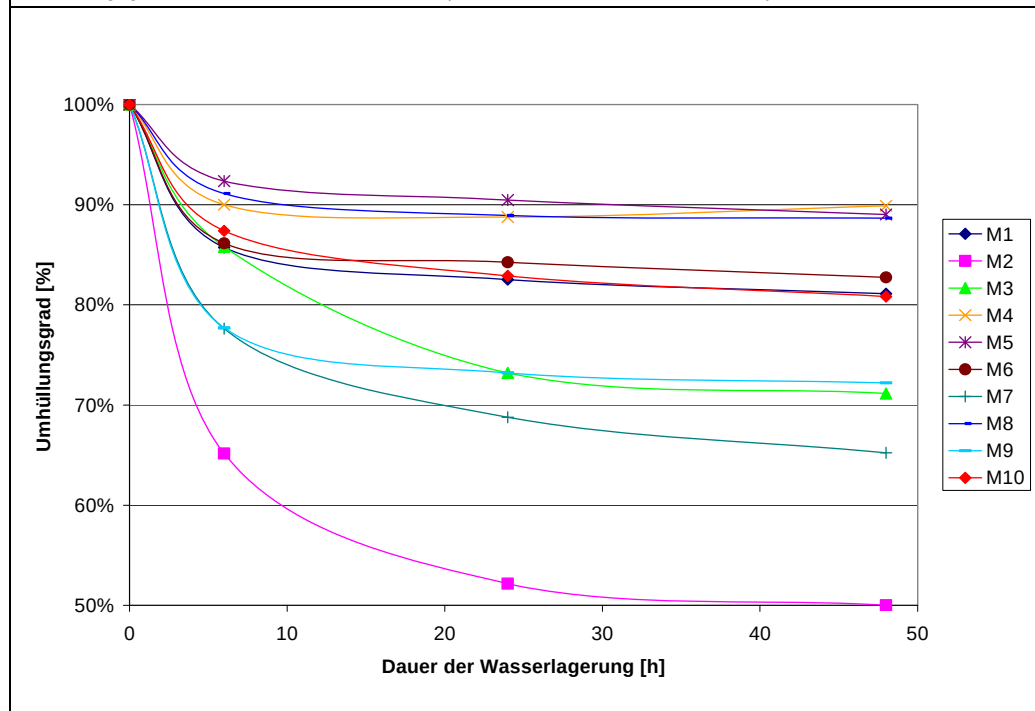
Die Prüfung erfolgte wie zuvor gemäss Methode B modifiziert mit folgenden Parametern:

- 4 Massen-% Bitumen 70/100 (Referenzbitumen 2973-08) bezogen auf Gesteinsmasse
- Misch- und Aufwärmtemperatur für Bindemittel und Mineralstoffe = 130°C (entspricht Temperatur T-15°C)
- Abkühlung dauert 60 Minuten
- Temperatur der Wasserlagerung 40 °C
- grosse Glasschalen (D = 190 mm) mit weissem Papier unterlegt, teilweise mit Raster
- Bestimmung der Umhüllung nach 6, 24 und 48 Std durch mind. 2 Personen

In der alten SN betrug die Prüfdauer der Mineralstoffe im Wasser 60 Minuten. Da nach neuem Vorschlag bei einer um 20°C tieferen Temperatur, das heisst bei 40°C anstelle von 60°C, geprüft wird, verlängert sich die Prüfdauer entsprechend. Da jede visuelle Auswertung einem zeitlichen Aufwand entspricht, sollte abgeklärt werden, ob ein Zeitpunkt dafür ausreicht oder ob 2 oder 3 Auswertungen notwendig sind.

Abb. 13 > Veränderung des Umhüllungsgrades mit der Zeit

Umhüllungsgrad verschiedener Mineralstoffe (Mittelwert 1 Prüfer und 2 Schalen)



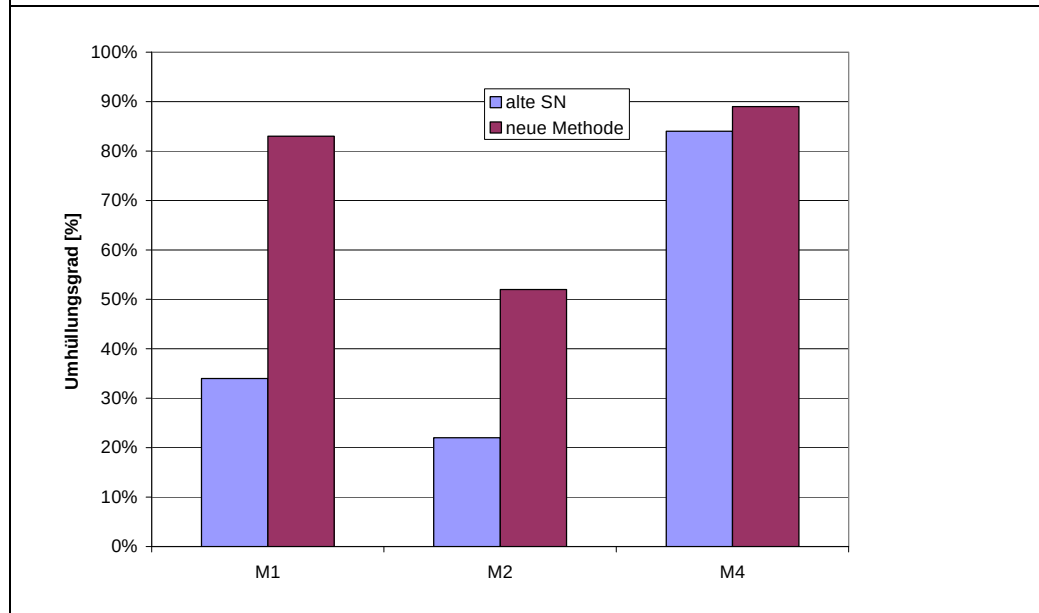
Bei der Untersuchung verschiedener Bindemittel zeigte sich, dass sich der Umhüllungsgrad bei Normalbitumen mit der Zeit stark ändert (Kapitel 5.3.3.). Wie aus Abbildung 13 hervorgeht, trifft dies beim Bitumen 70/100 nicht für alle Mineralstoffe zu, sondern variiert beträchtlich.

Bei den Mineralstoffen M1, M4, M5, M6, M8 ändert sich der Wert nach 6 Stunden praktisch nicht mehr und bleibt konstant. Bei den Mineralstoffen M2, M3 und M7 ist ein Unterschied im Umhüllungsgrad von bis zu 15% zwischen 6 und 48 Stunden festzustellen. Der Unterschied zwischen 24 h und 48 h ist jedoch mit maximal 4% Umhüllungsgrad recht gering. Eine Prüfdauer von 48 h ist deshalb als nicht sinnvoll zu erachten.

Allgemein ist zu bemerken, dass alle Umhüllungswerte nach 24 h über 50% liegen und bei 7 von 10 Mineralstofftypen sogar über 70%. Es stellt sich die Frage, ob die Umhüllungsgrade tatsächlich so eng zusammen liegen oder ob die Differenzierung der Prüfung zu gering ist. Ein Vergleich mit alten Prüfergebnissen nach SN 670 460 zeigt, dass das alte Verfahren deutlich stärker differenziert (Abb. 14). Dies dürfte hauptsächlich auf die höhere Prüftemperatur zurückzuführen sein. Eine Verlängerung der Prüfdauer bringt wie erwähnt keine grossen Änderungen mehr. Es stellt sich daher die Frage, wie die Prüfung verbessert werden kann, dass eine grössere Differenzierung resultiert. Neben der Temperatur könnte dies eine weitere Reduktion der Bindemittelmenge sein, damit der Bindemittelfilm dünner und dadurch empfindlicher auf eine Wassereinwirkung wird.

Abb. 14 > Umhüllungsgrad gemäss neuer EN- und alter SN-Methode.

Vergleich von alter (nach SN) und neuer Methode (Methode B modifiziert, 40°C nach 24 Std.) an denselben Mineralstoffen; M1 und M2 sind quarzreiche Gesteine, M4 ist kalkreich.



