



Beschleunigte Alterungsmethode von heiss verarbeitbaren Fugenmassen zur Simulation des Einbaus

Méthode de vieillissement accéléré des produits de scellement de joints appliqués à chaud pour simuler le processus d'installation

Accelerated aging method for hot applied joint sealants to simulate the installation process

**Empa Dübendorf, Abteilung Strassenbau/Abdichtungen
Sivotha Hean, Dipl. Chemiker HTL**

**Forschungsprojekt VSS 2005/404 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

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

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

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

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

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

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

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

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



Beschleunigte Alterungsmethode von heiss verarbeitbaren Fugenmassen zur Simulation des Einbaus

Méthode de vieillissement accéléré des produits de scellement de joints appliqués à chaud pour simuler le processus d'installation

Accelerated aging method for hot applied joint sealants to simulate the installation process

**Empa Dübendorf, Abteilung Strassenbau/Abdichtungen
Sivotha Hean, Dipl. Chemiker HTL**

**Forschungsprojekt VSS 2005/404 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Sivatha Hean, EMPA Dübendorf, 8600 Dübendorf

Mitglieder

Federführende Fachkommission

Fachkommission 4: Baustoffe

Begleitkommission

Präsident

Andreas Bernhard, Tecnotest AG, 8803 Rüschlikon

Mitglieder

Frei Kurt; Walo Bertschinger AG, Neuhalterring 8, 6030 Ebikon

Grimm Claude, CTW AG, Bizenenstr. 50, 4132 MuttENZ

Köppel Philipp, Densokor AG, Lohwisstr. 46, 8123 Ebmatingen

Lehmann Pierre, CES Bauingenieur AG, Güterstr. 3, 6060 Sarnen 2

Neubauer Oskar, Müllerwis 2, 8606 Greifensee

Roser Paul, Ahornstr. 14, 4118 Rodersdorf

Werner Rolf, BEVBE, Herenholzweg 5, 8906 Bonstetten

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	11
Summary	15
1 Zielsetzung.....	19
1.1 Ausgangslage	19
1.2 Auftrag und Forschungsziele	19
1.3 Vorgehen und Methodik	20
2 Untersuchte Materialien	21
2.1 Probenentnahme.....	21
2.2 Heiss verarbeitbare Fugenmassen	21
3 Prüfungen	23
3.1 Alterungsverfahren.....	23
3.1.1 Alterungsmethode A.....	23
3.1.2 Alterungsmethode B.....	23
3.1.3 Alterungsmethode C	24
3.1.4 Alterungsmethode D	24
3.2 Prüfverfahren.....	25
3.2.1 Konus-Penetration	25
3.2.2 Erweichungspunkt Ring- und Kugel.....	26
3.2.3 Elastische Rückstellung mittels Duktilität bei 0°C (ERD).....	27
3.2.4 Dehn- und Haftvermögen bei diskontinuierlicher Dehnung	28
3.2.5 Gelpermeationschromatographie (GPC)	29
4 Prüfergebnisse	31
4.1 Fugenmassen im Anlieferungszustand	31
4.1.1 Vorgehen.....	31
4.1.2 Ergebnisse	31
4.2 Zustand der Fugenmassen nach dem Einbau und den Alterungen im Labor	33
4.2.1 Vorgehen.....	33
4.2.2 Ergebnisse Fugenmasse FM1	34
4.2.3 Ergebnisse Fugenmasse FM2	35
4.2.4 Ergebnisse Fugenmasse FM3	37
4.2.5 Ergebnisse Fugenmasse FM4	38
4.2.6 Ergebnisse Fugenmasse FM5	39
4.2.7 Ergebnisse Fugenmasse FM6	40
4.2.8 Ergebnisse Fugenmasse FM7	41
5 Diskussion	43
5.1 Qualität der Fugenmassen im Anlieferungszustand	43
5.1.1 Eigenschaften gemäss der Norm EN 14188-1:2004	43
5.1.2 Allgemeine Eigenschaften.....	44
5.2 Einfluss der Einbaubedingung bei Applikation der Fugenmasse.....	46
5.2.1 Einfluss der Einbautemperatur.....	46
5.2.2 Einfluss der Verweildauer der Fugenmasse im Kocher.....	47
5.3 Eigenschaft der Fugenmassen nach dem Aufschmelzen gemäss Norm EN 13880-6:2004	48
5.4 Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach dem Einbau und nach Anwendung der Alterungsmethoden im Labor.....	49

5.4.1	Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach dem Einbau und der Anwendung von Alterungsmethoden A, B und D im Labor	49
5.4.2	Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach dem Einbau und der Anwendung von Alterungsmethode A im Labor	53
5.4.3	Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach Anwendung der Alterungsmethoden A und B	53
5.4.4	Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach Anwendung der Alterungsmethoden A und D	54
6	Schlussfolgerungen	55
6.1	Qualität der Fugenmassen auf dem Schweizer Markt.....	55
6.2	Aufschmelzen der Fugenmasse gemäss Norm EN 13880-6	55
6.3	Eignung der Voralterungsmethoden der Fugenmassen	56
6.4	Einfluss des Einbaus und der Einbautemperatur	57
7	Empfehlungen für die Praxis	59
7.1	Massnahmen zur Verbesserung der Qualität der Fugenmassen auf dem Markt.....	59
7.2	Vorschlag zu Norm EN 13880-6:2004	59
7.3	Empfehlung zur Applikation der Fugenmassen	59
	Glossar.....	61
	Literaturverzeichnis.....	62
	Projektabschluss	63
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	67

Zusammenfassung

Ausgangslage

Heiss verarbeitbare Fugenmassen kommen zum Abdichten und Füllen von Längs- und Quertugen in Betonbelägen und bei Belagsanschlüssen auf Strassen, Brücken, Flugplätzen sowie bei Hoch- und Tiefbauten zur Anwendung. Sie dichten Fugen gegenüber Wasser sowie allfällige Agentien (z.B. Salzwasser). Damit erfüllen sie eine Schutzfunktion und tragen entscheidend zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Bauwerken sowie zur Vermeidung kostspieliger, häufig zunächst versteckter Schäden bei. Um ihrer Funktion gerecht zu werden, müssen sie während der gesamten Gebrauchsdauer unter Einwirkung von Verkehr und klimatischen Änderungen an den Fugenwänden gut haften sowie dehnfähig sein.

In der Forschungsarbeit VSS1991/003 (Bericht 1052) [5] wurden u.a. zwei Schlussfolgerungen getroffen:

- Der Zustand der heiss verarbeitbaren Fugenmassen nach dem Einbau ist massgebend für die Dauerhaftigkeit.
- Es gab zwei Gruppen von Fugenmassen auf dem Markt: "stabil" und "unstabil" nach normalem, fachgerechtem Einbau. Eine Untersuchung am Material im Anlieferungszustand einer unstabilen Fugenmasse ohne Voralterung (ähnlich wie der Aufschmelzprozess beim Einbau) kann die wirkliche Eigenschaft in der Praxis nicht wiedergeben.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde bei der CEN-Normierung in der Norm EN 14188-1:2004 [15] festgelegt, dass die Fugenmassen bei der Sicherheitsüberhitzungstemperatur während 6 Stunden unter Rühren (gemäss EN 13880-6:2004 [19]) vorgealtert werden müssen, bevor deren Eigenschaften bestimmt werden. Diese Voralterung der Fugenmassen-Proben löste bei den Herstellern Verunsicherung aus, da sie befürchteten, dass ihre Fugenmassen die Anforderungen der Norm EN 14188-1:2004 [15] nicht mehr erfüllen könnten.

Aufgabenstellung und Vorgehen

Dieses Projekt behandelt die Frage, ob die Voralterung im Labor gemäss EN 13880-6:2004 aufgrund verschiedener Faktoren derjenigen beim Einbau in der Praxis entspricht. In diesem Zusammenhang soll laborseitig der Einfluss des Aufschmelzprozesses der heiss verarbeitbaren Fugenmassen in der Praxis simuliert und evaluiert werden. Dabei wird überprüft, ob die thermische Voralterung im Labor der heiss verarbeitbaren Fugenmassenproben gemäss Norm EN 13880-6:2004, jener beim Einbau in der Praxis entspricht. Verschiedene zusätzliche, beschleunigte Voralterungsmethoden zur Simulation der Alterung während des Einbauprozesses werden evaluiert und, falls möglich eine neu entwickelte Methode als Ersatz bzw. Ergänzung von EN 13880-6:2004 vorgeschlagen. Die Erkenntnisse über das Alterungsverhalten der Fugenmassen während des Aufschmelzprozesses beim Einbau werden den praktischen Anwendern zur Verfügung gestellt.

Hierzu werden an sieben Bauobjekten unterschiedliche heiss verarbeitbare Fugenmassen (Typ N1 und N2) im Anlieferungszustand (samt zugehörigen Voranstrichen) sowie beim Vergiessen in unterschiedlichen Zeitabständen (bei Einbaubeginn und –ende) entnommen. Die entnommenen Proben im Anlieferungszustand werden Hitzeeinwirkung gemäss EN 13880-6:2004 sowie mittels anderen Voralterungsmethoden ausgesetzt. Physikalische und chemische Untersuchungen sowie Funktionsprüfungen werden an den Proben im Anlieferungszustand (ohne Voralterung), nach Laborvoralterungen (gemäss EN 13880-6:2004 und anderen Methoden) und an den Proben nach dem Einbau unterzogen. Die Änderung der Probeneigenschaften durch den Einbau und die Laborvoralterungsmethoden werden verglichen; daraus wird eine Alterungsmethode ausgewählt, die der Praxis am nächsten kommt und sich gleichzeitig für einen effizienten Ausführungsablauf im Labor anbietet.

Berechtigung der Probenvorbereitung gemäss EN 13880-6:2004

Die Arbeit hat gezeigt, dass die gemäss EN 13880-6:2004 [19] während sechs Stunden aufgeschmolzenen Fugenmassenproben überwiegend ähnliche Eigenschaften wie die Proben nach normalem Einbau (ohne Überhitzung) aufwiesen. Auch die Qualität der untersuchten Fugenmassen wurde durch die thermische Beanspruchung beim Aufschmelzen gemäss Norm EN 13880-6:2004 nicht verschlechtert.

Somit kann eine Verschlechterung der Qualität der Fugenmassen durch das Aufschmelzen nach EN 13880-6:2004 vor der Prüfkörperherstellung ausgeschlossen werden. Aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit kann zudem bestätigt werden, dass die damalige Entscheidung der europäischen Kommission für die Probenvorbereitung gemäss der EN 13880-6:2004 der heiss verarbeitbaren Fugenmassen richtig und fachgerecht war.

Empfehlungen für die Praxis

Vorschlag neuer Voralterungsmethode

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Voralterungsmethode unter Einwirkung von Temperatur und Luftzufuhr zum Aufschmelzen der Fugenmassen-Proben ungeeignet ist. Die Polymere in den Fugenmassen haben sich infolge Oxidation durch Luftzufuhr bereits während drei Stunden bei der Sicherheitsüberhitzungstemperatur stark zersetzt. Dadurch haben sich die Eigenschaften der vorgealterten Fugenmassen negativ verändert.

Die Eigenschaften der Fugenmassen nach der Voralterung

- Methode A (gemäss EN 13880-6:2004, Aufschmelzen während sechs Stunden bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, ohne Luftzufuhr) und
 - Methode D (gleich wie Methode A, aber Aufschmelzung nur während drei Stunden)
- waren im Vergleich zu denjenigen des normalen Einbaus (ohne Überhitzung) überwiegend ähnlich.

Somit sind thermische Voralterungen der Fugenmassen ohne Einwirkung der Luft am geeignetsten. Um Zeit und Energie zu sparen, wird vorgeschlagen, die Proben-Aufschmelzung von heiss verarbeitbaren Fugenmassen im Labor während 6 Stunden nach Alterungsmethode A (gemäss EN 13880-6:2004) durch die Voralterungsmethode D (Aufschmelzung während 3 Stunden) zu ersetzen.

Vorschlag zur Verbesserung der mangelnden Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassen auf dem Markt

Die Arbeit hat gezeigt, dass die Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassen auf dem Markt zurzeit sehr kritisch ist. Fast die Hälfte der untersuchten Fugenmassen (eine aus der Schweiz und zwei aus dem Ausland) erfüllten die Anforderung der wichtigen Systemprüfung "Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung" gemäss Norm EN 13880-13:2003 nicht. Ein Nicht-Erfüllen der Anforderung dieser Prüfung kann gemäss Erfahrung die Dauerhaftigkeit des Bauobjektes gefährden.

Der Grund für die mangelhafte Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassen auf dem Schweizer Markt könnte an der wenig griffigen Regelung des "Systems der Konformitätsbescheinigung" für die heiss verarbeitbaren Fugenmassen gemäss Norm EN 14188-1:2004 liegen. Gemäss Tabelle ZA.2 dieser Norm gehören die heiss verarbeitbaren Fugenmassen für den Anwendungszweck "Fugen in Strassen, Flugplätzen, Brückenfläche, Parkdecks usw." zum System der Konformitätsbescheinigung Nr. 4 gemäss EU-Bauprodukttrichtlinie "Richtlinie 89/106/EWG (BPR), Anhang III.2(ii), Möglichkeit 3". Beim System der Konformitätsbescheinigung Nr. 4 handelt es sich um eine Konformitätserklärung des Herstellers für das Produkt anhand der Erstprüfung und der werkseigenen Produktionskontrolle durch den Hersteller. Das bedeutet, dass dieser die Möglichkeit hat, die Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassen sowohl bei Erstprüfung als auch bei

regelmässiger werkseigener Produktionskontrolle selber zu bestimmen sowie zu deklarieren, ohne dass eine Kontrolle durch eine Instanz erfolgt.

Bei Verwendung von heiss verarbeitbaren Fugenmassen mit schlechtem Adhäsions- und Dehnverhalten ist das Versagen der Fuge am Objekt bereits vorprogrammiert. Undichte Fugen, z.B. wegen Flankenablösung oder Rissbildung in der Fugenmasse, verursachen ein Undichtwerden der Fuge mit Folgeschäden am Bauobjekt. Um die Qualität der heissverarbeitbaren Fugenmassen auf dem Markt zu verbessern, muss die Definition der „Systeme der Konformitätsbescheinigung“ in der EN 14188-1:2004 [15] daher neu festgelegt werden, und zwar so, dass die Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassesysteme durch eine zertifizierte Stelle überprüft wird.

Vorschlag zur Applikation von heiss verarbeitbaren Fugenmassen

Neben der Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassen im Anlieferungszustand ist das Vorgehen beim Einbau der Fugen für deren Lebensdauer von entscheidender Bedeutung. Die Eigenschaften der Fugenmassen im Anlieferungszustand können sich sehr stark durch den Einbau verändern, z.B. durch Überhitzung oder zu lange Verweildauer der Fugenmassen im Ofen. Die Beschaffenheit der Fugenflanken und die Applikation der Voranstriche beeinflussen die Haftung der Fugenmassen am Beton sowie die Blasenbildung im Betrieb. Aber auch die Fugenfüllung ist für die Verbindung zwischen den Fugenmassen-Schichten sowie zwischen den Fugenmassen und Betonflanken sehr wichtig. Entsprechende Empfehlungen für die Ausführung der Fugenabdichtung mit heiss verarbeitbaren Fugenmassen werden in dieser Arbeit unterbreitet.

Résumé

Situation initiale

Les produits de scellement de joints appliqués à chaud s'utilisent pour l'étanchéification des joints longitudinaux et transversaux des revêtements en béton et des joints de raccordement des enrobés bitumineux sur les routes, les ponts, les aérodromes ainsi que sur les ouvrages de génie civil. Ils assurent l'étanchéité des joints contre l'eau et les autres agents éventuels (p.ex. eau salée). Ils assument ainsi une fonction protectrice et contribuent de façon décisive à accroître de la durabilité des ouvrages ainsi qu'à éviter des dommages, souvent dans un premier temps cachés, aux conséquences coûteuses. Pour assurer leur fonction, ils doivent conserver leur élasticité et une bonne adhérence sur les flancs des joints sous l'influence du trafic et des variations climatiques sur toute leur durée de vie.

Le travail de recherche VSS1991/003 (rapport 1052) [5] avait permis, entre autres, de tirer deux conclusions:

- L'état du produit de scellement de joints appliqué à chaud après sa pose est déterminant pour la durabilité.
- Il existe sur le marché deux groupes de produits de scellement de joints appliqués à chaud: des produits «stables» et des produits «instables» après une pose normale exécutée selon les règles de l'art. Un examen réalisé à l'état de livraison sur un produit de scellement instable sans vieillissement préalable (correspondant au processus de fusion lors de la pose) ne permet pas de déterminer les caractéristiques réelles du produit en pratique.