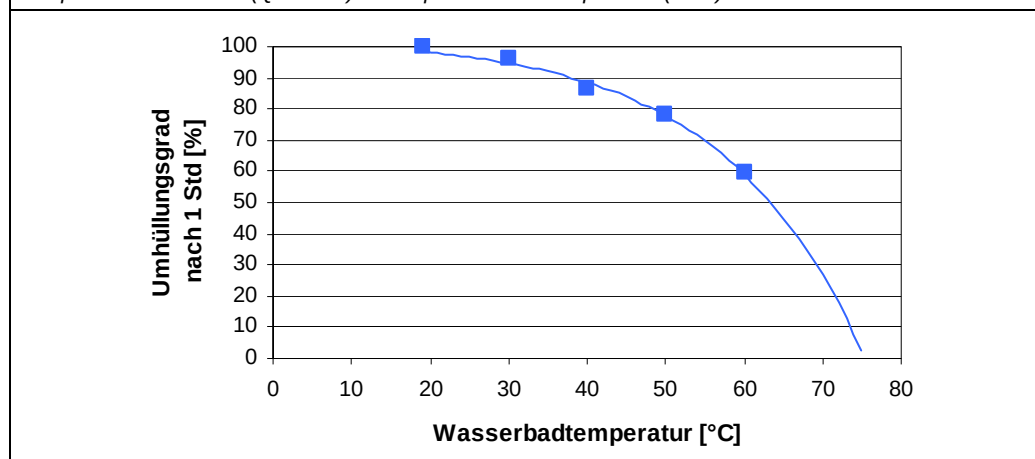
Der Vergleich in Abb. 14 zeigt, dass das modifizierte EN Verfahren B weniger streng ist als das alte SN Verfahren. Ausserdem ist ein markanter Unterschied zwischen dem kalkreichen Gestein M4 und den quarzreichen Gesteine M1 und M2 zu beobachten; M1 und M2 reagieren äusserst empfindlich auf das angewandte Prüfverfahren. Der Unterschied zwischen den beiden Verfahren liegt nicht nur in der Wasserbadtemperatur und Lagerungsdauer, sondern auch in der Dauer der Abkühlung nach dem Mischen. Weil die Ablösegeschwindigkeit während den ersten Minuten am höchsten ist und sehr stark von der Temperatur abhängt, ist es gut möglich, dass die Bitumenablösung nach nur fünf Minuten Abkühlen im Vergleich zu 60 Minuten Abkühlen beschleunigt ist. Es könnte auch sein, gestützt auf chemische und thermodynamische Überlegungen, dass dieser Vorgang auf quarzreichen Gesteine intensiver verläuft als auf kalkreichen Gesteine. Alle diese Bemerkungen könnten das Ergebnis der Abb. 14 erklären: Sowohl den allgemein höheren Umhüllungsgrad gemäss neuer Methode, sowie den sehr grossen Unterschied bei M1 und M2, also bei den Gesteine mit geringer Affinität zu Bitumen.

Diese Hypothese wird durch ein weiteres Ergebnis bekräftigt. Es wurde ein ähnlicher Versuch mit Quarzporphyr (M11) durchgeführt. Aber im Unterschied zu den vorherigen Versuchen wurde das modifizierte Verfahren so ausgeführt, dass die Abkühlphase nur fünf Minuten dauert, gleich wie im alten SN Verfahren. Das Ergebnis zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Umhüllungsgrade: Das alte SN Verfahren ergab einen Umhüllungsgrad von 26% und mit dem neuen EN B Verfahren 24%.

Der Einfluss der Temperatur auf das Ablöseverhalten des Bitumens auf der Gesteinsoberfläche in Anwesenheit von Wasser ist in Abb. 15 an einem Beispiel veranschaulicht. Der Umhüllungsgrad nimmt mit steigender Temperatur exponentiell ab; die durchgeführte Extrapolation zeigt, dass nach einer Stunde bei einer Temperatur von 75 °C, eine blanke Kornoberfläche zu erwarten ist.

Abb. 15 > Umhüllungsgrad versus Wasserbadtemperatur.

Umhüllungsgrad der Körner nach 1 Stunde Wasserlagerung in Abhängigkeit der Wassertemperatur. Messpunkte aus Abb. 10 (Quadrate) und exponentielle Extrapolation (Linie).



Nach einer Abkühlzeit von nur fünf Minuten beträgt die Temperatur der Körner schätzungsweise 100 °C. Bei dieser Temperatur sind die intermolekularen Anziehungskräfte geringer als bei Raumtemperatur. Adhäsion und Kohäsion sind geschwächt. Das Zugießen des kühleren Wassers bewirkt zudem ein Temperaturgradient an der Kornoberfläche. Dieser führt zu Spannungen wegen den unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten. Beide Effekte zusammen - der thermische und der mechanische - verursachen in den ersten Minuten eine erhebliche Bitumenablösung.

5.5 Versuchsreihe mit Haftmittel

Der Einfluss von Haftmitteln wurde an der Empa-Referenzmischung M7 und dem Bitumen 70/100 untersucht. Als Haftmittel wurden ein flüssiges und ein festes Haftmittel des gleichen Herstellers verwendet. Gemäss Informationen eines Bitumenproduzenten wird dieses Produkt oft für Bitumen in Deutschland verwendet, das in die Schweiz importiert wird. Die Bestimmung der Umhüllung wurde nach 24 Stunden an einer Doppelprobe (2 Schalen) durchgeführt.

Tab. 13 > Einfluss von Haftmitteln.

Einfluss von Haftmitteln auf den Umhüllungsgrad der Referenz-Mischung.

Haftmitteltyp	Konzentration (Masse-% im Bitumen)	Umhüllungsgrad
-	0	68.8%
fest	0.1	94.8%
fest	0.2	99.8%
flüssig	0.2	99.9%
fest	0.3	99.8%

Die vom Hersteller empfohlene Dosierung von 0.2% im Bindemittel ergab eine praktisch vollständige Umhüllung. Dabei wurde kein nennenswerter Unterschied zwischen flüssigem und festem Produkt festgestellt. Eine Erhöhung der Haftmittelkonzentration ist deshalb auf Grund dieses Testes für das untersuchte Gestein nicht notwendig, vorausgesetzt, die Wirkung des Haftmittels bleibt über die Lagerzeit des Bitumens konstant. Eine geringere Zugabe von 0.1% ergibt immer noch einen Umhüllungswert von 95%.

6 Schlusssdiskussion und Folgerungen

Die EN 12697-11 beschreibt drei Messmethoden die als nicht praxistauglich beurteilt werden. Entweder ist der Prüfaufwand zu gross (Verfahren A und C), die Prüftemperatur ungeeignet (Verfahren B), die Aussagekraft zu gering (Verfahren B) oder für das Personal von Strassenbaulaboratorien zu gefährlich (Verfahren C). Deshalb wurde entgegen dem ursprünglichen Auftrag das EN-Verfahren B, das relativ nahe am ehemaligen Schweizer Verfahren nach SN liegt, optimiert. Einige der Verbesserungsvorschläge wurden beim CEN TC 227 inzwischen eingebracht. Allerdings gibt es beim vorgeschlagenen Verfahren noch offene Fragen, die aufgrund des limitierten Forschungsbudgets nicht untersucht werden konnten. Ebenso konnten keine Präzisionsdaten ermittelt werden. Für eine praxistaugliche Prüfmethode sind deshalb weitere Forschungsarbeiten unumgänglich.

6.1 Diskussion der untersuchten Parameter

Die folgenden Versuchparameter wurden in diesem Forschungsprojekt untersucht, um das EN-Verfahren B zu optimieren und zu vereinfachen:

- Mischtemperatur
- Temperatur des Wasserbades
- Abkühlzeit
- Anzahl und Zeitpunkt der Auswertung
- Anzahl der Körner pro Probe
- Anzahl Untersuchungen
- Grösse der Glasschalen für die Auswertung

6.1.1 Mischtemperatur

Es wurde gezeigt, dass die Mischtemperatur einen grossen Einfluss auf die Umhüllung der Mineralstoffkörner hat (Abb. 9). Je höher die Mischtemperatur desto höher die Haftung des Bindemittels am Gestein und desto besser der Umhüllungsgrad. Allerdings verbessert sich die Differenzierung der Resultate, wenn eine Mischtemperatur von $T-15^{\circ}\text{C}$ anstelle von T (T = Referenztemperatur nach EN 12697-35) verwendet wird. Die Verfasser empfehlen eine Mischtemperatur $T-15^{\circ}\text{C}$ zu verwenden. Bei einem Bitumen 70/100 wäre die Mischtemperatur demnach 130°C .

6.1.2 Temperatur des Wasserbades, Lagerungsdauer

Im Gegensatz zur ursprünglichen EN-Variante B wurde die Temperatur des Wasserbades um 21°C auf 40°C erhöht, da bei 19°C in den meisten Fällen keine Ablösung des Bindemittelfilmes stattfindet. Im Vergleich zum ehemaligen SN-Verfahren bedeutet dies eine Reduktion um 20°C . Also ist der gegenwärtige Vorschlag etwa in der Mitte zwischen EN und SN. Mit der Temperatur des Wasserbades ist der Zeitpunkt der Auswertung gekoppelt: Je tiefer die Prüftemperatur, desto länger dauert die Prüfung. Die Untersuchungen haben ergeben, dass bei 40°C eine Prüfung nach 24 Stunden vernünftig ist. Einerseits ändert sich danach der Umhüllungsgrad nicht mehr signifikant und andererseits passt dies gut in den Prüfrhythmus des Prüflabors.

Allgemein stellt sich die Frage, ob die Prüftemperatur, respektive die Temperatur des Wasserbades nicht auch von der Bindemittelhärte abhängig sein sollte, da harte Bitumen generell höhere Umhüllungswerte ergeben als weiche Bitumen. Dem entgegenzusetzen ist die Tatsache, dass die Schädigung durch Wasser in der Strasse in der Regel bei Umgebungstemperaturen stattfindet, das heisst zwischen 10 und 30°C . Insbesondere

re erfolgt die Schädigung in der Regel nicht in der Deckschicht, die bekanntlicherweise im Sommer bis 60°C erreichen kann, sondern eher in den tieferen Schichten, wo die Temperatur nicht so hoch ist. Eine Prüftemperatur von 40°C bedeutet demzufolge schon eine Erhöhung der effektiven Temperatur, die aber notwendig ist um die Prüfung zu beschleunigen.