Au vu de ces faits, la normalisation CEN a fixé dans la norme EN 14188-1:2004 [15] que ces produits de scellement devaient subir un vieillissement préalable d'une durée de 6 heures avec remuage constant à leur température de sécurité contre la surchauffe (selon EN 13880-6:2004 [19]) avant la détermination de leurs caractéristiques. Cette exigence d'un vieillissement préalable d'échantillons de produits de scellement de joints appliqués à chaud a provoqué l'inquiétude des producteurs qui craignaient que leur produits de scellement ne puissent plus satisfaire aux exigences de la norme EN 14188-1:2004 [15].

But et méthodologie

Ce projet était destiné à déterminer au vu de différents facteurs si le vieillissement préalable en laboratoire selon la norme EN 13880-6:2004 correspondait aux conditions de pose dans la pratique. Pour cela on a eu recours à la simulation en laboratoire et à l'évaluation de l'influence dans la pratique du processus de fusion des produits de scellement de joints appliqués à chaud. Ceci pour vérifier si le vieillissement thermique préalable en laboratoire de ces produits de scellement selon la norme EN 13880-6:2004 correspondait à celui qui se produit en pratique lors de leur pose. Différentes méthodes de vieillissement préalable accéléré supplémentaires destinées à simuler le comportement au vieillissement durant la pose ont été évaluées pour éventuellement proposer une nouvelle méthode en remplacement ou en complément de celle de la norme EN 13880-6:2004. Les connaissances acquises sur le comportement au vieillissement des produits de scellement de joints appliqués à chaud durant le processus de fusion lors de la pose seront mises à disposition des utilisateurs de la pratique.

A cette fin on a prélevé sur sept ouvrages des échantillons de différents produits de scellement de joints appliqués à chaud (des types N1 et N2) à différents intervalles lors du coulage (au début et à la fin de la pose) ainsi que des échantillons de ces produits à l'état de livraison (avec les enduits d'apprêts correspondants). Les échantillons des produits à l'état de livraison ont été soumis à une action de la chaleur selon la norme EN 13880-6:2004 et aussi à un vieillissement préalable avec d'autres méthodes. Des essais physiques et des analyses chimiques ainsi des essais fonctionnels ont été effectués sur les

échantillons à l'état de livraison (sans vieillissement préalable), après vieillissement en laboratoire (selon la norme EN 13880-6:2004 et d'autres méthodes) et sur les échantillons prélevés lors de la pose. Les modifications des caractéristiques des échantillons provoquées par la pose et par les méthodes de vieillissement en laboratoire ont été comparées. Ceci pour choisir une méthode qui provoque un vieillissement qui se rapproche le plus de celui qui se produit en pratique et qui assure aussi une exécution efficace en laboratoire.

Justification de la préparation des échantillons selon EN 13880-6:2004

Ce travail a montré que les caractéristiques des échantillons de produits de scellement fondus durant six heures selon la norme EN 13880-6:2004 [19] étaient d'une manière générale semblables à celles des échantillons après une pose normale (sans surchauffe). La fusion selon la norme EN 13880-6:2004 ne provoquait pas non plus de détérioration de la qualité des produits de scellement examinés.

On peut ainsi exclure que la fusion selon la norme EN 13880-6:2004 avant la confection des éprouvettes provoque une détérioration de la qualité des produits de scellement. Les résultats du présent travail confirment de plus que la décision prise alors par la Commission européenne de prescrire dans la norme EN 13880-6:2004 un vieillissement préalable des éprouvettes des produits de scellement de joints appliqués à chaud était justifiée et conforme aux règles de l'art.

Recommandations pour la pratique

Proposition d'une nouvelle méthode de vieillissement préalable

Les résultats du présent travail ont montré que la méthode de vieillissement préalable par action de la température avec une inclusion d'air n'est pas appropriée pour la préparation des échantillons des produits de scellement. Les polymères qui renferment les produits de scellement étaient déjà fortement décomposés suite à l'oxydation provoquée par l'apport d'air au cours de trois heures de chauffage à la température de sécurité contre la surchauffe. Ce mode de vieillissement préalable provoque ainsi une détérioration des caractéristiques des produits de scellement.

Les caractéristiques des produits de scellement après vieillissement préalable avec

- méthode A (selon EN 13880-6:2004, fusion durant six heures à la température de sécurité contre la surchauffe, sans apport d'air) et
- méthode D (identique à méthode A, mais fusion durant trois heures seulement)

étaient en majeure partie semblables à celles qui découlent d'une pose normale (sans surchauffe).

Ainsi les méthodes de vieillissement préalable des produits de scellement sans action de l'air sont les mieux appropriées. Afin d'économiser du temps et de l'énergie, il est proposé de remplacer la fusion des échantillons des produits de scellement de joints à chaud durant 6 heures selon la méthode de vieillissement A (selon EN 13880-6:2004) par la méthode de vieillissement préalable D (fusion durant 3 heures).

Proposition d'amélioration de la qualité insuffisante des produits de scellement de joints appliqués à chaud du marché

Ce travail a montré que la qualité des produits de scellement de joints appliqués à chaud offerts sur le marché est actuellement très critique. Près de la moitié des produits de scellement examinés (un de provenance suisse et deux de provenance étrangère) ne remplassaient pas les exigences de l'essai important qu'est l'essai de la détermination de la traction discontinue (essai d'adhérence) selon la norme EN 13880-13:2003. L'expérience

montre que la non-satisfaction de cette exigence peut mettre en danger la durabilité de l'ouvrage.

La raison de cette qualité insuffisante des produits de scellement de joints appliqués à chaud en vente sur le marché suisse pourrait être due à la réglementation trop vague du «Système d'attestation de la conformité» pour les utilisations des produits de scellement de joints appliqués à chaud de la norme EN 14188-1:2004. Selon le tableau ZA.2 de cette norme, les produits de scellement de joints appliqués à chaud pour les «joints des routes, pistes d'aéroports, surfaces des ponts, dalles de parking, etc.», viennent se classer dans le système d'attestation de conformité No 4 selon la «Directive sur les produits de construction 89/106/CEE, appendice III.2(ii), possibilité No 3». Le système d'attestation de conformité No 4 consiste en une déclaration de conformité établie par le fabricant sur la base d'un contrôle initial et d'un contrôle de production interne effectué par le fabricant. Ceci signifie que ce dernier a la possibilité de fixer lui-même la qualité des produits de scellement de joints appliqués à chaud aussi bien lors de l'examen initial que lors des contrôles internes et de les déclarer sans qu'il y ait un contrôle effectué par une instance extérieure.

Avec l'utilisation de produits de scellement de joints appliqués à chaud présentant un mauvais comportement d'adhérence et de cohésion, la défaillance des joints sur les ouvrages est préprogrammée. Des joints devenus non étanches, p. ex. suite à un décollement des flancs ou d'une fissuration du produit de scellement, entraînent l'apparition de dommages sur les ouvrages. Afin d'améliorer la qualité des produits de scellement de joints appliqués à chaud offerts sur le marché, il est nécessaire de fixer une nouvelle définition du système d'attestation de conformité dans la norme EN 14188-1:2004 [15], et ceci de manière à ce que la qualité des produits de scellement de joints appliqués à chaud soit vérifiée par un organisme certifié.

Proposition pour la pose des produits de scellement de joints appliqués à chaud

A côté de la qualité des produits de scellement de joints appliqués à chaud à leur état de livraison, le mode opératoire lors de la réalisation des joints est d'une importance décisive pour la durée de vie des joints. Les caractéristiques des produits de scellement à leur état de livraison peuvent se modifier très fortement lors de la pose, p. ex. du fait d'une surchauffe ou d'un séjour trop long du produit de scellement dans le four. La conformation des flancs des joints et l'application de l'enduit d'apprêt influencent l'adhérence du produit de scellement sur le béton ainsi que la formation de cloques en exploitation. Mais les modalités de remplissage des joints elles aussi sont très importantes pour la liaison entre les couches de produit de scellement ainsi qu'entre le produit de scellement et les flancs de béton. Des recommandations correspondantes pour la réalisation des joints d'étanchéité avec les produits de scellement de joints appliqués à chaud sont aussi données dans le présent travail.

Summary

Background

Hot applied joint sealants are used for sealing and filling longitudinal and transverse joints in concrete flooring and connecting joints for asphalt pavements on roads, bridges and airfields, as well as in building construction and civil engineering. They seal joints against water and possible chemical agents (e.g. salt water). They therefore have a protective function and contribute significantly towards increasing the durability of structures and preventing costly, often initially hidden damage. In order to fulfil their function properly, they must adhere well to the joint walls throughout the entire service life under the influence of traffic and climatic changes, and they must be extensible.

Research project VSS1991/003 (report 1052) [5] led to the following two conclusions, among others:

- The state of hot applied joint sealants after installation has a decisive effect on durability.
- There were two groups of joint sealants on the market following standard, professional installation: "stable" and "unstable". Studying an unstable joint sealant based on the material in the condition as supplied without pre-ageing (similar to the melting process during installation) cannot reflect the actual characteristic in practice.

Based on these findings, during the CEN standardisation process, it was stipulated in EN 14188-1:2004 [15] that the joint sealants must be pre-aged for 6 hours at the safe heating temperature while stirring (in accordance with EN 13880-6:2004 [19]) before its properties are determined. This pre-ageing of joint sealant samples caused uncertainty among manufacturers who feared that the joint sealants would no longer meet the requirements of the standard EN 14188-1:2004 [15].

Scope and procedure

This project is concerned with the question of whether the laboratory pre-ageing process in accordance with EN 13880-6:2004 corresponds to that used during installation in practice, based on various factors. To this end, the influence of the melting process of the hot applied joint sealants in practice is simulated and evaluated in the laboratory. Investigations are carried out to establish whether the thermal ageing of the hot applied joint sealant in the laboratory in accordance with standard EN 13880-6:2004 corresponds to that during installation in practice. Several additional, accelerated pre-ageing methods to simulate the ageing during the installation process are evaluated and, where possible, a newly developed method is proposed to replace or supplement EN 13880-6:2004. Findings on the ageing behaviour of the joint sealants during the melting process during installation are made available to practitioners.

To this end, different hot applied joint sealants (type N1 and N2) are taken from seven different building sites in the condition as supplied (including associated primers) and during casting at different time intervals (at the beginning and end of installation). The samples taken in the condition as supplied are exposed to the influence of heat in accordance with EN 13880-6:2004 and by other pre-ageing methods. Physical and chemical investigations and functional tests are carried out on the samples in the condition as supplied (without pre-ageing), after laboratory ageing (according to EN 13880-6:2004 and other methods) and on the samples after installation. The change in the sample properties due to installation and the laboratory ageing methods are compared; from this, an ageing method is selected that most closely approximates installation in practice and at the same time can also be carried out efficiently in the laboratory.

Justification of sample preparation in accordance with EN 13880-6:2004

The study showed that the joint sealant samples melted for six hours in accordance with EN 13880-6:2004 [19] exhibited largely similar characteristics to the samples after normal installation (without overheating). Furthermore, the quality of the tested joint sealants was not impaired by the thermal stressing caused by melting in accordance with standard EN 13880-6:2004.

Thus, deterioration of the quality of joint sealants due to melting in accordance with EN 13880-6:2004, before the test samples are made up, can be ruled out. The findings of this study also confirm that the earlier decision of the European Commission on the sample preparation of hot applied joint sealants in accordance with EN 13880-6:2004 was appropriate and technically correct.

Practical recommendations

Proposal of a new ageing method

The findings demonstrated that the ageing method using temperature and the supply of air is unsuitable for melting the joint sealant samples. The polymers in the joint sealants degraded heavily as a result of oxidation caused by the supply of air after just three hours at the safe heating temperature. This resulted in a negative change in the properties of the pre-aged joint sealants.

The properties of joint sealants after pre-ageing using

- method A (in accordance with EN 13880-6: 2004, melting for six hours at the safe heating temperature without air supply) and
- method D (same as method A, but melting for only three hours)

were largely similar in comparison to those after normal installation (without overheating).

Thermal pre-ageing processes for joint sealants without the influence of air are therefore the most suitable. To save time and energy, it is proposed that the sample melting of hot applied joint sealants in the laboratory for 6 hours according to ageing method A (in accordance with EN 13880-6:2004) is replaced by ageing method D (melting for 3 hours).

Proposal to improve the poor quality of the hot applied joint sealants on the market

The study showed that the quality of the hot applied joint sealants on the market is currently a matter of serious concern. Almost half of the joint sealants examined (one from Switzerland and two from abroad) did not meet the requirement of the important system test for the "Determination of the discontinuous extension (adherence test)" as per standard EN 13880-13:2003. Experience shows that non-fulfilment of the requirements of this test can compromise the durability of a building structure.

The reason for the poor quality of the hot applied joint sealants on the Swiss market could be due to the poor regulation of the "System of Attestation of Conformity" for hot applied joint sealants in accordance with standard EN 14188-1:2004. According to Table ZA.2 of this standard, hot applied joint sealants for use as "joints in roads, airfields, bridge decks, parking decks, etc." come under System of Attestation of Conformity 4 as per the EU Construction Products Directive, "Directive 89/106/EEC (CPD), Annex III.2(ii), Third possibility". System of Attestation of Conformity 4 involves a declaration of conformity for the product by the manufacturer based on initial type-testing and factory production control. This means that the manufacturer itself is able to determine and declare the quality of hot applied joint sealants, both in initial type-testing and in regular factory production control without any checks being carried out by an independent authority.

When hot applied joint sealants with poor adhesion and expansion behaviour are used, the joint in the structure will inevitably fail. When joints are not watertight, for example due to edge detachment or cracking of the joint sealant, the joint leaks, resulting in subsequent damage to the building structure. In order to improve the quality of hot applied joint sealants on the market, the definition of the "systems of attestation of conformity" in EN 14188-1:2004 [15] therefore needs to be redefined so that the quality of hot applied joint sealant systems is verified by a certifying body.

Proposal on the application of hot applied joint sealants

As well as the quality of hot applied joint sealants in the condition as supplied, the procedure for installing the joints is also vitally important with regard to their service life. The properties of joint sealants in the condition as supplied can change significantly during installation, for example, if the joint sealants are overheated or remain for too long in the oven. The quality of the joint edges and the application of primers affect the adhesion of joint sealants to the concrete and the blistering in use. However, the joint filling is also very important in terms of the connection between the joint sealant layers and between the joint sealants and the concrete edges. Appropriate recommendations for carrying out joint sealing with hot applied joint sealants are presented in this project.

1 Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Heiss verarbeitbare Fugenmassen dienen hauptsächlich zum Abdichten und Füllen von Längs- und Quertugen in Betonbelägen namentlich bei Belagsanschlüssen auf Strassen, Brücken, Flugplätzen sowie bei Hoch- und Tiefbauten. Sie erfüllen damit eine Schutzfunktion und tragen bei korrekter Ausführung und Konzipierung zur Vermeidung kostspieliger, häufig zunächst versteckter Schäden und damit entscheidend zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Bauwerken bei.

In der Forschungsarbeit VSS1991/003 (Bericht 1052) [5] wurde festgestellt, dass der Zustand der heiss verarbeitbaren Fugenmassen nach dem Einbau für die Dauerhaftigkeit massgebend ist. Zwei Gruppen von heiss verarbeitbaren Fugenmassen auf dem Markt konnten unterschieden werden: "stabil" und "unstabil" nach normalem, fachgerechtem Einbau. Eine Untersuchung am Material im Anlieferungszustand einer unstabilen Fugenmasse ohne thermische Voralterung kann nicht als repräsentativ für die wirkliche Eigenschaft in der Praxis betrachtet werden. Deshalb wurde empfohlen vor der Untersuchung im Labor, die Proben der heiss verarbeitbaren Fugenmassen im Anlieferungszustand thermisch vorzualtern. Aufgrund dieser Empfehlung wurde bei der CEN-Normierung in der jetzt gültigen Norm EN 14188-1:2004 [15] festgelegt, dass die heiss verarbeitbaren Fugenmassen bei einer Sicherheitsüberhitzungstemperatur während sechs Stunden unter Rühren vorgealtert werden müssen, bevor sie untersucht werden. Die Fugenmassen müssen nach dieser Voralterung alle Anforderungen in der Norm EN 14188-1 erfüllen.

Diese thermische Voralterung der Fugenmassen-Proben löste bei den Herstellern und Händlern Verunsicherung aus, da sie befürchteten, dass ihre Fugenmassen die Anforderungen nicht mehr erfüllen könnten. Es stellte sich die Frage, ob diese Voralterung im Labor gemäss Norm EN 14188-1 aufgrund verschiedener Faktoren derjenigen in der Praxis entspricht. In diesem Zusammenhang sollte auch der Einfluss des Aufschmelzprozesses der heiss verarbeitbaren Fugenmassen in der Praxis soll in dieser Arbeit laborseitig simuliert und evaluiert werden.

1.2 Auftrag und Forschungsziele

Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens umfasst folgende Punkte:

- Überprüfen ob die thermische Voralterung im Labor der heiss verarbeitbaren Fugenmassenproben gemäss Norm EN 13880-6:2004 [19], derjenigen in der Praxis beim Einbau entstricht.
- Entwickeln und Evaluieren einer beschleunigten Voralterungsmethode von heiss verarbeitbaren Fugenmassen zur Simulation der Alterung während des Einbauprozesses. Im positiven Fall wird die neu entwickelte Methode den CEN-Kommissionen als Voralterungsmethode zwecks Ersatz bzw. Ergänzung von EN 14188-1:2004 [15] vorgeschlagen.
- Die Erkenntnisse über das Alterungsverhalten der Fugenmassen während des Aufschmelzprozesses werden den praktischen Anwendern zur Verfügung gestellt.

1.3 Vorgehen und Methodik

Probenahme vor Ort:

Zunächsts wurden bei Bauunternehmungen und Tiefbauämtern Abklärungen über die Einbauten der heiss verarbeitbaren Fugenmassen durchgeführt. Anschliessend wurden an sieben Bauobjekten aktuelle, unterschiedliche Fugenmassen im Anlieferungszustand und im vergossenen Zustand nach unterschiedlichen Zeitabständen entnommen. Die Bedingungen des Aufschmelzens, wie die Temperaturen, die Verweildauer der Fugenmassen im Kocher wurden erfasst und dokumentiert.

Laboruntersuchungen:

Die entnommenen Proben im Anlieferungszustand wurden im Labormassstab mit verschiedenen Methoden vorgealtert:

- A. gemäss EN 13880-6:2004 „*Prüfverfahren zur Vorbereitung von Proben für die Prüfung*“ [19]: Rühren bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur während sechs Stunden, ohne Luftzufuhr
- B. in Anlehnung an EN 12607-3:2007 „*Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft - Teil 3: RFT-Verfahren*“ [16]: Alterung im rotierenden Rundkolben bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, mit Luftzufuhr, für eine Zeitspanne von 3 Stunden
- C. in Anlehnung an EN 14769:2005 „*Beschleunigte Langzeit-Alterung mit einem Druckalterungsbehälter; PAV*“ [17]: Alterung unter einem Druck von 2.1MPa, bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, für eine Zeitspanne von 3 Stunden
- D. wie Methode A, aber Rühren bei einer Sicherheitsüberhitzungstemperatur während nur 3 Stunden

Folgende physikalische und chemische Untersuchungen sowie Funktionsprüfungen wurden an den Proben im Anlieferungszustand, nach dem Einbau und nach Laboralterungen unterzogen:

- Konus-Penetration bei 25°C gemäss EN13880-2:2003 [18]
- Erweichungspunkt Ring- und Kugelverfahren gemäss EN 1427:2007 [21]
- Elastische Rückstellung bei 0°C mittels Duktilität gemäss ETAG 032/Teil 3 (Mai 2013) [13]
- Zustand der Polymere mittels GPC gemäss ETAG 032/Teil 3 (Mai 2013) [13]
- Dehn- und Haftvermögen bei diskontinuierlicher Dehnung gemäss EN13880-13:2003 [20].

Bewertung der Laboralterungsmethoden:

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse wurden die durchgeführten Voralterungsmethoden inklusive EN 13880-6:2004 [19] validiert und deren Simulationseffekt für die Praxis hinsichtlich ihrer praktischen Aussage beurteilt. Eine Alterungsmethode, die zu etwa den gleichen Eigenschaftsänderungen der Fugenmassen wie beim Einbau führte, wurde ausgewählt und als brauchbare, praxisnahe Voralterungsmethode weiter optimiert.

2 Untersuchte Materialien

2.1 Probenentnahme

Zur Realisierung des Projektes wurden Baustellen bei verschiedenen Tiefbauämtern und Bauunternehmungen gesucht, bei denen eine Fugenabdichtung mit heiss verarbeitbaren Fugenmassen realisiert wurde. An sieben Bauobjekten (siehe *Tabelle 2.1*) mit Fugenabdichtungen konnten durch sieben unterschiedliche Unternehmungen Proben vor und während des Einbaus entnommen werden. Bei den Proben handelte es sich um

- heiss verarbeitbare Fugenmasse im Anlieferungszustand (noch nicht geschmolzen),
- dazu gehöriger Voranstrich,
- geschmolzene Fugenmasse beim Einbaubeginn
- geschmolzene Fugenmasse beim Einbauende.

Die Temperaturen der heiss verarbeitbaren Fugenmassen im Ofen wurden im Verlauf des Einbaus gemessen.

2.2 Heiss verarbeitbare Fugenmassen

Die entnommenen, heiss verarbeitbaren Fugenmassen gehören zu den in EN 14188-1:2004 definierten Typen N1 (elastisch – hoch dehnfähig) und N2 (normal – geringer dehnfähig). Sie sind mit FM1 bis FM7 verschlüsselt. Ausser FM4 wurden alle Fugenmassen mit einem Voranstrich angewendet (siehe *Tabelle 2.1*).

Tab. 2.1 Beim Einbau am Objekt entnommene, heiss verarbeitbare Fugenmassen (FM)

Bezeichnung der Fugenmasse	Typ	Verwendet mit Voranstrich?	Fugenapplikation		
			Objekt/Ort	Bauherr	Einbautemperatur [°C]
FM1	N1	ja	Überführung Neue Winterthurstrasse; Wallisellen	TB ZH	180 - 186
FM2	N1	ja	Tramschienen am Rigiplatz; Stadt Zürich	TB Stadt Zürich	186 – keine Angabe*)
FM3	N1	ja	Stahlbrücke; Koblenz	TB AG	180 - 188
FM4	N2	nein	Neubuchsstrasse, Rissanierung; Buchs	TB AG	180 - 182
FM5	N2	ja	Betonbrücke über Hecker; Hemberg	TB SG	185 - 199
FM6	N2	ja	Überführung Neue Winterthurstrasse; Wallisellen	TB ZH	180 - 185
FM7	N2	ja	Firmenareal, Rissanierung; Muttenz	Firma CTW	172 - 175

N1: elastisch - hoch dehnfähig (Typenbezeichnung gemäss EN 14188-1)

N2: normal - geringer dehnfähig (Typenbezeichnung gemäss EN 14188-1)

TB: Tiefbauamt

*) Einbauende war gemäss Bauunternehmung etwa um 4:30Uhr morgens; die Messung der Temperatur der Fugenmasse im Kocher wurde vergessen.

3 Prüfungen

3.1 Alterungsverfahren

Der Einfluss des Aufschmelzprozesses der heiss verarbeitbaren Fugenmassen in der Praxis wurde im Labor simuliert und evaluiert. Die entnommenen Proben der Fugenmassen im Anlieferungszustand wurden im Labormassstab mit verschiedenen Alterungsmethoden, inklusive die Voralterungsmethode gemäss EN 13880-6:2004 [19] beansprucht. Folgende Parameter sind wesentlich: Menge der Fugenmasse, Temperatur, mit und ohne Luftzufuhr, Dauer der Alterung etc.

3.1.1 Alterungsmethode A

Die Alterungsmethode A wurde genau gemäss EN 13880-6:2004 (*Heiss verarbeitbare Fugenmassen – Teil 6: Prüfverfahren zur Vorbereitung von Proben für die Prüfung*) [19] durchgeführt. Dabei wird die heiss verarbeitbare Fugenmasse bei einer Sicherheitsüberhitzungstemperatur während 6 Stunden unter Rühren in einem Metallbehälter mit Deckel vorgealtert. Gemäss Norm EN 14188-1:2004 [15] wird als Sicherheitsüberhitzungstemperatur die vom Hersteller empfohlene Höchsttemperatur bezeichnet, bei der die Fugenmasse für eine Zeit von 6 h vorgehalten werden darf.

Parameter:

- Einrichtung: Metallbehälter mit Deckel, Rührwerk, Ölbad
- Einwaage der Fugemasse: etwa 1kg
- Temperatur des Ölbad: Sicherheitsüberhitzungstemperatur der Fugenmasse
- Luftzufuhr: keine
- Dauer: 6 h±10min

3.1.2 Alterungsmethode B

Die Alterungsmethode B wurde in Anlehnung an EN 12607-3:2007 (*Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft - Teil 3: RFT-Verfahren*) [16] durchgeführt. Anders als bei der Alterungsmethode A, wird sich die geschmolzene, bewegende dünne Schicht der heiss verarbeitbaren Fugenmasse bei einer Sicherheitsüberhitzungstemperatur während 3 Stunden im rotierenden Kolben eines Rotationsverdampfers vorgealtert.

Parameter:

- Einrichtung: Metallbehälter mit Ölbad, Rotationsverdampfer mit einem 100ml Rundkolben (siehe Abb. 3.1)
- Drehgeschwindigkeit: 20±5 Umdrehungen/min
- Einwaage der Fugemasse: etwa 100g
- Temperatur des Ölbad: Sicherheitsüberhitzungstemperatur der Fugenmasse
- Luftdurchfluss: 500±10) ml/min
- Dauer: 3h±5min

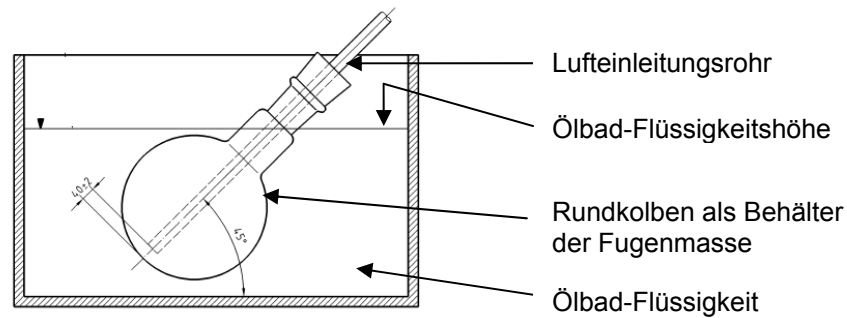


Abb. 3.1 Bild 1 der Norm EN 12607-3:2007. Einrichtung für die Alterung der Dichtungsmasse mit einem Rotationsverdampfer.

3.1.3 Alterungsmethode C

Die Voralterung der heiss verarbeitbaren Fugenmasse wird in Anlehnung an EN 14769:2012 (*Beschleunigte Langzeit-Alterung mit einem Druckalterungsbehälter; PAV*) [17] durchgeführt. Dabei wird ein unbewegter Film der heiss verarbeitbaren Fugenmasse in die waagrecht stehenden Metallschalen unter einem Gas-Druck von 2.1MPa für eine Zeitspanne von 3 Stunden bei einer Temperatur von 180°C erwärmt. Jede Metallschale enthält etwa 50g Fugenmasse. Siehe Abb. 3.2.

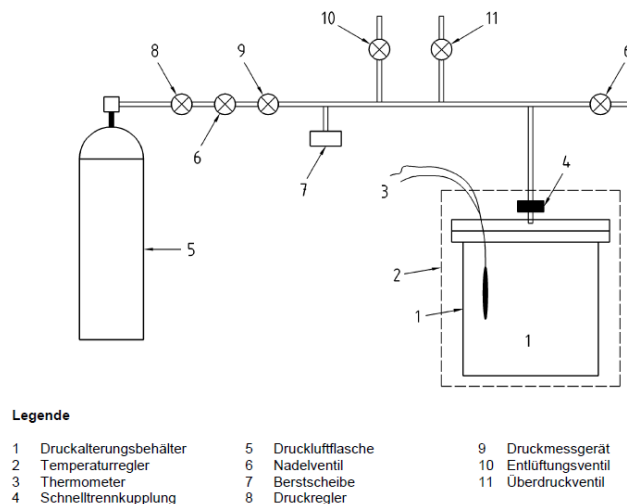


Abb. 3.2 Bild 1 der Norm EN 14769:2012 [17]. Beispiel eines PAV-Prüfsystems.

In diesem Projekt konnte die geplante Alterungsmethode C mit PAV wegen eines technischen Problems nicht realisiert werden. Die Prüftemperatur von 180°C konnte mit der zu verwendeten PAV-Anlage nicht konstant gehalten werden. Sie schwankte etwa $\pm 25^\circ\text{C}$. Aus diesem Grund wurde auf die Alterungsmethode C verzichtet.

3.1.4 Alterungsmethode D

Die Alterungsmethode D war ein modifiziertes Verfahren der Alterungsmethode A in Anlehnung an EN 13880-6:2004 (*Heiß verarbeitbare Fugenmassen - Teil 6: Prüfverfahren zur Vorbereitung von Proben für die Prüfung*) [19]. Anstatt 6 Stunden, wie die EN 13880-6:2004 vorschreibt, wurde die heiss verarbeitbare Fugenmasse mit gleichen Parametern während 3 Stunden vorgealtert.

Parameter:

- Einrichtung: Metallbehälter mit Deckel, Rührwerk, Ölbad
- Einwaage der Fugemasse: etwa 1kg
- Temperatur des Ölbad: Sicherheitsüberhitzungstemperatur der Fugemasse
- Luftzufuhr: keine
- Dauer: 3 h±10min

3.2 Prüfverfahren

Folgende physikalische und chemische Untersuchungen sowie Funktionsprüfungen wurden an den Proben im Anlieferungszustand, nach dem Einbau und nach Laboralterungsmethoden realisiert:

Physikalische und chemische Untersuchungen:

- Konus-Penetration bei 25°C gemäss EN13880-2:2003 [18]
- Erweichungspunkt Ring- und Kugelverfahren gemäss EN 1427:2007 [21]
- Elastische Rückstellung bei 0°C mittels Duktilität gemäss ETAG 032/Teil 3 (Mai 2013) [13]
- Zustand der Polymere mittels GPC gemäss ETAG 032/Teil 3 (Mai 2013) [13]

Funktionsprüfungen:

- Dehn- und Haftvermögen bei diskontinuierlicher Dehnung gemäss EN13880-13:2003 [20].

3.2.1 Konus-Penetration

Die Konus-Penetration wurde gemäss EN 13880-02:2003 (*Bestimmung der Konus-Penetration bei 25°C*) [18] bestimmt.

Prüfprinzip:

Das Messverfahren beruht darauf, einen mit 150±0.1g belastete Konus bestimmter Abmessungen und definierter Spitze (siehe Abb. 3.3), fünf Sekunden lang bei konstanter Temperatur in die Bindemittel-Oberfläche eindringen zu lassen. Die unmittelbar danach abgelesene Eindringtiefe des Konus in 1/10mm wird als Konus-Penetration definiert.

Prüfparameter:

- Einrichtung: Penetrometer gemäss EN 1426 (für die Bestimmung mit Nadel) [22]
- Gesamtgewicht Konus und Führungsstange: 150g±0.1g
- Dimension des Konus: siehe Abb. 3.3
- Probenbehälter: Messing, Ø 56mm± 5mm und Tiefe 35mm±2mm
- Anzahl Proben: 2
- Einwaage der Fugemasse pro Behälter: etwa 100g
- Prüftemperatur: 25.0°C± 0.3°C
- Belastungsdauer: 5.0s± 0.1s
- Anzahl Konus-Stiche: 3 (mindestens 16mm von der Wand des Metallbehälters und voneinander)

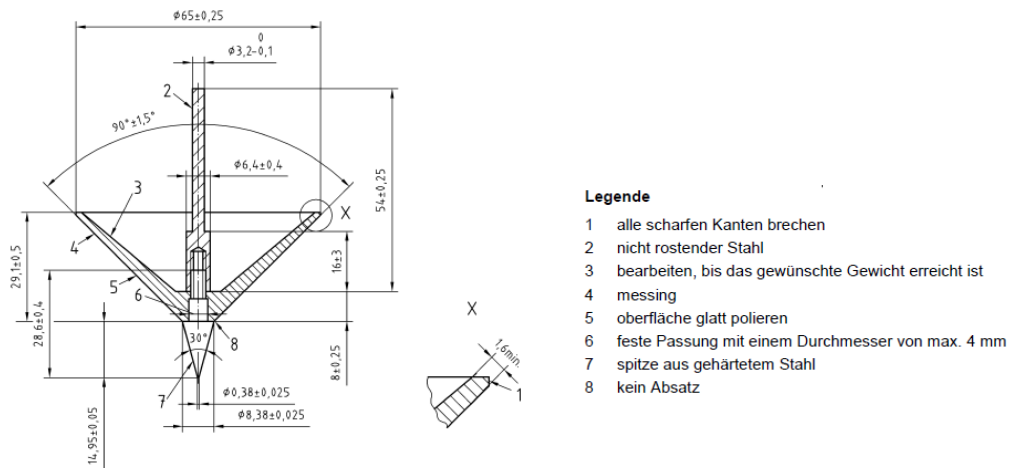


Abb. 3.3 Bild 1 der Norm EN 13880-02:2003. Penetrations-Konus aus Messing mit den angegebenen Massen in mm.