6.1.3 Abkühlzeit

Die Abkühlzeit wurde nur punktuell untersucht. Es hat sich aber gezeigt, dass diese eine Auswirkung auf die Umhüllung hat. Je grösser die Temperaturdifferenz zwischen heissen Mineralstoffen und der Temperatur des Wasserbades, desto grössere Spannungen treten zwischen Bindemittelfilm und Kornoberfläche auf. Auch die Bitumenviskosität ist je nach Temperatur sehr unterschiedlich. Deshalb ist eine längere Abkühlzeit vorzuziehen. Weitere Untersuchungen zur Abkühlzeit wären deshalb sinnvoll.

6.1.4 Anzahl Mineralstoffkörner, Grösse der Glasschale, Anzahl Untersuchungen

Je mehr Mineralstoffkörner verwendet werden, desto grösser ist der Aufwand für die Prüfung. Insbesondere betrifft dies die Auswertung, da jedes einzelne Korn betrachtet werden muss. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass auch mit weniger als 150 Körnern (bei einer Doppeluntersuchung) die Streuung nicht markant zunimmt (Kap. 5.2.5). Wenn nur die Hälfte der Körner ausgewertet wurde, war die Abweichung des Umhüllungsgrades maximal 3% (absolut), in den meisten Fällen sogar unter 1%. Damit könnten die Schalen auf einen Mindestdurchmesser von 13.5 cm beschränkt werden, wodurch mehr Platz im Wasserbad zur Verfügung steht. Theoretisch könnten anstelle von 2 x 75 Körnern auch einmal 150 Körner untersucht werden. Eine Doppeluntersuchung mit weniger Körnern ist nach Meinung der Autoren aber vorzuziehen, da hierdurch auch allfällige Fehler bei der Herstellung der umhüllten Körner besser bemerkt werden können.

6.1.5 Weitere Einflussparameter

Ein sehr wichtiger Faktor ist das Licht bei der Bestimmung des Umhüllungsgrades. Optimal ist natürliches Tageslicht an einem sonnigen Tag. Leider kann die Prüfung nicht auf die Sonne warten, weshalb geeignete Alternativen im Labor gesucht werden müssen. Allgemein gilt je heller das Licht desto einfacher die Beurteilung. Allerdings eignen sich Spotlampen nahe an der Wasseroberfläche nicht, da die dabei auftretenden Spiegelungen stören. Die Definition der Lichtbedingungen ist deshalb wünschenswert aber vermutlich nicht ganz einfach und müsste in weiteren Forschungsarbeiten erarbeitet werden.

6.2 Folgerungen für die SN

Aus heutiger Sicht, wird es möglich sein, das heutige statische Verfahren nach SN 670 460 in seiner Grundform beizubehalten. Die Änderungen, die eingeführt werden müssen, betreffen vorwiegend die Menge Gesteinskörner und Bitumen, die Mischtemperatur, die Dauer der Abkühlung, die Wasserbadtemperatur und die Gesamtdauer der Prüfung. Mit Ausnahme der Kristallisierschale können die bisherigen Geräte weiter eingesetzt werden. Das gegenwärtige Know-how der Laboranten bleibt erhalten.

Noch nicht abschliessend ist die Festlegung der Parameter bezüglich optimaler Anzahl Körner, Grösse des Mischgefässes, Form der Auswertungshilfe (Abdeckung oder Raster) und eine Massnahme falls die 100%ige Umhüllung der Körner mit 4 Masse-% Bitumen nicht erreicht wird. Die Vorschläge der Autoren müssten noch verifiziert werden. Dazu ist aber die revidierte Version der EN 12697-11 abzuwarten.

Ein Vorschlag der Autoren in Form einer detaillierten Prüfanleitung ist im Anhang I zu finden.

6.3 Anforderungen an den Umhüllungsgrad

Infolge der geänderten Fragestellung und Zielsetzung des Forschungsauftrages wurde die Festlegung einer neuen Anforderung nicht systematisch untersucht.

Das neue Verfahren ist für das Ablösen des Bitumens teilweise selektiver - die Bitumenschicht ist dünner, die Mischtemperatur liegt tiefer, die Lagerungsdauer ist erhöht - und teilweise weniger selektiv - verlängerte Abkühlungsdauer, reduzierte Wasserbadtemperatur.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und Hypothesen, vermuten die Autoren, dass der bisherige Richtwert von 80% auch mit der neuen Methode gültig ist. Dies müsste aber durch Zusatzuntersuchungen mit dem endgültigen Prüfverfahren noch abgeklärt werden.

6.4 Folgerungen für die EN

Die Einflussnahme auf die EN Norm erfolgte schrittweise. Zuerst waren die Autoren bemüht, das Verfahren A zu verbessern, indem die Mischtemperatur reduziert und die grafische Auswertungshilfe eingeführt wurde. Danach konzentrierte sich die Arbeit auf das Verfahren B, mit dem Ziel auf das EN Verfahren B derart einzuwirken, dass in der Schweiz das statische Verfahren weiter angewendet werden kann. Zumal das ursprüngliche Verfahren EN B nur für 70/100 geeignet war, hat die EN jetzt die Möglichkeit dem Fachpublikum ein allgemein gültiges Verfahren anzubieten.

Änderungen die formal vom der CEN Kommission TC227 WG1 aufgenommen wurden sind im Anhang II veranschaulicht.

7 Dank

Dieses Forschungsprojekt war nur möglich dank der zuverlässigen Arbeit des Laborpersonals, namentlich C. Meierhofer, R. Takacs, B. Affolter, H. Hodler, R. Poffet und O. Schenker. Ihnen sei an dieser Stelle herzlichst gedankt.

Das Forschungsprojekt wurde finanziell unterstützt durch das Bundesamt für Strassen ASTRA.

Anhänge

I	Vorschlag für ein neues SN Verfahren.....	48
II	Stand der Bearbeitungen in der WG1 / TC227 von Juni 2009.....	53

I Vorschlag für ein neues Prüfverfahren

A Allgemeines

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt gemäss EN 12591 «Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Anforderungen an Strassenbaubitumen» [1] für Bitumen, **gemäss EN 13924 «Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Anforderungen an harte Strassenbaubitumen »** [2] für harte Strassenbaubitumen, gemäss EN 14023 «Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Rahmenwerk für die Spezifikation von polymermodifizierten Bitumen » für Polymerbitumen und gemäss EN 13043:2002/AC 2004 «Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen» für Gesteinskörnungen [7].

2 Gegenstand

Prüfvorschrift **zur Bestimmung der Affinität** von **bitumenhaltigen** Bindemitteln und **Gesteinskörnungen**. Die Norm beschreibt das Vorgehen für die Durchführung der Prüfung und gibt eine Anleitung für die Auswertung des Erscheinungsbilds der Probe.

3 Zweck

Ermitteln des Haftvermögens zwischen einem **bitumenhaltigen** Bindemittel und einer **Gesteinskörnung** durch **visuelle Bestimmung der Umhüllung** nach definierter Wasserlagerung.

Die Norm dient zur

- Prüfung von **Gesteinskörnungen** bezüglich der Affinität zum Referenzbitumen
- Prüfung des Haftvermögens eines Bindemittels am Referenz-**Gesteinskörnungsgemisch**
- Prüfen des Haftvermögens zwischen **einer bestimmten Kombination aus Bindemittel und Gesteinskörnung**
- Prüfung der Wirksamkeit von Haftmitteln nach Art und Dosierung in Bitumen.

4 Begriffe

4.1 Affinität

Die Affinität ist eine physikalische Eigenschaft die durch die Herabsetzung der freien Energie des Systems entsteht, wenn zwei oder mehrere Körper gemischt werden. Im System Gesteinskorn-Bitumen-Wasser steht das Bitumen in Konkurrenz mit Wasser weil die Affinität zwischen Gesteinskorn und Wasser diejenige zwischen Gesteinskorn und Bitumen übertrifft.

4.2 Haftvermögen

Das Haftvermögen ist die mechanische Fähigkeit zweier Stoffe aneinander zu haften.

4.3 Umhüllungsgrad

Der Umhüllungsgrad u **ist der prozentuale Anteil der Kornoberfläche, die mit Bitumen überzogen ist.**

B Geräte und Reagenzien

5 Geräte

- Waage, Ablesegenauigkeit 0,01 g

- Trockenschrank mindestens 200 °C, Regelgenauigkeit ± 5 °C
- Halbkugelige Eisen- oder Porzellanschale
- 2 Kristallisierschalen $\varnothing > 135$ mm,
- Eisenspachtel, Breite 20...30 mm, Ecken leicht abgerundet
- Wasserbad mit Thermostat und Umwälzung, Regelgenauigkeit $\pm 0,5$ °C
- 2 Uhrgläser zum Abdecken der Kristallisierschalen
- Thermometer 200 °C, ± 1 °C
- Thermometer 80 °C, $\pm 0,2$ °C
- Stoppuhr
- Indirekte Heizung, z. B. Luftbad oder Sandbad
- Becherglas 1000 ml
- Mobile Lampe
- Hilfsmittel für die Auswertung wie Abdeckung gemäss Abbildung 1 oder weisses Blatt mit Raster.

6 Reagenzien

- Referenzgesteine aus den Provenienzen, Castione, Arvel, Balmholz, Massongex, St. Léonard
- Referenzbitumen 70/100
- Deionisiertes Wasser.

Die Referenzmaterialien müssen bei der EMPA bezogen werden.

C Prüfung einer Gesteinskörnung

7 Vorbereiten der zu prüfenden Gesteinskörnungen

- Fraktion aussieben, 8/11,2 mm, gemäss EN 933-1«Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrössenverteilung – Siebverfahren» [6]
- Waschen, Spülen mit deionisiertem Wasser
- Trocknen im Trockenschrank bei mindestens 105 °C
- in halbkugelige Schale 150 Körner geben
- Gesteinskörner und Schale im Trockenschrank auf die Mischtemperatur gemäss Tabelle 1 aufwärmen. Für polymermodifizierte Bitumen ist die Mischtemperatur so zu wählen, dass sie den Angaben der Hersteller entspricht.

Bitumensorte		Mischtemperatur nach EN 12697-35 -15°C [°C]
10/20		T - 15
20/30		165
35/50		150
50/70		135
70/100		130
100/150		125
160/220		120
250/330		115

Tab. 1 Mischtemperatur

8 Vorbereiten des Bindemittels

Referenzbitumen 70/100 gemäss EN 12594 [5] auf die Temperatur der Gesteinskörnung aufwärmen.

9 Herstellung der Probemischung

Eine erste Schale mit der Gesteinskörnung wird aus dem Ofen genommen, die Menge Bindemittel, welche 4.0 Massen-% der Gesteinskörnung entspricht, wird zugewogen und sofort mit einem Spachtel während 2 Minuten ± 5 s unter intensiven Drehbewegungen gemischt (mindestens 200 Mischbewegungen). Die Temperatur darf dabei nicht um mehr als 10 °C absinken. Ein grösserer Temperaturverlust ist mittels einer indirekten Heizung zu verhindern. Das Nachheizen mit offener Flamme ist nicht gestattet. Die Körner müssen 100%ig mit Bitumen umhüllt sein. Es dürfen keine hellen Stellen oder Kanten mehr sichtbar sein. Das Mischgut wird sofort in die Kristallisierschale eingefüllt, so dass der ganze Boden möglichst einschichtig bedeckt ist.

Derselbe Vorgang wird mit der zweiten Schale wiederholt.

10 Lagerung

Mischgut in den zwei Kristallisierschalen während 1 Stunde ± 5 Minuten auf Raumtemperatur abkühlen lassen. Danach mit 150 ml deionisiertem Wasser von 40 °C, $\pm 0,5$ °C überdecken, mit Uhrglas abdecken und in gedecktem Wasserbad von 40 °C, $\pm 0,5$ °C während 24 Stunden ± 30 Minuten lagern. Die Wasseroberfläche im Thermostatbad muss mindestens 10 mm höher als der Wasserspiegel in den Kristallisierschalen sein.

D Prüfung eines Bindemittels

11 Vorbereiten der Referenzgesteine

- Pro Gesteinsprovenienz, Fraktion aussieben, 8/11,2 mm, gemäss [6]
- Waschen
- Spülen mit deionisiertem Wasser
- Trocknen im Trockenschrank bei mindestens 105 °C
- Abkühlen und nach Gesteinsprovenienz einzeln in Plastiksäcke Verpacken.

12 Vorbereiten der Referenzgesteinsmischung

- 30 Körner von jedem der fünf Referenzgesteine in die erste halbkugelige Schale geben; dito für die zweite Schale.
- Gesteinsmischung und Schalen im Trockenschrank gemäss Ziffer 7 lagern.

13 Vorbereiten des Bindemittels

Bindemittel gemäss Ziffer 8 aufwärmen.

14 Herstellen der Probemischung

Herstellen der Probemischung aus der Referenzgesteinsmischung und dem Bindemittel gemäss Ziffer 9.

15 Lagerung

Lagern gemäss Ziffer 10.

E Prüfung eines Bindemittels zusammen mit einer Gesteinskörnung

16 Vorbereiten der Gesteinskörnung

Vorbereiten gemäss Ziffer 7.

17 Vorbereiten des Bindemittels

Bindemittel gemäss Ziffer 8 aufwärmen.

18 Herstellen der Probemischung

Herstellen der Probemischung aus Gesteinskörnung und Bindemittel gemäss Ziffer 9.

19 Lagerung

Lagern gemäss Ziffer 10.

F Auswertung

20 Bestimmen der Anzahl von Körnern in den Umhüllungskategorien

- Am Rand der ersten Kristallisierschale werden vier Markierungen bei 0, 90, 180 und 270° angebracht. Auf der Schale mit der Probe wird die Abdeckung aufgesetzt, gemäss Abbildung 1. Mit Hilfe der mobilen Lampe werden die Körner im freien Viertel (0...90°) von oben beleuchtet und der am besten passenden Kategorie gemäss Auswerteformular (Anhang) zugeordnet. Die Körner werden gezählt und das Ergebnis in das Formular als Strichliste eingetragen. Die Zählung wird anschliessend für die Viertel 90...180, 180...270 und 270...360° fortgesetzt.
- Die Summe der ausgezählten Körner wird ermittelt und in das Arbeitsprotokoll eingetragen
- Die Prozentsätze der Körner pro Kategorie werden berechnet.
 - 1 oder 2 Prüfer
 - Dito mit der zweiten Schale

21 Berechnung des Grades der Umhüllung

Der Umhüllungsgrad u wird gemäss folgender Formel berechnet

$$u = A + 0,95 \cdot B + 0,9 \cdot C + 0,8 \cdot D + 0,6 \cdot E + 0,4 \cdot F + 0,2 \cdot G \quad [\%]$$

wobei

- A Prozentsatz der völlig umhüllten Körner
- B Prozentsatz der zu 95% umhüllten Körner
- C Prozentsatz der zu 90% umhüllten Körner
- D Prozentsatz der zu 80% umhüllten Körner
- E Prozentsatz der zu 60% umhüllten Körner
- F Prozentsatz der zu 40% umhüllten Körner
- G Prozentsatz der zu 20% umhüllten Körner

Der Mittelwert aus den zwei Ergebnissen (vier Ergebnisse im Falle von zwei Prüfern) ist zu berechnen und auf eine ganze Prozentzahl zu runden. Unterscheiden sich die beiden Einzelwerte des Umhüllungsgrades um mehr als 10% (absolut) ist der Versuch zu wiederholen.

22 Wiederholbarkeit, Vergleichbarkeit

Grobe Schätzung aufgrund der im Forschungsbericht [8] enthaltenen Angaben

Absolute Wiederholbarkeit	noch zu ermitteln
Absolute Vergleichbarkeit	noch zu ermitteln

G Literaturverzeichnis

- [1] EN 12591 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Anforderungen an Strassenbaubitumen, CEN 1999.

- [2] EN 14023 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Rahmenwerk für die Spezifikation von polymermodifizierten Bitumen, CEN 2006.
- [3] EN 13924:2006/AC Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Anforderungen an harte Straßenbaubitumen, CEN 2006
- [4] SN 670 435 Asphalt – Prüfverfahren für EN 12697-35: 2004+A1:2007 Heissasphalt – Teil 35: Labormischung
- [5] SN 670 504 Bitumen und bitumenhaltige EN 12594: 2007 Bindemittel – Vorbereitung von Untersuchungsproben
- [6] SN 670 902-1 Prüfverfahren für geometrische EN 933-1: 1997 Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren
- [7] EN 13043:2002/AC 2004 Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen, CEN.
- [8] Angst C., Beltzung F., Hugener M., Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN, ASTRA Bericht xxx, www.VSS.ch, Zürich (2010)
- [9] Rehmann G., Gubler R., Haftvermögen bituminöser Bindemittel an Mineralstoffen, ASTRA Bericht 347, www.VSS.ch, Zürich (1995)

II Stand der Bearbeitungen in der WG1 / TC227 von Juni 2009

EN 12697-11 Part B Static Method

12 Equipment

12.1 ~~Shallow tray(s)~~ Flat bottomed container

The container shall be flat-bottomed and of sufficient width to allow for placing of 150 particles in a single layer, and of sufficient height to allow the particles to be completely submerged in water.

NOTE: A suitable container can be a flat bottomed glass bowl in accordance with 5.14 or a shallow tray.

12.2 Mixing bowl

Capacity of 1,5 litres.

12.3 Heating apparatus

Equipment for separately heating the aggregate and the binder to a temperature within the range given in Clause 15.

13 Solvent and other materials

Distilled water.

14 Preparation of test specimens

14.1 Take a representative sample of the binder to be used in the plant mixtures in accordance with EN 58. The sample shall include any modifiers and/or adhesion agents at the same proportion(s) as they are to be used in the plant mixtures. Prepare the aggregate in accordance with 6.1.1.