3.2.2 Erweichungspunkt Ring- und Kugel

Die Bestimmung des Erweichungspunktes mit Ring- und Kugel-Verfahren wurde gemäss Norm EN 1427:2007 durchgeführt.

Prüfprinzip:

Die Prüfanordnung besteht aus einer definierten Metall-Kugel, die auf einer Bindemittelschicht liegt, die in einem Schulterring aus Metall eingeschlossen ist. Die Prüfanordnung befindet sich in einer Flüssigkeit, deren Temperatur ausgehend von der Raumtemperatur um $5 \pm 0.5 \text{ K}$ pro Minute erhöht wird. Zuzufolge der fortschreitenden Erwärmung unterliegt das Bindemittel einer zunehmenden Erweichung und wird schliesslich durch die Kugel aus dem Metallring gedrängt. Die Temperatur, bei der die Metall-Kugel zusammen mit dem Bindemittel durch den Ring hindurchgleitet und die Messstrecke von $25 \pm 0.4 \text{ mm}$ zurückgelegt hat, wird als Erweichungspunkt Ring und Kugel bezeichnet.

Prüfparameter:

- Anzahl Prüfkörper: 2
- Einrichtung: Prüfanordnung gemäss EN 1426:2007 [22] (siehe Abb. 3.4)
- Kugeln: Durchmesser von 9.50 ± 0.05 mm und einer Masse von 3.50 ± 0.05 g
- Prüfmedium: Glycerin
- Start-Prüftemperatur: 30 ± 1 °C
- Temperaturgradient: 5 ± 0.5 K /min

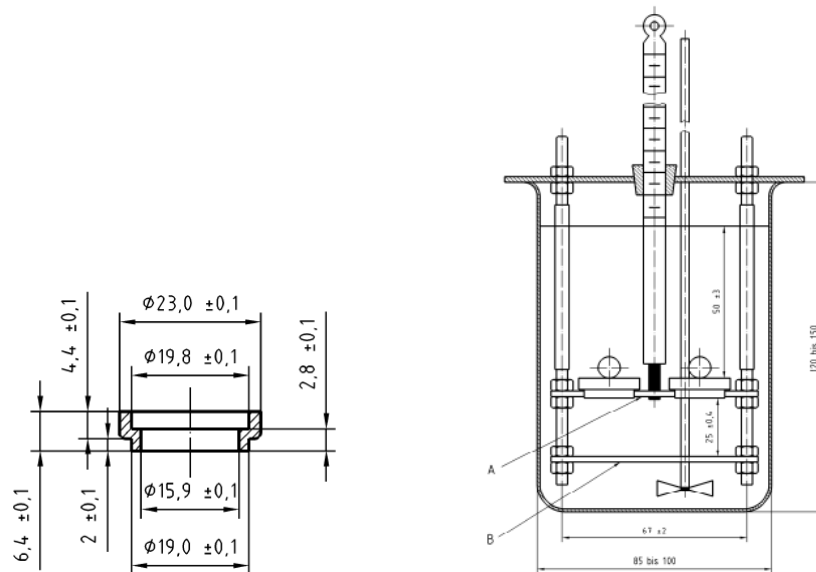


Abb. 3.4 Links: Abmessungen des Schulterrings (Bild 1 der Norm EN 1427:2007) [22]. Rechts: Prüfanordnung mit zwei Ringen (Bild 6 der Norm EN 1427:2007) [22]. Masse in mm.

A: Ringhalteplatte
B: Bodenplatte

3.2.3 Elastische Rückstellung mittels Duktilität bei 0°C (ERD)

Die elastische Rückstellung (ERD) der Tränkmasse wird in Anlehnung an EN 13398: 2010 (*Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der elastischen Rückstellung von modifizierten Bitumen*) [23] bzw. nach ETAG 032/Teil 3 (Mai 2013) mittels Duktilometer bei $0 \pm 1^\circ\text{C}$ [13] bestimmt.

Prüfprinzip:

Ein Probekörper aus Fugenmasse wird bei $0 \pm 1^\circ\text{C}$ mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50mm/min auf eine vorher bestimmte Länge (200mm) ausgezogen. Der so erzeugte Bitumenfaden wird in der Mitte zerschnitten, um zwei Fadenhälften zu erhalten. Nach 30min wird die Verkürzung der Halbfäden gemessen und als prozentualer Wert in Bezug auf die Auszugslänge angegeben (siehe Abb. 3.6).

Die elastische Rückstellung berechnet sich aus dem maximalen Dehnweg von 200 mm und dem Abstand der Halbfäden nach 30 Minuten. Tritt vor Erreichen des maximalen Dehnweges von 200 mm ein Bruch des Prüfkörpers ein, wird der im Zeitpunkt des Bruches erreichte Dehnweg L_0 für die Berechnung der elastischen Rückstellung verwendet. Ist jedoch der Bruchdehnweg $L_0 < 150$ mm, wird keine Berechnung der elastischen Rückstellung durchgeführt.

Auswertung:

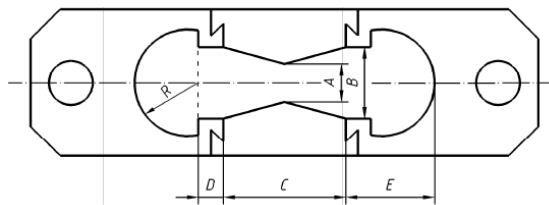
Die elastische Rückstellung wird für jeden Prüfkörper in ganzen Prozenten des auf-gebrachten Dehnweges L_0 berechnet.

$$ERD = \frac{L}{L_0} \cdot 100 [\%]$$

mit ERD = Elastische Rückstellung mittels Duktilometer [%]
L = Gemessene Distanz der Halbfäden nach 30 Minuten [mm]
 L_0 = Maximal aufgebrachter Dehnweg 200 mm oder Dehnweg im Bruchzustand, falls $L_0 \geq 150$ mm

Prüfparameter:

- Anzahl Prüfkörper: 2
- Prüfmedium: Glycerin/Wasser (1:5, V/V)
- Prüftemperatur: $0 \pm 1^\circ\text{C}$
- Dehnweg: 200 mm



	Maß mm	Zulässige Abweichung mm
A	10,0	$\pm 0,2$
B	20,0	$\pm 0,2$
C	30,0	$\pm 0,3$
D	7,3	$\pm 0,5$
$E = R + D$	22,8	$\pm 0,9$
R	15,5	$\pm 0,7$
Dicke	10,0	$\pm 0,1$

Abb. 3.5 Bild 1 der Norm EN 13398:2010. Links, die Giessform zur Herstellung des Prüfkörpers. Rechts, die Legende zur Giessform.

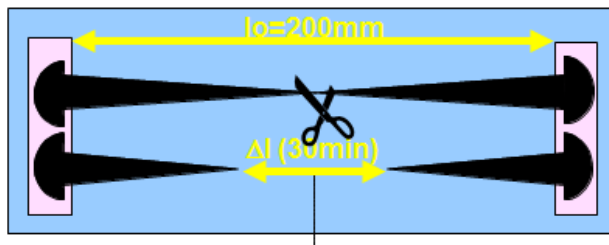


Abb. 3.6 Schematische Darstellung des Prüfprinzipes der Prüfung "elastische Rückstellung mittels Duktilität gemäss ETAG 032/Teil 3; Mai 2013".

3.2.4 Dehn- und Haftvermögen bei diskontinuierlicher Dehnung

Die Prüfung "Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung" gemäss Norm EN 13880:13:2003 [20] wurde zur Bestimmung des Haft- und Dehnverhaltens der Fugenmassen in der Kälte angewendet.

Prüfprinzip:

Zwei Betonprismen, zwischen denen sich eine Fugenmasse befindet, werden bei -25°C (bei Fugenmassentyp N1) bzw. -20°C (bei Fugenmassentyp N2) sukzessive in Dehnungsstufen von 0.1mm und jeweils 6min Dauer bis zu einer maximalen Fugendehnung von 5mm auseinandergezogen. Das Aufbringen jeder Dehnstufe erfolgt in weniger als 0.5s. Anschliessend wird bei konstanter Fugendehnung von 5mm die Kraft z zunächst nach 1h und später in Abständen von 30min solange gemessen, bis der Kraftabfall weniger als 5% beträgt.

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn keine Risse (Kohäsionsbruch) in der Fugenmasse oder keine Flankenablösung (Adhäsionsbruch) an den beiden Betonprismen auftreten, bzw. wenn die Maximalspannung bei Fugenmassentyp N1 weniger als 1.0 N/mm^2 und bei Fugenmassentyp N2 weniger als 0.7 N/mm^2 beträgt.

Prüfparameter:

- Anzahl Prüfkörper: 2
- Prüfkörperherstellung: mit dazu gehörendem Voranstrich
- Dimension der ausgefüllten Fuge: Länge $200 \pm 0.5 \text{ mm}$, Breite $15 \pm 0.5 \text{ mm}$, Tiefe $30 \pm 0.5 \text{ mm}$
- Prüftemperatur: $-25 \pm 1^\circ \text{C}$ (Fugenmasse Typ N1) bzw. $-20 \pm 1^\circ \text{C}$ (Fugenmasse Typ N2)
- Dehnweg: 5mm
- Dehnstufe: $0.1 \pm 0.01 \text{ mm}$

3.2.5 Gelpermeationschromatographie (GPC)

Die mechanischen und physikalischen Eigenschaften von heiss verarbeitbaren Fugenmassen hängen in allen Gebrauchstemperaturbereichen vor allem vom verwendeten Polymer (Polystyrol-Butadien-Styrol Copolymer SBS) ab. Beispielsweise wird die Elastizität von Fugenmassen in der Kälte sowie deren Standfestigkeit in der Wärme wesentlich von Struktur, Molekülgrösse und Anteil des Polymers beeinflusst. Bei Überhitzung der Fugenmassen, z.B. während Herstellung, Transport, oder Einbau wird die Molekülgrösse der Polymere kleiner, da die bei SBS die Butadien-Ketten durch die Wärme aufgespalten und zersetzt werden und damit die Polymerraumnetze angegriffen werden [5].

Der Zustand der Polymere aufgrund der Polymergrösse sowie deren Anteil in den Fugenmassen können mittels Gelpermeationschromatografie (GPC) charakterisiert und bestimmt werden.

Prüfprinzip:

Das Prinzip der Gelpermeationschromatografie (GPC) beruht auf der Trennung der Substanzen aufgrund der Molekülgrösse bzw. Molekularmassen. Diese Trennung erfolgt in Trennsäulen, die aus gequollenem Gel bestehen und als Molekularsieb wirken. Kleine Moleküle dringen tiefer in die Poren des Gels ein und werden bei der Chromatografie länger im Gel zurückgehalten als die grösseren Moleküle. Solche Moleküle, die grösser sind als die Poren des gequollenen Gels, können die Gelkörner nicht durchdringen, wandern an diesen vorbei und verlassen die Säule zuerst. Die derart getrennten Komponenten werden nach Verlassen der Trennsäule mittels eines Detektors erfasst. Die Daten werden in Funktion der Zeit (Retentionszeit) als sogenannte Chromatogramme dargestellt, in denen verschiedene Komponenten als Peaks erkannt werden. Die Grösse der Peakfläche oder -höhe dient als Grundlage zur Bestimmung der Menge der Komponenten. Durch eine Vergleichschromatografie zur Kalibrierung mit Standards-Substanzen, deren Molekülgrössen bekannt sind, können die Molekülgrössen der zu bestimmenden Komponenten charakterisiert werden (siehe Abb. 3.7).

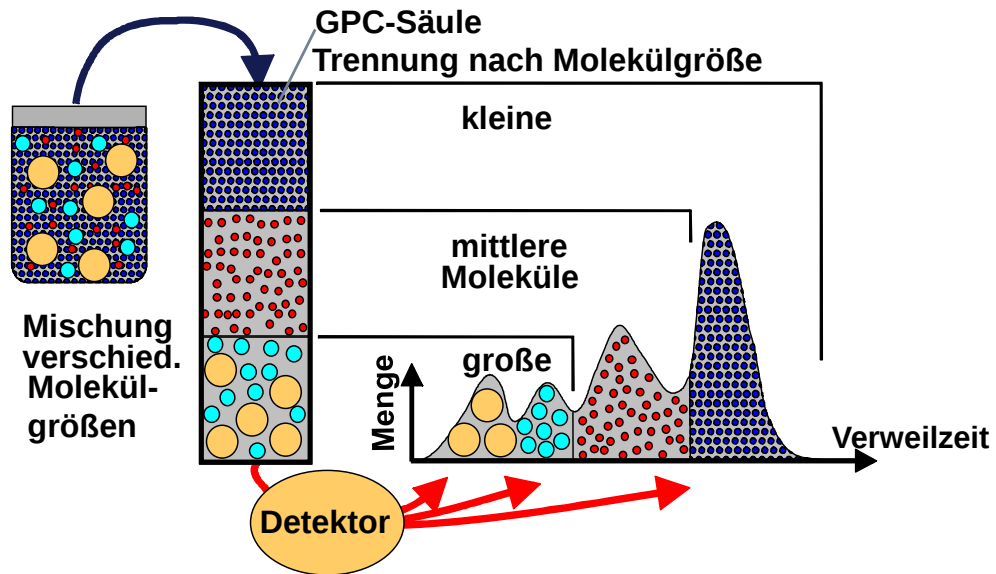


Abb. 3.7 Prinzip der Trennung von Polymerbitumen nach Molekulargröße mittels Gel-permeationschromatografie (GPC).

Prüfparameter:

- Anzahl Probe: 1
- Pumpe: HPLC-Pumpe Merck 655A-12
- Autosampler: Agilent 1200 Series, Instant Pilot G4208A
- Säulenofen: SFD 12590
- DAD: Diodenarray-Detektor Waters PDA 996 (Waters Corporation, USA)
- Laufmittel: THF High Purity (ROMIL, GB), 1.0 ml/min
- GPC-Säule: Polymer Laboratories (GB), PL 5M-mixed C, 5 µm, 600 x 7.5 mm; Vorsäule mit gleichem Füllmaterial
- Säulentemperatur: 30°C
- Wellenlängenbereich: 210 - 290 nm; Sampling Rate 2/s; Resolution 1.2 nm
- Proben: Injektionsvolumen 50 µl
- Konzentration 1.5 mg/ml in THF
- Software Waters Empower 2
- Anzahl Injektionen: 1 pro Probe

4 Prüfergebnisse

4.1 Fugenmassen im Anlieferungszustand

4.1.1 Vorgehen

Bei der Prüfkörperherstellung im Anlieferungszustand wurde die heiss verarbeitbare Fugenmasse direkt nach Erreichen der Vergiesstemperatur verarbeitet, ohne Voralterung Methode A, B, C oder D.

4.1.2 Ergebnisse

Tabellen 4.1.1 ... 4.1.3 zeigen die Ergebnisse der Prüfungen an den Fugenmassen im Anlieferungszustand. Die GPC-Chromatogramme aller Fugenmassen im Anlieferungszustand sind in Abbildung 4.1 ersichtlich.

Tab. 4.1.1 Fugenmassen im Anlieferungszustand. Ergebnisse der Prüfungen „Bestimmung der Konus-Penetration bei 25°C“ und „Bestimmung und des Erweichungspunktes mit Ring- und Kugel-Verfahren (Ep RuK)“

Fugenmasse	Konus-Penetration [10^{-1} mm]		Ep RuK [°C]	
	Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
FM1	62.0, 63.0, 62.0	62.3	106.0, 106.0	106.0
FM2	53.0, 54.0, 54.0	53.7	120.0, 120.2	120.1
FM3	57.0, 57.0, 58.0	57.3	106.4, 106.6	106.5
FM4	87.0, 88.0, 88.0	87.7	98.2, 98.6	98.4
FM5	66.0, 65.0, 65.0	65.3	96.3, 96.1	96.2
FM6	40.0, 41.0, 40.0	40.3	102.4, 102.6	102.5
FM7	62.0, 63.0, 63.0	62.7	104.8, 104.9	104.9

Tab. 4.1.2 Fugenmassen im Anlieferungszustand. Ergebnisse der Prüfungen „elastische Rückstellung mittels Duktilität bei 0°C (ERD)“ und „Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung“

Fugenmasse	Elastische Rückstellung mittels Duktilität bei 0°C				Dehn- und Haft-Verhalten			
	Lo [mm]		ERD [%]		Bruch (Ablösung/Riss)		Maximalspannung [N/mm^2]	
	EW	MW	EW	MW	EW	MW	EM	MW
FM1	200, 200	200	91, 92	92	kein, kein	kein	0.25, 0.25	0.25
FM2	200, 200	200	78, 78	78	ja, ja	ja	0.66, 0.54	0.60
FM3	200, 200	200	92, 93	93	kein, kein	kein	0.27, 0.29	0.28
FM4	200, 200	200	95, 95	95	kein, kein	kein	0.31, 0.32	0.32
FM5	200, 200	200	97, 97	97	kein, kein	kein	0.15, 0.15	0.15
FM6	200, 200	200	80, 82	81	ja, ja	ja	0.39, 0.35	0.37
FM7	200, 200	200	80, 81	92	ja, ja	ja	0.45, 0.48	0.47

Lo: Dehnweg im Bruch des Fadens bei der Prüfung „elastische Rückstellung“
 EW: Einzelwerte
 MW: Mittelwert

Tab. 4.1.3 Fugenmassen im Anlieferungszustand. Ergebnisse der Prüfung Gel-permeationschromatografie

Fugen-masse	Peak	Analysezeit [min]	Molekulargewicht Mp *) [Dalton]	Anteil [Flächen-%]
FM1	Polymer 1	12.19	$1.7 \cdot 10^5$	3.2
	Polymer 2	12.82	$8.4 \cdot 10^4$	2.0
	Bitumen	17.35	630	94.8
FM2	Polymer 1	11.56	$3.5 \cdot 10^5$	2.0
	Polymer 2	12.65	$1.1 \cdot 10^5$	1.5
	Bitumen	17.17	790	96.4
FM3	Polymer 1	11.52	$3.5 \cdot 10^5$	1.1
	Polymer 2	11.96	$2.2 \cdot 10^5$	0.9
	Polymer 3	12.59	$1.1 \cdot 10^5$	4.1
	Bitumen	17.36	600	93.9
FM4	Polymer 1	11.84	$3.4 \cdot 10^5$	0.5
	Polymer 2	12.39	$1.7 \cdot 10^5$	4.9
	Bitumen	17.30	710	94.6
FM5	Polymer 1	12.39	$1.4 \cdot 10^5$	6.9
	Polymer 2	12.95	$7.6 \cdot 10^4$	6.7
	Bitumen	16.99	960	86.4
FM6	Polymer 1	11.82	$2.7 \cdot 10^5$	1.1
	Polymer 2	12.27	$1.6 \cdot 10^5$	0.9
	Polymer 3	12.86	$8.5 \cdot 10^4$	3.2
	Bitumen	17.06	910	94.8
FM7	Polymer 1	11.57	$3.5 \cdot 10^5$	2.8
	Polymer 2	12.61	$1.1 \cdot 10^5$	0.8
	Bitumen	17.30	680	96.4

Mp *) Molekulargewichte relativ zu Polystyrol

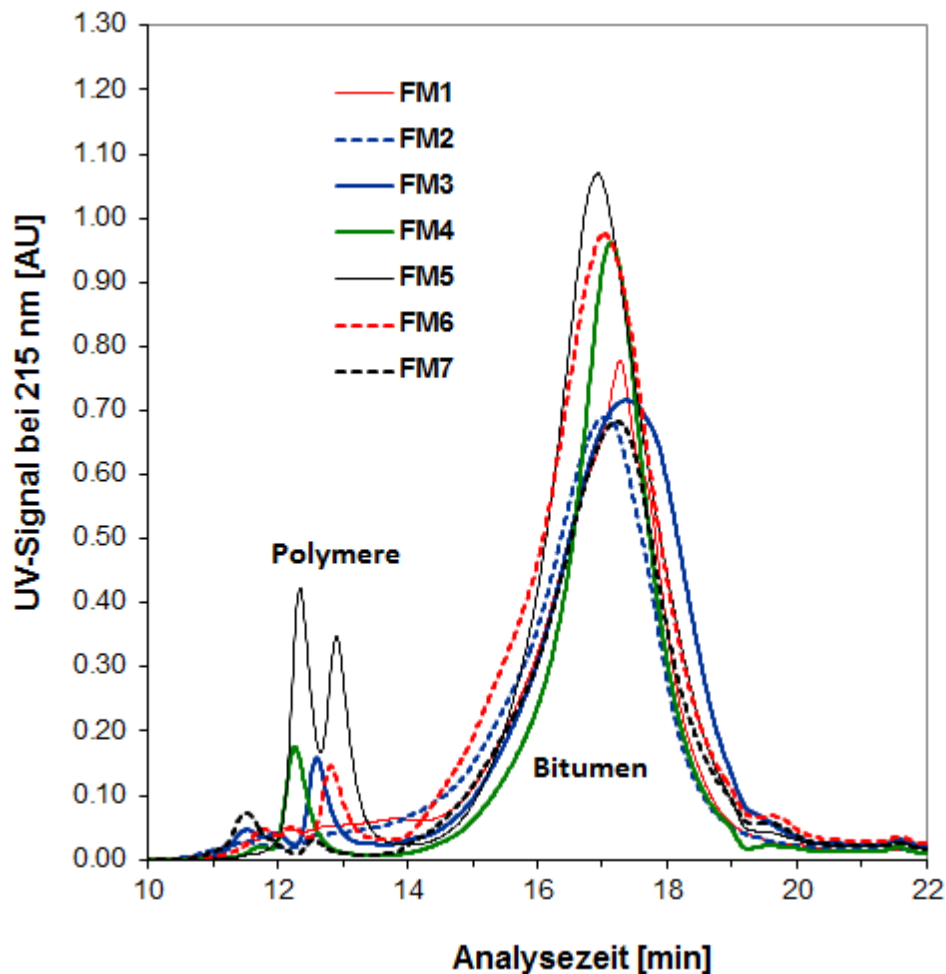


Abb. 4.1.1 Chromatogramme der untersuchten Fugenmassen im Anlieferungszustand. Die Peak-Signale sind nicht normalisiert. Alle Proben haben die gleiche Konzentration (1.5mg Fugenmasse pro ml Tetrahydrofuran)

4.2 Zustand der Fugenmassen nach dem Einbau und den Alterungen im Labor

4.2.1 Vorgehen

Die Eigenschaften der Proben nach Einbau-Beginn und –Ende sowie nach den verschiedenen Alterungen im Labor (Alterungsmethode A, B und D; siehe Abschnitt 3.1) wurde genau wie bei den Fugenmassen-Proben im Anlieferungszustand anhand folgender Prüfungen untersucht:

- Bestimmung der Kugel-Penetration bei 25°C gemäss EN13880-2:2003 [18],
- Bestimmung des Erweichungspunktes mit Ring- und Kugelverfahren gemäss EN 1427:2007 [21],
- Bestimmung der elastischen Rückstellung bei 0°C mittels Duktilität gemäss ETAG 032/Teil 3 (Mai 2013) [13],
- Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung gemäss EN13880-13:2003 [20] und
- Bestimmung des Zustandes der Polymere mittels GPC gemäss ETAG 032/Teil 3 (Mai 2013) [13].

4.2.2 Ergebnisse Fugenmasse FM1

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Proben der Fugenmasse FM1 nach dem Einbau und nach den Laboralterungen sind zusammen mit denjenigen der Fugenmasse im Anlieferungszustand in *Tabelle 4.2.1* zusammengefasst. Die *Abbildung 4.2.1* zeigt Ausschnitte der GPC-Chromatogramme für die Polymere in den Proben der Fugenmasse FM1 bei Anlieferung, nach dem Einbau und nach den Laboralterungen.

Tab. 4.2.1 Fugenmasse FM1. Zustand nach Einbau und Alterungen im Labor

Probe	Konus-Penetration [10 ⁻¹ mm]	Ep RuK [°]	Elast. Rückstellung		Dehn-&Haftverhalten	
			Lo [mm]	ERD [%]	PK-Zustand	Maximalspannung [N/mm ²]
Anlieferung	63	106	200	91	i.O.	0.25
Einbau-Beginn	61	105	200	89	i.O.	0.22
Einbau-Ende	60	104	200	91	i.O.	0.31
Alt.methode A	60	108	200	92	i.O.	0.26
Alt.methode B	56	105	200	90	Bruch	0.30
Alt.methode D	59	104	200	91	i.O.	0.30

Ep RuK: Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren

Lo: Dehnweg im Bruch des Fadens bei der Prüfung „elastische Rückstellung“

ERD: Elastische Rückstellung

Alt.methode A: gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr) [19]

Alt.methode B: gemäss EN 12607-3:2007 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr) [16]

Alt.methode D: wie Alterungsmethode A, aber nur 3h Rühren ohne Luftzufuhr

i.O.: Prüfkörper blieb intakt

Bruch: Flankenablösung oder Riss in der Fugenmasse

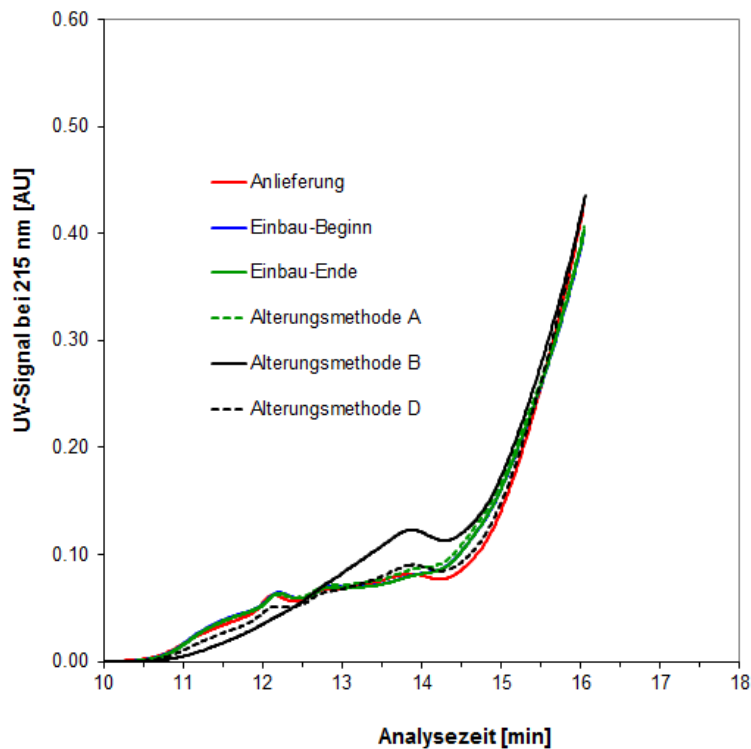


Abb. 4.2.1 Fugenmasse FM1. GPC-Chromatogramme (Ausschnitt im Bereich Polymere) der Fugenmasse nach dem Einbau-Beginn, Einbau-Ende und Alterungsmethoden A, B und D.

4.2.3 Ergebnisse Fugenmasse FM2

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Proben der Fugenmasse FM2 nach dem Einbau und nach den Laboralterungen sind zusammen mit denjenigen der Fugenmasse im Anlieferungszustand in *Tabelle 4.2.2* zusammengefasst. Die *Abbildung 4.2.2* zeigt die Ausschnitte der GPC-Chromatogramme für die Polymere in den Proben der Fugenmasse FM2 bei Anlieferung, nach dem Einbau und nach den Laboralterungen.

Tab. 4.2.2 Fugenmasse FM2. Zustand nach Einbau und Alterungen im Labor

Probe	Konus-Penetration [10 ⁻¹ mm]	Ep RuK [°]	Elast. Rückstellung		Dehn-&Haftverhalten	
			Lo [mm]	ERD [%]	PK-Zustand	Maximalspannung [N/mm ²]
Anlieferung	53	120	200	78	Bruch	0.60
Einbau-Beginn	59	116	200	75	Bruch	0.66
Einbau-Ende	68	98	200	72	Bruch	0.62
Alt.methode A	52	115	200	78	Bruch	0.63
Alt.methode B	49	105	166	76	Bruch	0.59
Alt.methode D	56	111	200	77	Bruch	0.61

Ep RuK: Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren
 Lo: Dehnweg im Bruch des Fadens bei der Prüfung „elastische Rückstellung“
 ERD: Elastische Rückstellung
 Alt.methode A: gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)
 Alt.methode B: gemäss EN 12607-3:2007 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)
 Alt.methode D: wie Alterungsmethode A, aber nur 3h Rühren ohne Luftzufuhr
 Bruch: Flankenablösung oder Riss in der Fugenmasse

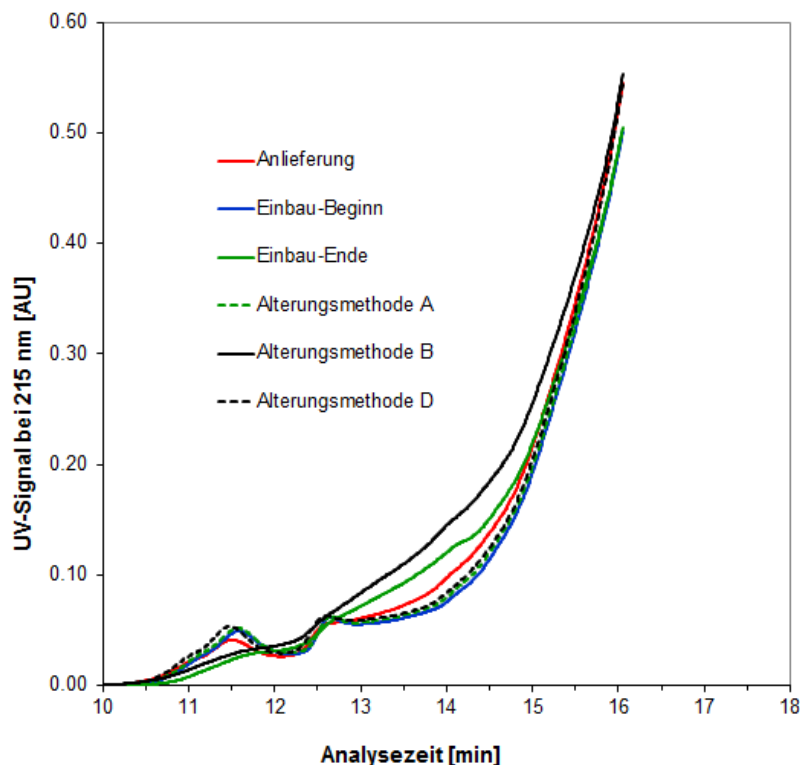
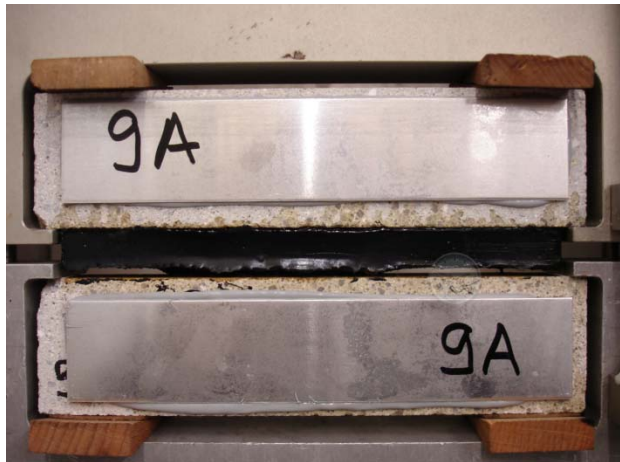


Abb. 4.2.2 Fugenmasse FM2. GPC-Chromatogramme (Ausschnitt im Bereich Polymere) der Fugenmasse nach dem Einbau-Beginn, Einbau-Ende und Alterungsmethoden A, B und D.



Fugenmasse FM2 im Anlieferungszustand



Fugenmasse FM2 nach Voralterung gemäss Methode B (180°C, Luftzufuhr, 3h)

Abb. 4.2.3 Fugenmasse FM2. Aussehen der Fugen nach dem Versagen (Flankenablösung, Rissbildung) bei der Prüfung „Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung“ gemäss EN 13880-13:2004.

4.2.4 Ergebnisse Fugenmasse FM3

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Proben der Fugenmasse FM3 nach dem Einbau und nach den Laboralterungen sind zusammen mit denjenigen der Fugenmasse im Anlieferungszustand in *Tabelle 4.2.3* zusammengefasst. Die *Abbildung 4.2.4* zeigt die GPC-Chromatogrammausschnitte für die Polymere in den Proben der Fugenmasse FM3 bei Anlieferung, nach dem Einbau und nach den Laboralterungen.