14.2 Take a sample of aggregate in accordance with EN 932-1 from the bin or stockpile at the quarry in which the 10,0 mm to 6 mm size predominates and reduce it to a laboratory sample in accordance with EN 932-2. The sample shall be representative of the rock that is to be used in the plant mixtures. Prepare the binder in accordance with 6.2.1.

15 Procedure

15.1 Quarter and sieve out each sample of aggregate in accordance with EN 12697-2 to provide 150 particles each passing the 10 mm and retained on the 6 mm sieve. Heat the aggregate particles, the binder and the mixing bowl separately to a temperature of $(130 \pm 5)^\circ\text{C}$. Under no circumstances shall the binder be heated to a temperature greater than 135°C . to provide a single set of 150 particles each passing the 11,2 mm (basic plus set 1) or 10 mm (basic plus set 2) sieve and retained on the 8 m (basic plus set 1) or 6,3 mm (basic plus set 2) sieve. Heat the aggregate particles, the binder and the mixing bowl separately to a temperature 15°C less than the mixing temperature defined in EN 12697-35 for mixtures other than mastic asphalt with a tolerance of $\pm 5^\circ\text{C}$. Under no circumstances shall the binder be heated to a temperature greater than the maximum target temperature. Place the aggregate particles in the mixing bowl and add a quantity of binder equivalent to 4 % by mass of the aggregate particles. Mix the aggregate and binder by hand until complete coating of the aggregate is complete.

15.2 If any particles are not completely coated after 5 min of mixing, repeat 0 with new aggregate particles and an increased proportion of binder. The binder shall be increased by steps of 0,5 % by mass of the aggregate particles until a mix giving complete coating of the aggregate is obtained.

15.3 If necessary apply a light coating of a mixture of equal parts of glycerol and dextrin, or similar agent, to one or more trays containers. Place the coated specimen in the tray(s)-container(s), ensuring that each particle is completely separated from adjacent particles.

NOTE The application of mixture is to prevent adhesion of the binder to the tray container.

15.4 Leave the trays to stand for $1\text{ h} \pm 5\text{ min}$, then completely cover the coated specimen with distilled water at $(19 \pm 1)^\circ\text{C}$ and maintain that temperature. After immersion for $(48 \pm 1)\text{ h}$, decant the water and allow the coated specimen to dry at a temperature of $(19 \pm 9)^\circ\text{C}$. Leave the flat bottomed container to stand for $1\text{ h} \pm 5\text{ min}$, then completely cover the coated specimen with distilled water at a set temperature in the range 18°C to 40°C held to $\pm 1^\circ\text{C}$ and maintain that temperature a set period in the range 10 h to 48 h with a tolerance of $\pm 1\text{ h}$.

15.5 After immersion for the set period, examine the dried sample, particle by particle, while still in the tray(s) container(s) for incomplete coating by the binder.

NOTE: An alternative procedure can be the record of the degree of bitumen coverage in accordance with 8.7*.

15.6 If more than three aggregate particles in a sample have an incomplete binder coating, repeat 15.1 to 15.5 on three further samples.

NOTE The replicate tests can be carried out concurrently.

15.7 Repeat 14.2 and 15.1 to 15.6 for each source of supply to provide separate samples of aggregate from each source.

NOTE The tests on aggregates from different sources can be carried out concurrently.

16 Calculation and expression of results

The result for each aggregate source is the number of particles with an incomplete coating of binder. In the case of tests that have been repeated under 15.6, the result shall be mean of the four result.

NOTE: Alternatively the result is the mean value of the degree of bitumen coverage, rounded to the nearest 1 %.

17 Report

The test report shall include the following information as appropriate:

- a) reference to this European Standard;
- b) aggregate source;
- c) binder source;
- d) any modifiers and/or adhesion agents and the proportion at which they were added;
- ~~e) proportion of binder required to obtain complete coating initially;~~
- f) (mean) number of aggregate particles not completely coated by binder after immersion in water **or the mean value of the degree of bitumen coverage, rounded to the nearest 1 %**;
- g) if the test was repeated, the number of aggregate particles not completely coated by binder at the end of each individual determination;
- h) name of the ~~person~~ **person(s)** performing the test.

18 Precision

The precision of this test has not yet been established officially.

***8.7** Estimate by visual observation and record the degree of bitumen coverage of the particles to the nearest 5 %. Use a lamp to facilitate the observation and estimation. Any thin, brownish, translucent areas shall be considered fully coated. Record if lumps of particles are observed.

NOTE 1 A magnifying glass with low magnification may additionally be used to facilitate the estimation.

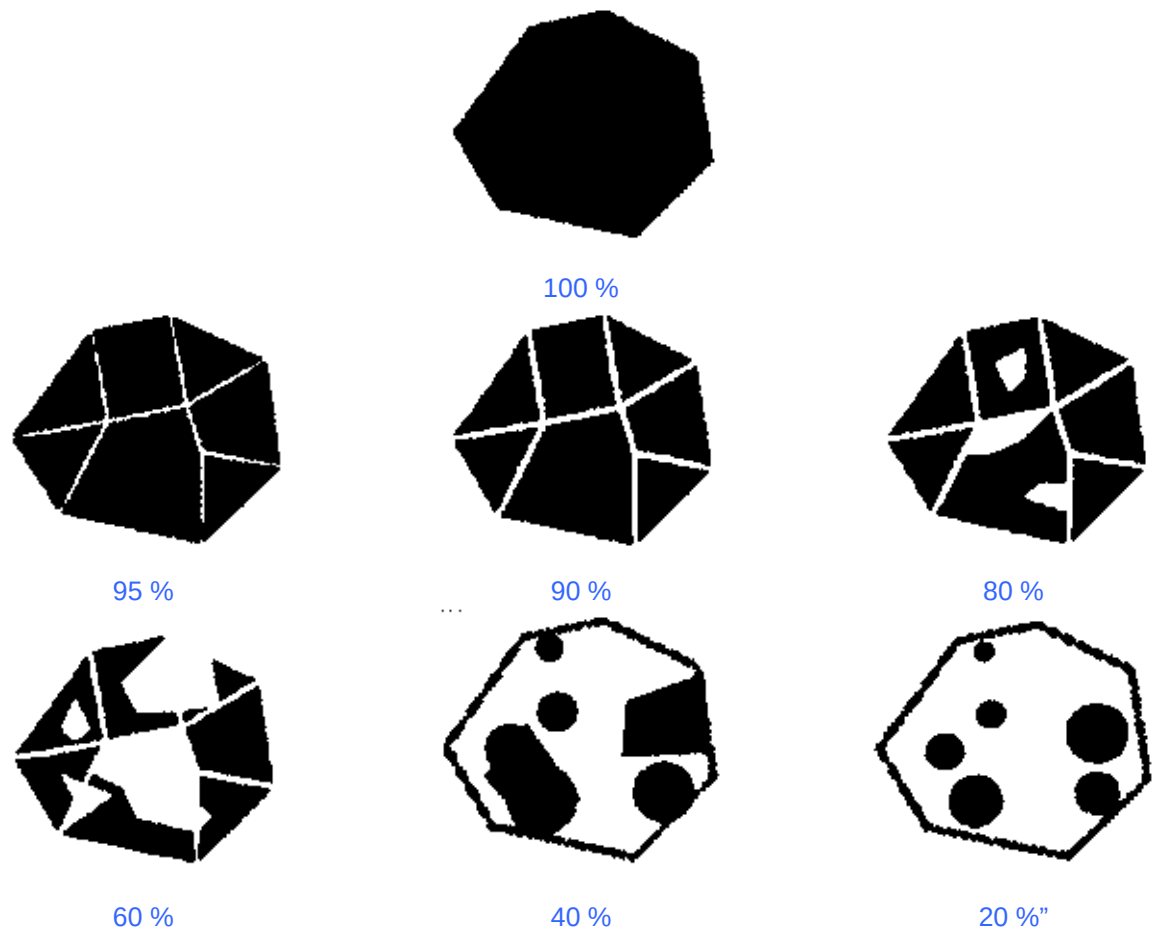
NOTE 2 There may be a tendency to estimate the degree of bitumen coverage higher on dark aggregates than on bright aggregates. For comparison, a similar quantity of uncoated aggregates, placed in a similar test bowl filled with water, may be used to facilitate the estimation.

NOTE 3 For schematic representations of the degree of bitumen coverage on particles, see Annex A**.

**** ANNEX A (informative)**

Schematic representations for degree of coverage

The degree of bitumen coverage of the particles can be estimate by equivalence to the following schematic representations:



However, these representations are not perfect and will be influenced by the colour of the aggregate, with any loss being less obvious on darker colour aggregates.