Tab. 4.2.3 Fugenmasse FM3. Zustand nach Einbau und Alterungen im Labor

Probe	Konus-Penetration [10 ⁻¹ mm]	Ep RuK [°]	Elast. Rückstellung		Dehn-&Haftverhalten	
			Lo [mm]	ERD [%]	PK-Zustand	Maximalspannung [N/mm ²]
Anlieferung	57	107	200	93	i.O.	0.28
Einbau-Beginn	58	105	200	93	i.O.	0.32
Einbau-Ende	60	104	200	93	i.O.	0.32
Alt.methode A	58	106	200	94	i.O.	0.27
Alt.methode B	57	107	200	93	i.O.	0.28
Alt.methode D	57	106	200	91	i.O.	0.30

Ep RuK: Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren
 Lo: Dehnweg im Bruch des Fadens bei der Prüfung „elastische Rückstellung“
 ERD: Elastische Rückstellung
 Alt.methode A: gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)
 Alt.methode B: gemäss EN 12607-3:2007 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)
 Alt.methode D: wie Alterungsmethode A, aber nur 3h Rühren ohne Luftzufuhr
 i.O.: Prüfkörper blieb intakt

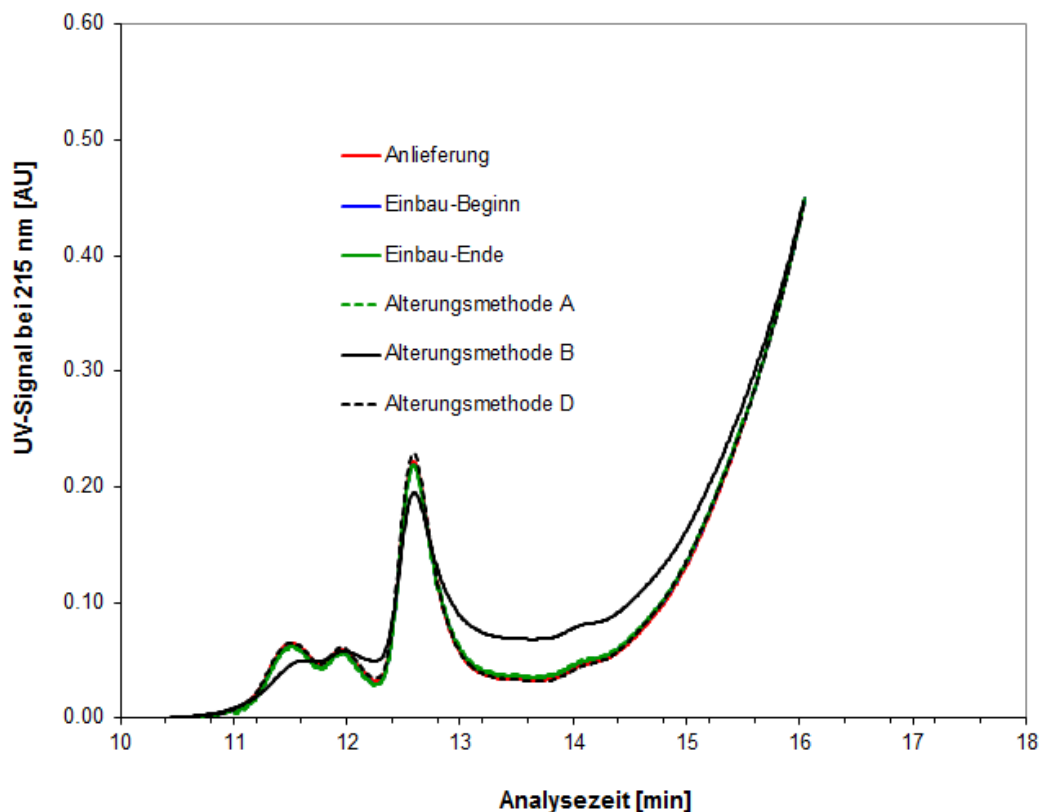


Abb. 4.2.4 Fugenmasse FM3. GPC-Chromatogramme (Ausschnitt im Bereich Polymere) der Fugenmasse nach dem Einbau-Beginn, Einbau-Ende und Alterungsmethoden A, B und D.

4.2.5 Ergebnisse Fugenmasse FM4

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Proben der Fugenmasse FM4 nach dem Einbau und nach den Laboralterungen sind zusammen mit denjenigen der Fugenmasse im Anlieferungszustand in *Tabelle 4.2.4* zusammengefasst. Die *Abbildung 4.2.5* zeigt die Ausschnitte der GPC-Chromatogramme für die Polymere in den Proben der Fugenmasse FM4 bei Anlieferung, nach dem Einbau und nach den Laboralterungen.

Tab. 4.2.4 Fugenmasse FM4. Zustand nach Einbau und Alterungen im Labor

Probe	Konus-Penetration [10 ⁻¹ mm]	Ep RuK [°]	Elast. Rückstellung		Dehn-&Haftverhalten	
			Lo [mm]	ERD [%]	PK-Zustand	Maximalspannung [N/mm ²]
Anlieferung	88	98	200	95	i.O.	0.32
Einbau-Beginn	85	94	200	94	i.O.	0.35
Einbau-Ende	81	96	200	92	i.O.	0.36
Alt.methode A	85	98	200	96	i.O.	0.35
Alt.methode B	84	95	200	94	i.O.	0.33
Alt.methode D	85	98	200	93	i.O.	0.34

Ep RuK: Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren

Lo: Dehnweg im Bruch des Fadens bei der Prüfung „elastische Rückstellung“

ERD: Elastische Rückstellung

Alt.methode A: gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)

Alt.methode B: gemäss EN 12607-3:2007 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)

Alt.methode D: wie Alterungsmethode A, aber nur 3h Rühren ohne Luftzufuhr

i.O.: Prüfkörper blieb intakt

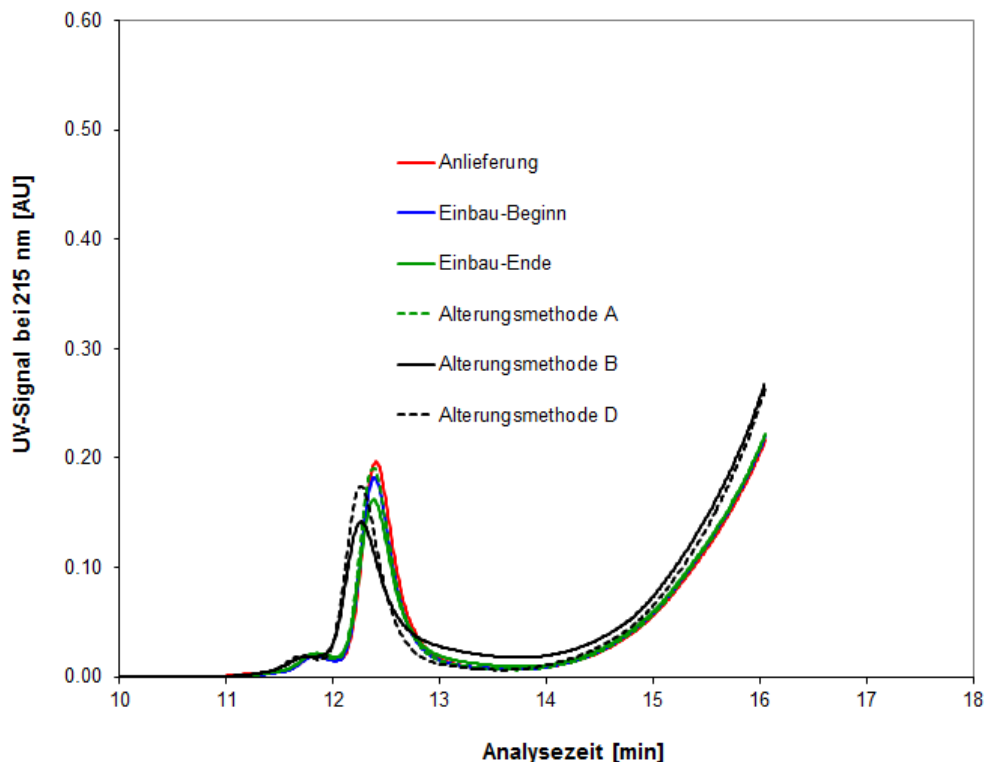


Abb. 4.2.5 Fugenmasse FM4. GPC-Chromatogramme (Ausschnitt im Bereich Polymere) der Fugenmasse nach dem Einbau-Beginn, Einbau-Ende und Alterungsmethoden A, B und D.

4.2.6 Ergebnisse Fugenmasse FM5

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Proben der Fugenmasse FM5 nach dem Einbau und nach den Laboralterungen sind zusammen mit denjenigen der Fugenmasse im Anlieferungszustand in *Tabelle 4.2.5* zusammengefasst. Die *Abbildung 4.2.6* zeigt die Ausschnitte der GPC-Chromatogramme für die Polymere in den Proben der Fugenmasse FM5 bei Anlieferung, nach dem Einbau und nach den Laboralterungen.

Tab. 4.2.5 Fugenmasse FM5. Zustand nach Einbau und Alterungen im Labor

Probe	Konus-Penetration [10 ⁻¹ mm]	Ep RuK [°]	Elast. Rückstellung		Dehn-&Haftverhalten	
			Lo [mm]	ERD [%]	PK-Zustand	Maximalspannung [N/mm ²]
Anlieferung	65	106	200	97	i.O.	0.15
Einbau-Beginn	64	104	200	95	i.O.	0.15
Einbau-Ende	57	96	200	96	i.O.	0.18
Alt.methode A	62	100	200	96	i.O.	0.18
Alt.methode B	75	96	200	95	i.O.	0.13
Alt.methode D	65	100	200	95	i.O.	0.19

Ep RuK: Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren
 Lo: Dehnweg im Bruch des Fadens bei der Prüfung „elastische Rückstellung“
 ERD: Elastische Rückstellung
 Alt.methode A: gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)
 Alt.methode B: gemäss EN 12607-3:2007 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)
 Alt.methode D: wie Alterungsmethode A, aber nur 3h Rühren ohne Luftzufuhr
 i.O.: Prüfkörper blieb intakt

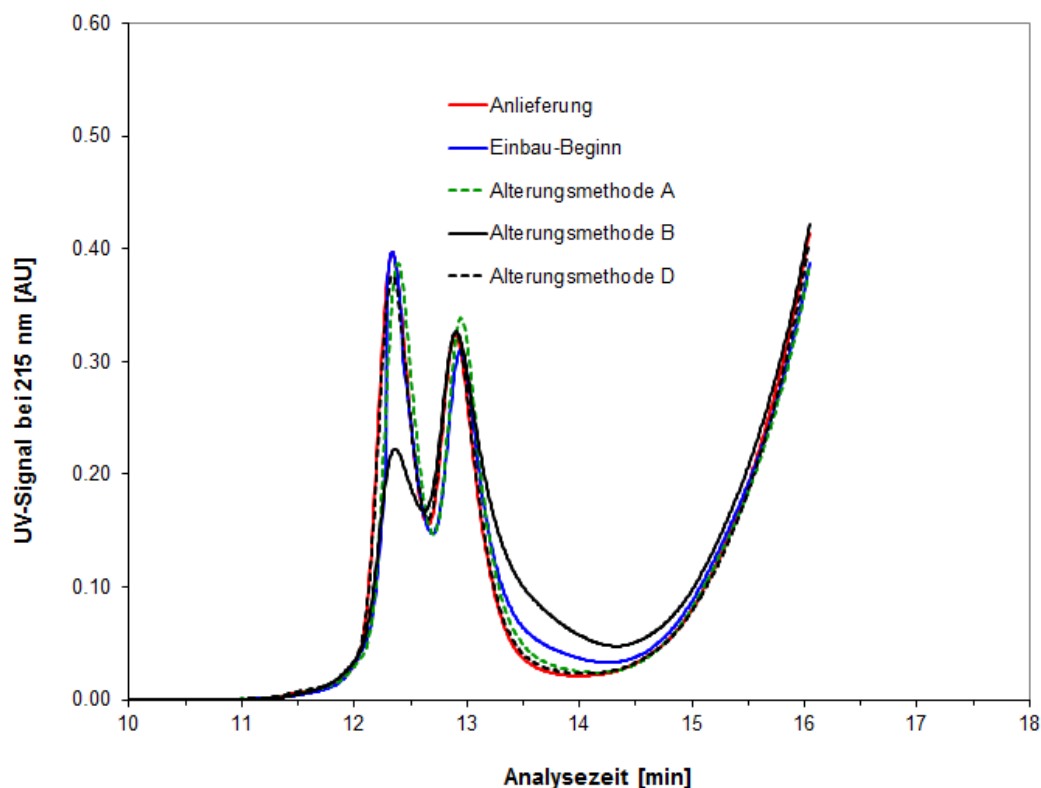


Abb. 4.2.6 Fugenmasse FM5. GPC-Chromatogramme (Ausschnitt im Bereich Polymere) der Fugenmasse nach dem Einbau-Beginn und Alterungsmethoden A, B und D.

4.2.7 Ergebnisse Fugenmasse FM6

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Proben der Fugenmasse FM6 nach dem Einbau und nach den Laboralterungen sind zusammen mit denjenigen der Fugenmasse im Anlieferungszustand in *Tabelle 4.2.6* zusammengefasst. Die *Abbildung 4.2.7* zeigt die Ausschnitte der GPC-Chromatogramme für die Polymere in den Proben der Fugenmasse FM6 bei Anlieferung, nach dem Einbau und nach den Laboralterungen.

Tab. 4.2.6 Fugenmasse FM6. Zustand nach Einbau und Alterungen im Labor

Probe	Konus-Penetration [10 ⁻¹ mm]	Ep RuK [°]	Elast. Rückstellung		Dehn-&Haftverhalten	
			Lo [mm]	ERD [%]	PK-Zustand	Maximalspannung [N/mm ²]
Anlieferung	40	103	200	79	ja	0.37
Einbau-Beginn	39	103	200	80	ja	0.30
Einbau-Ende	38	103	200	79	ja	0.25
Alt.methode A	40	103	200	79	ja	0.52
Alt.methode B	42	104	163	74	ja	0.51
Alt.methode D	40	103	200	78	ja	0.46

Ep RuK: Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren
 Lo: Dehnweg im Bruch des Fadens bei der Prüfung „elastische Rückstellung“
 ERD: Elastische Rückstellung
 Alt.methode A: gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)
 Alt.methode B: gemäss EN 12607-3:2007 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)
 Alt.methode D: wie Alterungsmethode A, aber nur 3h Rühren ohne Luftzufuhr
 Bruch: Flankenablösung oder Riss in der Fugenmasse

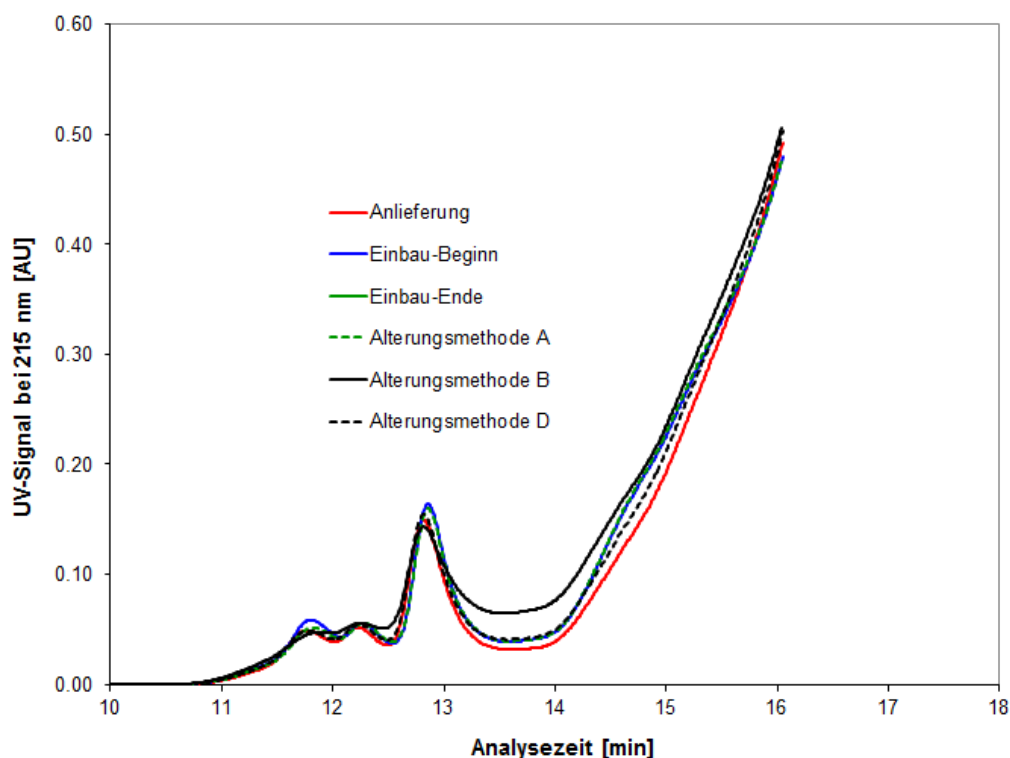


Abb. 4.2.7 Fugenmasse FM6. GPC-Chromatogramme (Ausschnitt im Bereich Polymere) der Fugenmasse nach dem Einbau-Beginn, Einbau-Ende und Alterungsmethoden A, B und D.

4.2.8 Ergebnisse Fugenmasse FM7

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Proben der Fugenmasse FM7 nach dem Einbau und nach den Laboralterungen sind zusammen mit denjenigen der Fugenmasse im Anlieferungszustand in *Tabelle 4.2.7* zusammengefasst. Die *Abbildung 4.2.8* zeigt die Ausschnitte der GPC-Chromatogramme für die Polymere in den Proben der Fugenmasse FM7 bei Anlieferung, nach dem Einbau und nach den Laboralterungen.

Tab. 4.2.7 Fugenmasse FM7. Zustand nach Einbau und Alterungen im Labor

Probe	Konus-Penetration [10 ⁻¹ mm]	Ep RuK [°]	Elast. Rückstellung		Dehn-&Haftverhalten	
			Lo [mm]	ERD [%]	PK-Zustand	Maximalspannung [N/mm ²]
Anlieferung	63	105	200	77	Bruch	0.47
Einbau-Beginn	85	97	200	81	i.O.	0.35
Einbau-Ende	65	103	200	81	Bruch	0.48
Alt.methode A	64	106	200	82	Bruch	0.49
Alt.methode B	57	104	200	80	Bruch	0.33
Alt.methode D	64	106	200	82	Bruch	0.40

Ep RuK: Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren
 Lo: Dehnweg im Bruch des Fadens bei der Prüfung „elastische Rückstellung“
 ERD: Elastische Rückstellung
 Alt.methode A: gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)
 Alt.methode B: gemäss EN 12607-3:2007 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)
 Alt.methode D: wie Alterungsmethode A, aber nur 3h Rühren ohne Luftzufuhr
 i.O.: Prüfkörper blieb intakt
 Bruch: Flankenablösung oder Riss in der Fugenmasse

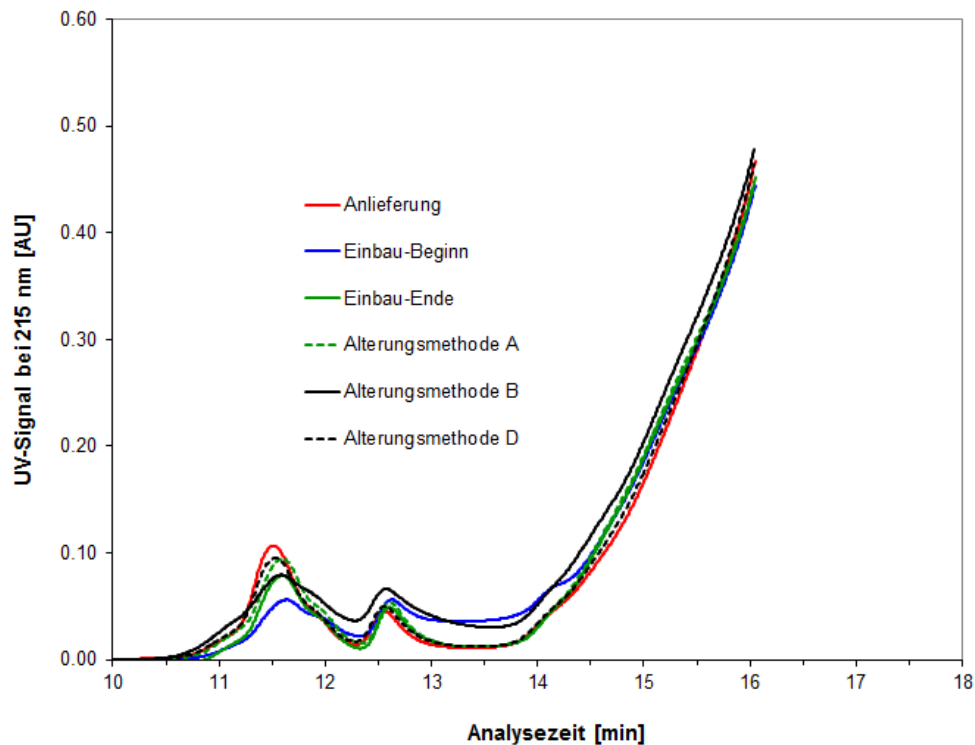


Abb. 4.2.8 Fugenmasse FM7. GPC-Chromatogramme (Ausschnitt im Bereich Polymere) der Fugenmasse nach dem Einbau-Beginn, Einbau-Ende und Alterungsmethoden A, B und D.

5 Diskussion

5.1 Qualität der Fugenmassen im Anlieferungszustand

5.1.1 Eigenschaften gemäss der Norm EN 14188-1:2004

Die Anforderungswerte für heiss verarbeitbare Fugenmassen sind in Tabelle 2 der Norm EN 14188-1:2004 *“Fugeneinlagen und Fugenmassen - Teil 1: Anforderungen an heiss-verarbeitbare Fugenmassen”* [15] definiert. Um die Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassen zu bestimmen, müssen die Fugenmassen gemäss dieser Norm zuerst während $6h \pm 15min$ bei der Sicherheitsüberhitzungstemperatur nach EN 13880-6:2004 [19] aufgeschmolzen werden. Diese Aufschmelzung entspricht dem Vorgehen der Alterungsmethode A (siehe Abschnitt 3.1.1). Nach der Aufschmelzung wird die aufgeschmolzene Masse zur Herstellung der Prüfkörper verwendet.

Die Ergebnisse der Prüfung *“Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung”* gemäss EN 13880-13:2003 [20] für die nach Alterungsmethode A aufgeschmolzenen Fugenmassen haben gezeigt, dass es Brüche (Flankenablösung oder Rissbildung) an den Prüfkörpern bei drei der sieben untersuchten Fugenmassen gegeben hat. Somit erfüllten diese drei Fugenmassen, namentlich Fugenmasse FM2, FM6 und FM7, die Anforderung gemäss Norm EN 14188-1:2004 bei der Prüfung *“Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung”* gemäss EN 13880-13:2003 nicht (vgl. Tabelle 5.1.1).

Bei den Prüfungen *“Bestimmung der Konuspenetration bei 25°C”*, gemäss EN 13880-2:2003 [18] und *“Bestimmung des Erweichungspunktes mit Ring- und Kugel-Verfahren”*, gemäss EN 1427:2007 [21] haben alle Fugenmassen nach der Alterungsmethode A ausser Fugenmasse FM6 alle Anforderungen erfüllt. Mit einer Konuspenetration von $39 \cdot 10^{-1}mm$ entsprach FM6 der Anforderung von $40 \dots 100 \cdot 10^{-1}mm$ der Norm EN 1427:2007 nicht (vgl. Tabelle 5.1.2).

Tab. 5.1.1 Beurteilung der Ergebnisse der Prüfungen „Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung“ der Proben nach Alterungsmethode A

Proben	PK-Zustand ①	Max.spannung ① [N/mm ²]	Endspannung ① [N/mm ²]	Anforderung	Beurteilung
FM1 (Typ N1)	i.O.	0.26	0.13	A1	☺
FM2 (Typ N1)	Bruch	0.63	0.00	A1	☹
FM3 (Typ N2)	i.O.	0.27	---	A2	☺
FM4(Typ N2)	i.O.	0.35	---	A2	☺
FM5 (Typ N2)	i.O.	0.18	---	A2	☺
FM6 (Typ N2)	Bruch	0.52	---	A2	☹
FM7 (Typ N2)	Bruch	0.49	---	A2	☹

①: Mittelwert aus zwei Einzelwerten

i.O.: Prüfkörper blieb intakt

Bruch: Flankenablösung oder Riss in der Fugenmasse

☺: Anforderung erfüllt

☹: Anforderung nicht erfüllt

Alterungsmethode A: gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, rühren ohne Luftzufuhr)

A1: Prüfung bei -25°C, weder Riss noch Flankenablösung; Maximalspannung $\leq 1.00N/mm^2$, Endspannung $\leq 0.15N/mm^2$ (Anforderung für Fugenmasse Typ N1 gemäss EN 14188-1:2007)

A2: Prüfung bei -20°C, weder Riss noch Flankenablösung; Maximalspannung $\leq 0.75N/mm^2$ (Anforderung für Fugenmasse Typ N2 gemäss EN 14188-1:2007)

N1: elastische - hoch dehnfähige Fugenmasse (Typenbezeichnung gemäss EN 14188-1)

N2: normale - geringer dehnfähige Fugenmasse (Typenbezeichnung gemäss EN 14188-1)

Tab. 5.1.2 Beurteilung der Ergebnisse der Prüfungen „Konuspenetration und Ep RuK sowie des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung“ der Proben nach Alterungsmethode A (gemäss EN 13880-6:2004) in Bezug auf die Anforderungen gemäss EN 14188-1

Proben...	Konuspenetration [10^{-1} mm]			Erweichungspunkt Ring u. Kugel [°C]		
	Mittelwert ①	Anforderung	Beurteilung	Mittelwert ②	Anforderung	Beurteilung
FM1 (Typ N1)	60	40130	☺	108	≥ 85	☺
FM2 (Typ N1)	52	40130	☺	115	≥ 85	☺
FM3 (Typ N2)	58	40100	☺	106	≥ 85	☺
FM4 (Typ N2)	85	40100	☺	98	≥ 85	☺
FM5 (Typ N2)	62	40100	☺	100	≥ 85	☺
FM6 (Typ N2)	39	40100	☹	103	≥ 85	☺
FM7 (Typ N2)	64	40100	☺	106	≥ 85	☺

①: Mittelwert aus drei Einzelwerten

②: Mittelwert aus zwei Einzelwerten

☺: Anforderung erfüllt

☹: Anforderung nicht erfüllt

Alterungsmethode A: Aufschmelzung gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, rühren ohne Luftzufuhr)

N1: elastische - hoch dehnfähige Fugenmasse (Typenbezeichnung gemäss EN 14188-1)

N2: normale - geringer dehnfähige Fugenmasse (Typenbezeichnung gemäss EN 14188-1)

5.1.2 Allgemeine Eigenschaften

Die Chromatogramme in *Abbildung 5.1.1* zeigen unterschiedliche Höhe des Bitumen-Peaks. Je höher der Bitumen-Peak desto geringer ist der Anteil an Filler in der Fugenmasse, da die GPC-Proben mit gleicher Konzentration (1.5mg Fugenmasse pro ml Tetrahydrofuran) hergestellt wurden. Die Polymeranteile variierten zwischen 3.5 Flächen-% und 13.6 Flächen-% (vgl. *Tabelle 4.1.3*). Die verwendeten Bitumen in den Fugenmassen hatten ein Molekulargewicht zwischen 910 und 600 Dalton (vgl. *Tabelle 4.1.3*). Dies deutet darauf hin, dass verschiedene Bitumen verwendet wurden. Somit haben die Ergebnisse der GPC-Untersuchungen gezeigt, dass die sieben, untersuchten Fugenmassen aufgrund deren Komponenten (Polymere, Bitumen und Filler) sehr unterschiedlich zusammengesetzt waren.

Die Ergebnisse der Prüfungen „Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung“ gemäss EN 13880-13:2003 [20] und „elastische Rückstellung mittels Duktilität“ gemäss ETAG 032/Teil 3 (Mai 2013) [13] zeigten, dass die drei Fugenmassen FM2, FM6 und FM7, welche die Anforderung der Prüfung gemäss EN 13880-13:2003 nicht erfüllt haben, in der Kälte viel härter und weniger elastisch waren als die anderen vier Fugenmassen. Diese drei Fugenmassen hatten höhere Werte der Maximalspannung bei der Prüfung gemäss EN 13880-13:2003 bei -25°C und -20°C sowie tiefere Werte der elastischen Rückstellung mittels Duktilität bei 0°C (vgl. *Abbildung 5.1.2*). Die Verhärtung der Fugenmassen FM2, FM6 und FM7 in der Kälte war ein Hauptgrund für Brüche bei der Prüfung gemäss EN 13880-13:2003.

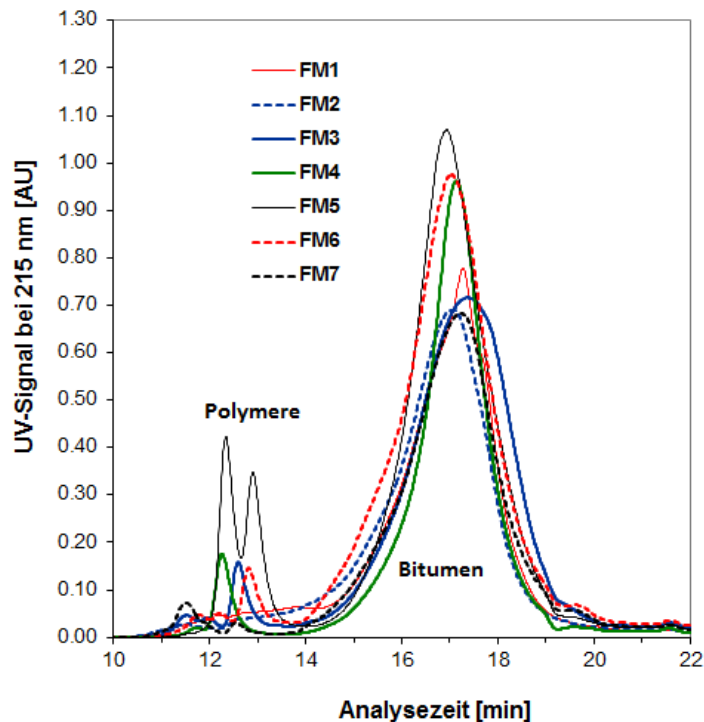


Abb. 5.1.1 Chromatogramme der untersuchten Fugenmassen im Anlieferungszustand. Die Peaks-Signale sind nicht normalisiert. Alle Proben haben die gleiche Konzentration (1.5mg Fugenmasse pro ml Tetrahydrofuran)

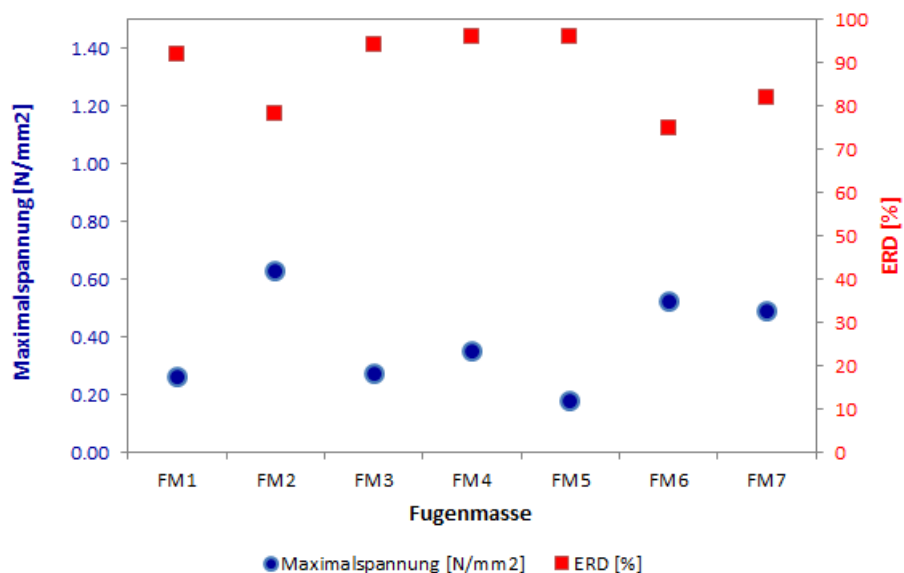


Abb. 5.1.2 Werte der Maximalspannungen bei der Prüfung „Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung gemäss EN 13880-13:2003“ und der „elastischen Rückstellung mittels Duktilität gemäss ETAG 032/Teil 3 Entwurf Oktober 2012“ der Fugenmassen nach der Alterungsmethode A im Vergleich.