Abkürzungen

[illegible]

Literaturverzeichnis

- [1] Rehmann G., Gubler R., *Haftvermögen bituminöser Bindemittel an Mineralstoffen*, ASTRA Bericht 347, VSS, Zürich (1995)
- [2] Little, D.N. and Jones IV, D.R., *Chemical and mechanical process of moisture damage in hot-mix asphalt pavements*, Proceedings of Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, A National Seminar, Topic 2, www.TRB.org (2003)
- [3] Gubler R., Partl M., Canestrari F., Grilli A., *Influence of water and temperature on mechanical properties of selected asphalt pavements*, Materials and Structures 38, 523-532 (2005)
- [4] EN 12697-11: 2005/AC 2007 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 11: Bestimmung der Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen
- [5] EN 12697-30: 2004 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 30: Probenvorbereitung, Marshall-Verdichtungsgerät
- [6] EN 12697-35:2004+A1:2007 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 35: Labormischung
- [7] SN 670 460 (alte SN-Nummer: SN 671'960, umnummeriert 2006) Bituminöses Mischgut, Prüfvorschriften – Haftvermögen von bituminösen Bindemitteln an Mineralstoffen, VSS Ausgabe 1997.

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

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am:

27.1.2010

Grunddaten

Projekt-Nr.:

VSS 2005/505

Projekttitel:

Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN

Enddatum:

2.2.2010

Projektleiter

Name:

Vorname:

Amt, Firma, Institut:

Strasse, Nr.:

PLZ:

Email:

Ort:

Telefon:

Kanton, Land:

Fax:

Texte:

Zusammenfassung der
Projektresultate:

Die EN 12697-11 beschreibt drei Verfahren für die Bestimmung der Affinität, nämlich das Flaschen-Rollverfahren A, das statische Verfahren B und das Ablösen in siedendem Wasser C. Vorversuche zeigen für alle Verfahren gewisse Einschränkungen:

- Verfahren A ist aufwendig; für die visuelle Beurteilung der Affinität ist kein Hilfsmittel vorgesehen; die Mischtemperatur ist unnötig hoch.
- die Prüftemperatur des Verfahrens B ist ungeeignet; die Aussage der Prüfung ergibt keinen Umhüllungsgrad
- Verfahren C ist aufwendig und für Strassenbaulaboratorien aufgrund der chemischen Reagenzien zu gefährlich.

Auf Grund der Ähnlichkeit des Verfahrens B mit dem Schweizer Verfahren (SN 670 460) und der Möglichkeit in der CEN TC 227 / WG 1 auf die Norm Einfluss zu nehmen, wurde die Arbeit auf das statische Verfahren fokussiert. Die wichtigsten Modifikationen gegenüber der aktuellen EN sind eine variable Mischtemperatur nach EN 12697-35, eine Zunahme der physikalischen Beanspruchung, indem die Wassertemperatur erhöht wird, und eine prozentuale Auswertung mit denselben Hilfsgraphiken wie in der SN 670 460.

Ausserdem haben Reihenuntersuchungen folgendes nachgewiesen:

- Durch die Mischung einer fixen Anzahl Körner 8/11 mit 4 Massen-% Bitumen besteht eine gewisse Relation zwischen Gesteinsoberfläche und Bitumenmasse, und eine homogene Dicke des Bitumenfilms ist gewährleistet.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

- Die Grösse des Mischgefässes beeinflusst den verlorenen Bitumenanteil, und somit die Dicke des Bitumenfilms.
- Das Kristallisierglas ist so zu wählen, dass alle Körner einschichtig verteilt sind. Dies erleichtert die Auswertung.
- Das Ergebnis einer Probe bleibt praktisch identisch, wenn die Anzahl Körner von 150 auf bis zu 80 reduziert werden. Dadurch könnte bei der visuellen Auswertung Zeit gewonnen werden.
- Eine Reduktion der Mischtemperatur nach EN 12697-35 um 15°C bewirkt eine bessere Differenzierung der Bitumensorten.
- Die Temperatur der Gesteinskörner zum Zeitpunkt an dem sie mit Wasser in Kontakt kommen beeinflusst das Ergebnis sehr. Eine kurze Abkühldauer beschleunigt die Ablösung und begünstigt die Unterscheidung zwischen quarzreichen und kalkreichen Gesteine. Bei längerem Abkühlen kommen die petrographischen Eigenschaften weniger zum Ausdruck.

Zielerreichung:

Die Verbesserungsvorschläge für das Verfahren A (Absenkung der Mischtemperatur von $T+25^{\circ}\text{C}$ auf T und graphische Skala für die Auswertung) wurden von der TG 2 der CEN TC 227 / WG 1 genehmigt.

Die grundlegenden Modifikationen des Verfahrens B wurden von der TG 2 der CEN TC 227 / WG 1 genehmigt. Es besteht neu die Möglichkeit die Lagerungsdauer und die Lagerungstemperatur freier zu wählen sowie das Auswerteverfahren des Umhüllungsgrades genau nach SN 670 460 durchzuführen.

Die wesentlichen Entscheidungsgrundlagen für das Festlegen einer Methode und für die Bestimmung von Anforderungen wurden ermittelt. Sie stammen aus Reihenuntersuchungen die mit einem Sortiment von 7 Bitumen in Kombination mit der EMPA Referenzgesteinskörnung sowie mit einem Sortiment von 11 Gesteinskörnungen in Kombination mit dem EMPA Referenzbitumen durchgeführt wurden.

Folgerungen und Empfehlungen:

Aus heutiger Sicht, wird es möglich sein, das statische Verfahren nach SN 670 460 in seiner Grundform beizubehalten. Die Änderungen die eingeführt werden müssen, betreffen vorwiegend die Menge Gesteinskörner und Bitumen, die Mischtemperatur, die Dauer der Abkühlung, die Temperatur der Wasserlagerung und die Gesamtdauer der Prüfung. Mit Ausnahme der Kristallisierschale können die bisherigen Geräte weiter eingesetzt werden. Das gegenwärtige Know-how der Laboranten bleibt ebenfalls erhalten.

Offen bleiben Fragen bezüglich optimaler Anzahl Körner, Grösse des Mischgefässes, Form der Auswertungshilfe (Abdeckung oder Raster) und einer Massnahme falls die 100%ige Umhüllung der Körner mit 4 Massen-% Bitumen nicht erreicht wird.

Ein Vorschlag für eine neue Schweizer Norm wurde im Anhang I verfasst.

Infolge der geänderten Fragestellung und Zielsetzung des Forschungsauftrages wurde die Festlegung einer neuer Anforderung nicht systematisch untersucht. Die neuen Prüfbedingungen sind für das Ablösen des Bitumens zum Teil strenger - die Bitumenschicht ist dünner, die Mischtemperatur liegt tiefer, die Lagerungsdauer ist erhöht - und zum Teil weniger streng - verlängerte Abkühlungsdauer, reduzierte Wasserbadtemperatur. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und Hypothesen vermuten die Autoren, dass der bisherige Richtwert von 80% auch mit der neuen Methode sinnvoll ist. Diese Vermutung muss aber mit der endgültigen Prüfmethode verifiziert werden. Ebenso müssen Präzisionsdaten in einem Ringversuche noch ermittelt werden.

Die Einflussnahme auf die EN Norm hat die Verfahren A und B erheblich verbessert. Für beide Verfahren wurde die grafische Auswertungshilfe eingeführt. Da das ursprüngliche Verfahren B nur für ein Bitumen 70/100 geeignet war, bietet die EN jetzt ein allgemein gültiges Verfahren an.

Publikationen:

Das Autorenteam sieht vor, eine englische Publikation in der RILEM Zeitschrift *Materials & Structures* zu veröffentlichen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Beurteilung der Begleitkommission:

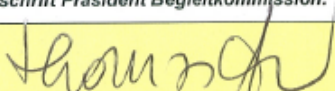
Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:	Das Forschungsteam hat zum Thema Affinität sehr interessante Ergebnisse geliefert. Vorteile und Nachteile des bisherigen SN Verfahrens und der EN Verfahren A und B sind auf Grund von Reihenuntersuchungen ermittelt worden. Viel Arbeit wurde geleistet, um die Schweizer Interessen erfolgreich in der CEN TC 227 / WG1 zu vertreten. Die bisherigen Entscheide des CEN auf Stufe TG ermöglichen es, das bisherige SN Verfahren mit wenigen Anpassungen weiterhin (als EN Norm) zu verwenden.
Umsetzung:	Die EK 5.01 verfügt über wissenschaftliche Grundlagen um rasch die EN 12697-11 in eine praxisnahe Schweizer Norm umzusetzen.
weitergehender Forschungsbedarf:	Diese Vermutung, dass der Anforderungswert von 80% weiterhin geeignet ist, muss mit der endgültigen Version der Prüfmethode verifiziert werden. Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit wurden nicht ermittelt. Diese Präzisionsdaten sollten im Rahmen eines nationalen Ringversuches noch bestimmt werden.
Einfluss auf Normenwerk:	Gemäss SN 670 411c behält die SN 670 460 ihre Gültigkeit bis am 31. Januar 2013 und die EN 12697-11 tritt am 1. Februar 2013 in Kraft. Anschliessend sollte das Nationale Vorwort SN 670411c umgehend durch einen Nationalen Anhang ergänzt werden.

Präsident Begleitkommission:

Name:	Arn	Vorname:	Thomas
Amt, Firma, Institut:	Costra SA		
Strasse, Nr.:	Via al Molino		
PLZ:	6926	Email:	thomas.arn@costra.ch
Ort:	Montagnola	Telefon:	091 985 25 30
Kanton, Land:	TI	Fax:	091 985 25 58

Unterschrift Präsident Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht Rapport Nr./N°	Fachliche Begleitung Suivi techn.	Auftrag Mandat Nr./N°	Titel (Sprache des Berichts) / Titre (langue du rapport) <i>Titel (Übersetzung) / Titre (traduction)</i>	Jahr Année	Preis Prix CHF
1186	VSS	2005/911	Akzeptanz von Mobility Pricing <i>Acceptation du Mobility Pricing</i>	2008	45.–
1187	VSS	2005/912	Bedeutung von Mobility Pricing für die Verkehrsfinanzierung der Zukunft <i>Importance du Mobility Pricing pour le financement futur des transports</i>	2008	45.–
1188	VSS	2005/913	Importance de projets pilotes pour le Mobility Pricing <i>Bedeutung von Mobility Pricing Pilotversuchen</i>	2008	30.–
1189	VSS	2005/916	Verkehrstechnische Aspekte des Mobility Pricing <i>Aspects techniques de circulation du Mobility Pricing</i>	2008	30.–
1190	VSS	2005/917	Auswirkungen des europäischen elektronischen Mautdienstes auf die Schweiz <i>Effets du Péage Electronique Européen sur la Suisse</i>	2008	30.–
1191	SVI	2005/004	Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens <i>Intégration des frais de déplacements dans la modélisation du comportement de mobilité</i>	2008	50.–
1192	VSS	2003/901	Datenverarbeitung für eine verkehrsträgerübergreifende Mobilitätssteuerung <i>Traitement de données pour une gestion de la mobilité basée sur l'interopérabilité des modes de déplacement</i>	2008	30.–
1193	FEDRO	2004/008	Swiss Contribution to Eureka Project Logchain Footprint EI2486 <i>Schweizer Beitrag zu Eureka Project Logchain Footprint EI2486</i>	2008	45.–
1194	VSS	2005/914	Systemtechnische und betriebswirtschaftliche Aspekte des Mobility Pricing <i>Aspects technologiques et d'exploitation du Mobility Pricing</i>	2008	35.–
1195	VSS	2005/503	Langzeiterfassung des Schichtenverbunds – Relation zwischen Prüfwert nach Einbau und Langzeitverhalten <i>Performance à long termes de la liaison entre les couches des revêtements bitumineux</i>	2008	30.–
1196	VSS	1999/277	Prüfung von Haftklebern <i>Preuve du résultat des émulsions pour couche d'accrochage</i>	2008	30.–
1197	SVI	2004/096	Ausgestaltung von multimodalen Umsteigepunkten <i>Équipement des points de transfert multimodaux</i>	2008	45.–
1198	SVI	2001/539	Überbreite Fahrstreifen und zweistreifige Schmalfahrbahnen <i>Voies de circulation extra-larges et chaussées étroites à deux voies de circulation</i>	2008	50.–
1199	VSS	2005/204	Externe Kosten im Strassenverkehr: Grundlagen zur Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse <i>Coûts externes du trafic routier: Principes pour la réalisation d'une analyse coûts/avantages</i>	2008	45.–
1200	VSS	2005/205	Ermittlung repräsentativer Betriebskostensätze für Kraftfahrzeuge zur Bewertung von Massnahmen im Strassenverkehr <i>Calcul des coûts unitaires représentatifs d'utilisation des automobiles en vue de l'évaluation des mesures en matière de circulation routière</i>	2008	30.–
1201	VSS	2003/601	Optimierung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses im Winter durch den Einsatz moderner Kommunikationstechnologie im Strassenbetrieb <i>Optimiser la sécurité et le trafic routiers en hivers par l'utilisation de moyens de communication modernes dans la gestion routière</i>	2008	45.–
1202	VSS	1999/298	Grundlagen zur Revision der Griffigkeitsnormen <i>Bases pour la révision des normes sur l'adhérence</i>	2008	45.–
1203	VSS	2005/304	Verkehrsregelungssysteme – Grundlagen für das Erhaltungsmanagement <i>Les systèmes de régulation du trafic – les bases pour la gestion de l'entretien</i>	2008	35.–
1204	SVI	2000/384	Fahrten- und Fahrleistungsmodelle: Erste Erfahrungen <i>Les systèmes de contingentement des trajets: Les premiers expériences</i>	2008	40.–
1205	FGU	2004/001	Die zerstörungsfreie Untersuchung von Leckstellen in zweischaligen Untertagbauwerken <i>L'étude non destructive de points de fuite dans des ouvrages souterrains à deux parois</i>	2008	30.–
1206	ASTRA	2006/019	Short-term Forecasts for Transport Models <i>Prévision à court terme pour les modèles de transport</i>	2008	30.–
1207	OFROU	2003/602	Sicherheit routière: importance du paysage dans la lisibilité de la route <i>Strassensicherheit: Bedeutung der Landschaftsgestaltung für die Lesbarkeit der Strasse</i>	2008	30.–
1208	SVI	2005/005	Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung <i>Effets quantitatifs des scénarios du Mobility Pricing sur la mobilité et le développement territorial</i>	2008	45.–
1209	VSS	2005/901	Einfluss von Fahrerassistenzsystemen auf die Leistungsfähigkeit von Strassennetzen <i>Influence des systèmes d'assistance à la conduite sur la capacité des réseaux routiers</i>	2008	30.–

Bericht Rapport Nr./N°	Fachliche Begleitung Suivi techn.	Auftrag Mandat Nr./N°	Titel (Sprache des Berichts) / Titre (langue du rapport) Titel (Übersetzung) / Titre (traduction)	Jahr Année	Preis Prix CHF
1210	VSS	2005/915	Organisatorische und rechtliche Aspekte des Mobility Pricing <i>Aspects organisationnels et juridiques du Mobility Pricing</i>	2008	45.–
1211	VSS	1998/192	Minikreisell <i>Mini-giratoires</i>	2008	45.–
1212	VSS	2007/501	D-A-CH – Forschungsprojekt; Nutzungszeiten offenerporiger Asphaltdeckschichten <i>D-A-CH – Projet de recherche; Durabilité des revêtements en enrobé drainant</i>	2008	45.–
1213	VSS	2002/706	NAVAROU – Potentiel d'utilisation des données routières de la navigation automobile pour l'entretien routier <i>Potenzial der Nutzung von Fahrzeugnavigationsdaten für das Strassenverkehrsmanagement</i>	2008	45.–
1214	VSS	2004/901	Darstellung und Verwendung von Verkehrssignalen in Strassendatenbanken <i>Implementation and use of traffic signs in road databases</i>	2007	45.–
1215	VSS	2000/456	Bewirtschaftungssysteme für Parkieranlagen <i>Concepts de gestion et d'exploitation d'installations de stationnement</i>	2008	45.–
1216	VSS	1998/195	Für Motorfahrzeuge und leichte Zweiräder befahrbare und für den Fussgängerverkehr ganz oder teilweise zugängliche Streifen in der Mitte der Fahrbahn (Mehrzweckstreifen) <i>Voies de circulation en milieu de chaussée destinées au trafic motorisé et au trafic des deux-roues légers, partiellement ou entièrement accessibles au trafic des piétons (voies à affectation variable)</i>	2008	45.–
1217	SVI	2006/001	Forschungspaket «Güterverkehr», Initialprojekt «Bestandesaufnahme und Konkretisierung des Forschungspakets» <i>Paquet de recherche «transport de marchandises», projet initial «inventaire et concrétisation du paquet de recherche»</i>	2008	45.–
1218	VSS	1999/271	Querungen für den Fuss- und leichten Zweiradverkehr <i>Traversées à l'usage des piétons et des deux-roues légers</i>	2008	45.–
1219	VSS	2003/603	Faunagerechte Sanierung von bestehenden Gewässerdurchlässen <i>Adaption des voûtages pour la petite faune terrestre et la faune piscicole</i>	2008	45.–
1220	VSS	2005/910	Mobility Pricing – Synthesebericht <i>Mobility Pricing – Rapport de Synthèse</i>	2008	45.–
1221	ASTRA	2004/019	Maladies et causes d'absences dans les services d'entretien des routes <i>Krankheitsfälle und Ursachen der Arbeitsabwesenheiten in den Strassenunterhaltsdiensten</i>	2008	45.–
1222	SVI	2004/074	Freizeitverkehr innerhalb von Agglomerationen <i>Trafic de loisirs dans les agglomérations</i>	2008	45.–
1223	VSS	2003/302	Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung <i>Répercussions et mesures sur le réseau des routes principales en présence d'une gestion des rampes</i>	2008	45.–
1224	VSS	1999/276	Filler – Influence des phyllosilicates pour l'utilisation dans la construction routière <i>Füller – Einfluss von Schichtsilikaten für die Verwendung im Strassenbau</i>	2008	45.–
1225	SVI	1999/328	Gesetzmässigkeiten des Anlieferverkehrs <i>Caractéristiques du transport de livraison</i>	2008	45.–
1226	ASTRA	2003/007	Kommunale Strassennetze in der Schweiz: Formen neuer Public Private Partnership (PPP) – Kooperationen für den Unterhalt <i>Réseaux routiers communaux en Suisse: Formes de nouveaux partenariats publics-privés (PPP) – coopérations pour l'entretien</i>	2008	45.–
1227	VSS	2004/601	Umweltbauabnahme (UBA) <i>Réception environnementale des travaux (RET)</i>	2008	45.–
1228	SVI	2001/508	Mobilitätsmuster zukünftiger Rentnerinnen und Rentner: eine Herausforderung für das Verkehrssystem 2030? <i>Mobilité des futurs retraités – un défi pour le système des transports en 2030?</i>	2008	45.–
1229	SVI	2004/081	Modal Split Funktionen im Güterverkehr <i>Fonctions de répartition modale pour le trafic de marchandises</i>	2008	45.–
1230	SVI	2004/090	Monitoring und Controlling des Gesamtverkehrs in Agglomerationen <i>Monitoring et controlling de l'ensemble du trafic dans les agglomérations</i>	2008	45.–
1231	SVI	2004/045	Mobilitätsmanagement in Betrieben – Motive und Wirksamkeit <i>Gestion de la mobilité dans les entreprises – motifs et efficacité</i>	2008	45.–
1232	ASTRA	2005/008	Low Power Wireless Sensor Network for Monitoring Civil Infrastructure <i>Drahtloses Sensornetzwerk zur Infrastrukturüberwachung</i>	2009	45.–
1233	ASTRA	2000/420	Unterhalt 2000 – Forschungsprojekt FP 2 – Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten <i>Components durables des couches bitumineux</i>	2009	45.–
1234	VSS	2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen <i>In situ Validierung des neuen europäischen Drainometers</i>	2008	45.–

Bericht Rapport Nr./N°	Fachliche Begleitung Suivi techn.	Auftrag Mandat Nr./N°	Titel (Sprache des Berichts) / Titre (langue du rapport) Titel (Übersetzung) / Titre (traduction)	Jahr Année	Preis Prix CHF
1235	VSS	2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen <i>Mésures d'entretiens standardisées</i>	2008	45.–
1236	ASTRA	2008/008 007	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA – AIPCR <i>Analyse comparative des accents stratégiques et des champs d'action prioritaires de l'OFROU et de l'AIPCR</i>	2009	45.–
1237	VSS	2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz <i>Bases pour eCall en Suisse</i>	2009	45.–
1238	VSS	2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen <i>Sécurité routière pour chantiers de courte durée et aux jonctions dans la zone d'un chantier de route à grand débit</i>	2008	45.–
1239	VSS	2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen <i>Bases de dimensionnement pour le renforcement par géosynthétiques</i>	2009	45.–
1240	ASTRA	2002/010 2005/009	L'acceptabilité du péage de congestion: Résultats et analyse de l'enquête réalisée en Suisse Die Akzeptanz von Gebühren zur Vermeidung von Stau auf Strassen: Resultate und Analysen von Untersuchungen in der Schweiz	2009	45.–
1241	ASTRA	2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests <i>Amélioration des informations fournies par l'essai d'orniérage LCPC</i>	2009	45.–
1242	VSS	2005/451	Recycling von Ausbauphosphat in Heissmischgut: Initialprojekt <i>Recyclage des matériaux bitumineux de démolition dans les enrobés à chaud: projet initial</i>	2007	45.–
1243	VSS	2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen <i>Les coûts de l'entretien courant des routes</i>	2008	45.–
1244	VSS	2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen <i>Bénéfice total – rapport avantages/coût des mesures d'entretien standardisées</i>	2008	45.–
1246	VSS	2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert <i>Influences et interactions de l'état de surface et de la portance sur la valeur intrinsèque et la valeur d'usage</i>	2009	45.–
1247	VSS	2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen <i>Exigences à l'équipement routier pour l'utilisation de la bande d'arrêt d'urgence</i>	2008	45.–
1248	VSS	2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt <i>Appréciation des asphaltes coulés routiers par indentation dynamique</i>	2008	45.–
1249	FGU	2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen <i>Facteurs d'influence sur la résistance au feu de structures en béton</i>	2009	45.–
1250	VSS	2005/202	Strassenwasser Filterschacht <i>Traitement des eaux de routes dans des chambres avec sac en géotextile</i>	2009	45.–
1251	VSS	2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux <i>Auswirkung der gerundeten oder teilweise gerundeten Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit des Asphaltbetons</i>	2009	45.–
1252	SVI	2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE) <i>Trafic net des installations générant un trafic important (IGT)</i>	2009	45.–
1253	VSS	2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système «infiltrations sur les talus». Vérification in situ et optimisation <i>Retention der Schadstoffe des Strassenabwassers durch das «über die Schulter Versickerungs-System». In situ Verifikation und Optimierung.</i>	2009	45.–
1254	VSS	2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols <i>Vorfabrizierte, vertikale, thermische Entwässerungsleitungen für die in-situ Konsolidierung von Böden</i>	2009	45.–
1255	VSS	2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit <i>Nouvelles méthodes pour reconnaître et faire respecter la vitesse maximale autorisée</i>	2009	45.–
1256	VSS	2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung <i>Exigences de qualité posées au traitement vidéo numérique pour la surveillance du trafic routier</i>	2009	45.–
1257	SVI	2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen <i>L'influence de l'aménagement de l'espace de la route sur le trafic</i>	2009	45.–
1258	VSS	2005/802	Kapfhaltestellen – Anforderungen und Auswirkungen <i>Arrêt en cap – exigences et effets</i>	2009	45.–

Bericht Rapport Nr./N°	Fachliche Begleitung Suivi techn.	Auftrag Mandat Nr./N°	Titel (Sprache des Berichts) / Titre (langue du rapport) <i>Titel (Übersetzung) / Titre (traduction)</i>	Jahr Année	Preis Prix CHF
1259	VSS	2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement Fahrbahnen; Synthesebericht <i>Rapport de synthèse</i>	2009	45.–
1260	FGU	2005/001	Testeinsatz der Methodik «Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten» anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels <i>Test de la méthode «Prédiction indirecte de zones de venue d'eau au moyen de données thermiques» à l'aide des données du tunnel de base du Lötschberg</i>	2009	45.–
1261	ASTRA	2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen <i>Etude de pilote pour l'évaluation d'une machine mobile à vrai grandeur qui permet de simuler le trafic sur les routes dans une manière accélérée</i>	2009	45.–
1262	VSS	2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche <i>Caractéristique de bruit de couches de roulement en comparaison avec des couches d'asphalte coulé (Gussasphalt) avec surface construite</i>	2009	45.–
1263	VSS	2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins <i>Phénomène des Auftauens von frostempfindlichen Böden in den Infrastrukturen der Verkehrswege und im Permafrost der Alpen</i>	2009	45.–
1264	SVI	2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung Eine systematische Prozess- und Kommunikationsanalyse <i>Politique des transports: la prise de décision dans la planification des transports</i> <i>Une analyse méthodique des processus et de la communication</i>	2009	45.–
1265	VSS	2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung) <i>Relation entre les propriétés diélectriques des revêtements routiers et leur condition</i>	2009	45.–
1267	VSS	2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik am Beispiel der Verkehrsdaten <i>Utilisation des standards d'échange de données basés modélisation pour la télématique des transports routiers à l'exemple des données de trafic</i>	2009	45.–
1268	ASTRA	2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART) <i>PM10 emission factors of abrasion particles from road traffic</i>	2009	45.–
1269	VSS	2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen <i>Evaluation of road restraint systems in central reserves of motorways</i>	2009	45.–
1270	VSS	2005/502	Interaktion Strasse – Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung <i>Interaction route – stabilité des versants: Monitoring et calcul à rebours</i>	2009	45.–
1271	VSS	2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen <i>Entretien des écrans antibruit</i>	2009	45.–
1272	VSS	2007/304	Verkehrsregelungssysteme – Behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen <i>Aménagement des feux de signalisation pour les personnes à mobilité réduite ou âgées</i>	2010	45.–
1274	SVI	2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung <i>Applications des modèles simulations dans le domaine de planification en transport marchandises</i>	2009	45.–
1275	ASTRA	2006/016	Dynamic Urban Origin-Destination Matrix Estimation Methodology <i>Méthodologie pour l'estimation de matrices origine-destination dynamiques en réseau urbain</i>	2009	45.–
1276	VSS	2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien <i>Revision des courbes de variation caractéristiques suisses</i>	2010	45.–
1277	SVI	2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr – Vorstudie <i>Niveaux de service multimodales de la circulation routière – études préliminaires</i>	2010	45.–
1278	ASTRA	2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit – Verkehrstechnischer Teilbericht <i>Influence des systèmes d'information embarqués sur le comportement de conduite et la sécurité routière – Rapport partiel d'ingénierie de la circulation</i>	2009	45.–
1279	VSS	2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel <i>Capacité des giratoires à deux voies de circulation</i>	2009	45.–
1283	VSS	2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen <i>Bases pour une procédure de dimensionnement différenciée pour infrastructures de trafic</i>	2008	45.–