ERD: elastische Rückstellung mittels Duktilität gemäss ETAG 032/Teil 3 Entwurf Oktober 2012“
 Alterungsmethode A: gemäss EN 13880-6:2004 (bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)

5.2 Einfluss der Einbaubedingung bei Applikation der Fugenmasse

5.2.1 Einfluss der Einbautemperatur

Die entnommene Fugenmasse FM2 wurde als Fugenabdichtung von Tramschienen appliziert (siehe *Tabelle 2.1*). Wegen des Trambetriebes findet das Füllen der Fugen der Tramschienen fast immer spät in der Nacht statt, wenn der Tramverkehr ausser Betrieb ist. Auch an diesem Objekt wurde die Fugenapplikation zwischen 0:30 Uhr und 5:00 Uhr ausgeführt. Beim Beginn des Einbaus betrug die Temperatur der Fugenmasse ca. 186°C. Die Temperatur der Fugenmasse beim Einbau-Ende (sehr früh am Morgen; um etwa 4:30Uhr) wurde durch die Unternehmung nicht gemessen. Die GPC-Untersuchungen deuteten auf eine starke Überhitzung der Fugenmasse hin. Etwa die Hälfte der Polymere wurde zersetzt (siehe *Abbildung 5.2.1*). Durch Zersetzung der Polymere mit grossen Molekulargewichten bilden sich Polymere mit kleineren Molekulargewichten (siehe grünes Chromatogramm zwischen Analysezeit 12.7 min und 15 min in *Abbildung 5.2.1*). Durch diese Überhitzung nahm die Konus-Penetration im Vergleich zur Probe im Anlieferungszustand stark zu und der Erweichungspunkt mit dem Ring- und Kugel-Verfahren sowie die elastische Rückstellung mittels Duktilität bei 0°C nahmen ab (siehe *Tabelle 5.2.1*).

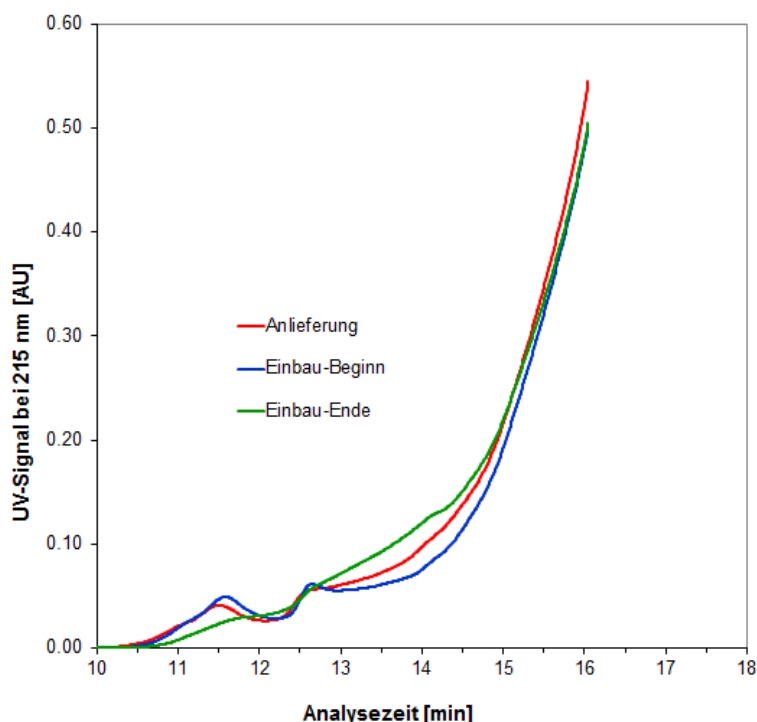


Abb. 5.2.1 GPC-Chromatogramme (Ausschnitt im Bereich Polymere) der Fugenmasse FM2 im Anlieferungszustand, nach Einbau-Beginn und -Ende.

Tab. 5.2.1 Werte der Konus-Penetration und des Ep RuK der Fugenmasse FM2 im Anlieferungszustand, nach Einbau-Beginn und -Ende im Vergleich

Probe	Konus-Penetration [10^{-1} mm]	Ep RuK [°C]	ERD [%]
Anlieferungszustand	53	120	78
Einbau-Beginn	59	106	75
Einbau-Ende	68	98	72

ERD: elastischen Rückstellung mittels Duktilität gemäss ETAG 032/Teil 3 Entwurf Oktober 2012"
 Ep RuK: Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren gemäss EN 1472:2007

5.2.2 Einfluss der Verweildauer der Fugenmasse im Kocher

Die GPC-Untersuchung hat gezeigt, dass sich die Polymere in der Fugenmasse FM7 bei Einbau-Beginn trotz einer Einbautemperatur von 172°C sehr stark zersetzt haben (siehe *Abbildung 5.2.2*). Die Konuspenetration der Probe bei Einbau-Beginn nahm im Vergleich zur Probe im Anlieferungszustand um $22 \cdot 10^{-1} \text{ mm}$ zu und der Ep RuK nahm um 8°C ab. Es ist zu erwähnen, dass die Fugenmasse während des Einbaus sukzessive portioniert in den Ofen eingebracht wurde. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse aller Untersuchungen an der Probe am Einbau-Ende wieder in vernünftigen Rahmen normalisiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen der Probe Einbau-Ende unterscheiden sich sehr wenig von der Probe im Anlieferungszustand (siehe *Tabelle 5.2.2*).

Die Strapazierung der Fugenmasse FM7 bei Einbau-Beginn könnte einem dieser Gründe zugeordnet werden:

- Eine übermässige Verweildauer der Fugenmasse im Kocher (z.B. eine ganze Nacht im Kocher aufgeschmolzen)
- Die Probe „Einbau-Beginn“ war effektiv die alte Fugenmasse vom Vortag, die nicht aus dem Ofen entfernt wurde.

Der wahre Grund blieb aber von der Einbauunternehmung her nicht eruierbar.

Durch diese Strapazierung wurde die Fugenmasse der Probe „Einbau-Beginn“ sowohl in der Wärme (starke Zunahme der Konus-Petration) als auch in der Kälte (starke Abnahme der Maximalspannung bei der Prüfung Haft- und Dehn-Vermögen bei -20°C) sehr weich. Durch das Weichwerden bei -20°C fanden bei der Prüfung Haft- und Dehn-Vermögen keine Brüche an Prüfkörpern statt, und die Probe erfüllte ausnahmsweise die Anforderung dieser Prüfung.

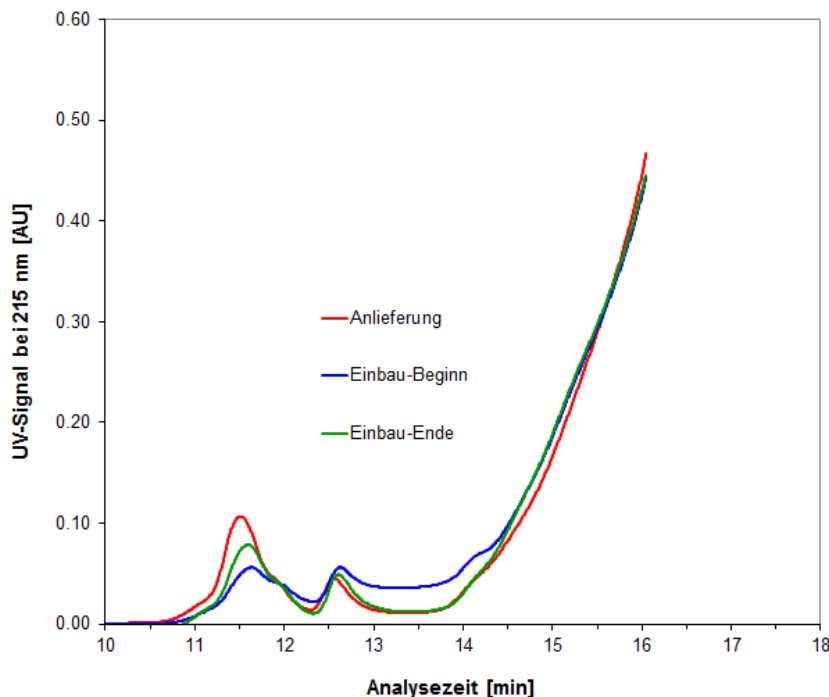


Abb. 5.2.2 GPC-Chromatogramme (Ausschnitt im Bereich Polymere) der Fugenmasse FM7 im Anlieferungszustand, nach dem Einbau-Beginn und -Ende.

Tab. 5.2.2 Werte der Konuspenetration und des Ep RuK sowie Ergebnisse der Fugenmasse FM2 im Anlieferungszustand, nach Einbau-Beginn und –Ende im Vergleich

Probe	Konus-Penetration [10 ⁻¹ mm]	Ep RuK [°]	Dehn-&Haftvermögen	
			PK-Zustand	Maximalspannung [N/mm ²]
Anlieferung	63	105	Bruch	0.47
Einbau-Beginn	85	97	i.O.	0.35
Einbau-Ende	65	103	Bruch	0.48

Ep RuK: Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren gemäss EN 1472:2007

i.O.: Prüfkörper blieb intakt

Bruch: Flankenablösung oder Riss in der Fugenmasse

5.3 Eigenschaft der Fugenmassen nach dem Aufschmelzen gemäss Norm EN 13880-6:2004

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass die Qualität der untersuchten Fugenmassen nicht durch die thermische Beanspruchung beim Aufschmelzen während sechs Stunden gemäss Norm EN 13880-6:2004 verschlechtert wurde. Die Ergebnisse der Prüfung „Dehn- und Haft-Vermögen“ gemäss EN 13880-13:2003 haben gezeigt, dass das Nicht-Erfüllen der Anforderung nicht als Folge des Aufschmelzens während sechs Stunden gemäss EN 13880-6:2004 anzusehen ist, sondern diese Fugenmassen bereits im Anlieferungszustand (ohne Voralterung) die Anforderung nicht erfüllen konnten (siehe Tabelle 5.3.1).

Die Ergebnisse haben auch gezeigt, dass die Eigenschaften der Fugenmassen nach dem obligatorischen Aufschmelzen der Proben im Anlieferungszustand und nach dem normalen Einbau (ohne Überhitzung) gemäss EN 13880-6:2004 ähnlich waren (siehe Abschnitt 5.4).

Tab. 5.3.1 Beurteilung der Ergebnisse der Prüfung Bestimmung des Dehn- und Haft-Vermögens“ gemäss EN 13880-13:2003 der Fugenmassen im Anlieferungszustand (ohne Voralterung), nach dem Aufschmelzen gemäss EN 13880-6:2004 und nach dem Einbau in Bezug auf die Anforderung gemäss EN 14188-1.

Fugenmasse	Anforderung ①	im Anlieferungs- zustand	nach Aufschmelzen gemäss EN 13880-6:2004 ②
FM1	A1	erfüllt	erfüllt
FM2	A1	nicht erfüllt	nicht erfüllt
FM3	A2	erfüllt	erfüllt
FM4	A2	erfüllt	erfüllt
FM5	A2	erfüllt	erfüllt
FM6	A2	nicht erfüllt	nicht erfüllt
FM7	A2	nicht erfüllt	nicht erfüllt

①: Anforderung der Norm EN 14288-1 für die Prüfung Dehn- und Haft-Vermögens“ gemäss EN 13880-13:2003:

A1: Prüfung bei -25°C, weder Riss noch Flankenablösung; Maximalspannung $\leq 1.00 \text{ N/mm}^2$, Endspannung $\leq 0.15 \text{ N/mm}^2$ (Anforderung für Fugenmasse Typ N1 gemäss EN 14188-1:2007)

A2: Prüfung bei -20°C, weder Riss noch Flankenablösung; Maximalspannung $\leq 0.75 \text{ N/mm}^2$ (Anforderung für Fugenmasse Typ N2 gemäss EN 14188-1:2007)

②: Die Aufschmelzung der Fugenmasse gemäss EN 13880-6:2004 entspricht der Alterungsmethode A in dieser Forschungsarbeit.

5.4 Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach dem Einbau und nach Anwendung der Alterungsmethoden im Labor

5.4.1 Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach dem Einbau und der Anwendung von Alterungsmethoden A, B und D im Labor

In *Tabellen 5.4.1 ... 5.4.4* sind die Ergebnisse der ausgeführten Prüfungen an Proben nach dem Einbau und nach Anwendung der verschiedenen Alterungsmethoden im Labor zusammengefasst. Die Werte der Prüfungen Konuspenetration, Erweichungspunkt Ring und Kugel und elastische Rückstellung sind in *Abbildungen 5.4.1 ... 5.4.3* grafisch dargestellt.

Tab. 5.4.1 Ergebnisse Haft- und Dehnvermögen aller Fugenmassen nach dem Einbau und nach Anwendung der Alterungsmethoden A, B und D im Vergleich

Fugenmasse	Anforderung ①	Einbau ②	Alterungsmethode A ③	Alterungsmethode B ④	Alterungsmethode D ⑤
FM1	A1	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt
FM2	A1	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
FM3	A2	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt
FM4	A2	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt
FM5	A2	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt
FM6	A2	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
FM7	A2	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt

①: Anforderung der Norm EN 14288-1 für die Prüfung „Dehn- und Haft-Vermögen“ gemäss EN 13880-13:2003:

A1: Prüfung bei -25°C: weder Riss noch Flankenablösung; Maximalspannung $\leq 1.00 \text{ N/mm}^2$, Endspannung $\leq 0.15 \text{ N/mm}^2$ (Anforderung für Fugenmasse Typ N1 gemäss EN 14188-1:2007)

A2: Prüfung bei -20°C: weder Riss noch Flankenablösung; Maximalspannung $\leq 0.75 \text{ N/mm}^2$ (Anforderung für Fugenmasse Typ N2 gemäss EN 14188-1:2007)

②: - Bei Fugenmassen FM1, FM3, FM4 und FM6: Mittelwert aus den Ergebnissen der Proben „Einbau-Beginn“ und „Einbau-Ende“, da es bei deren Einbau keine Überhitzung gegeben hat.

- Bei Fugenmassen FM2 und FM5: Ergebnis der Probe „Einbau-Beginn“, da die Fugenmassen beim „Einbau-Ende“ überhitzt wurden.

- Bei Fugenmassen FM7: Ergebnis der Probe „Einbau-Ende“, da die Fugenmasse beim „Einbau-Beginn“ überhitzt wurde.

③: Alterungsmethode A gemäss EN 13880-6:2004 (Aufschmelzung bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)

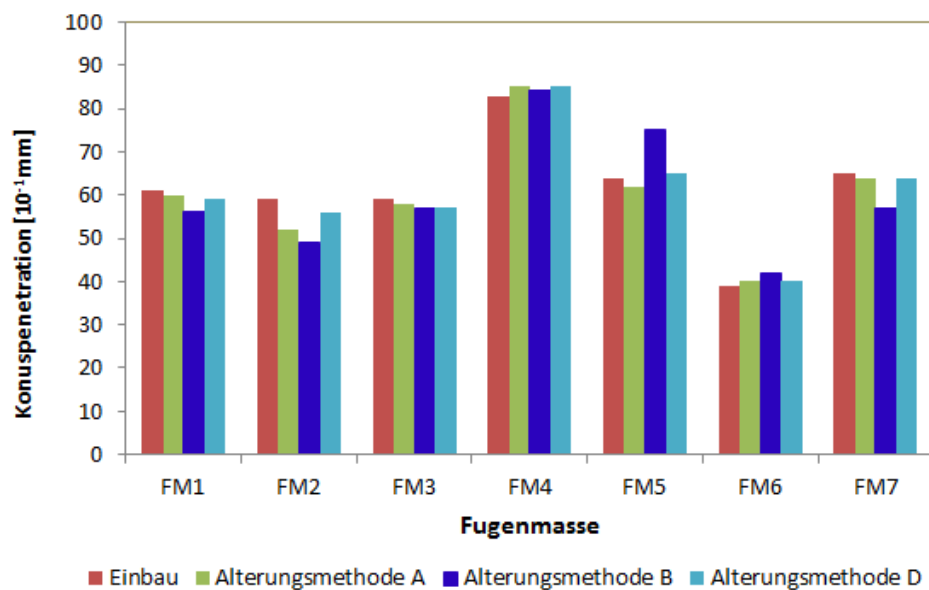
④: Alterungsmethode B in Anlehnung an EN 12607-3:2007 (Aufschmelzung der Fugenmasse im Rundkolben, bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)

⑤: Alterungsmethode D (wie Alterungsmethode A, aber nur 3h statt 6h Rühren ohne Luftzufuhr)

Tab. 5.4.2 Ergebnisse der Konuspenetration $[10^{-1}\text{mm}]$ aller Fugenmassen nach dem Einbau und Anwendung der Alterungsmethoden A, B und D im Vergleich

Fugenmasse	Einbau ①	Alterungsmethode A ②	Alterungsmethode B ③	Alterungsmethode D ④
FM1	61	60	56	59
FM2	59	52	49	56
FM3	59	58	57	57
FM4	83	85	84	85
FM5	64	62	75	65
FM6	39	40	42	40
FM7	65	64	57	64

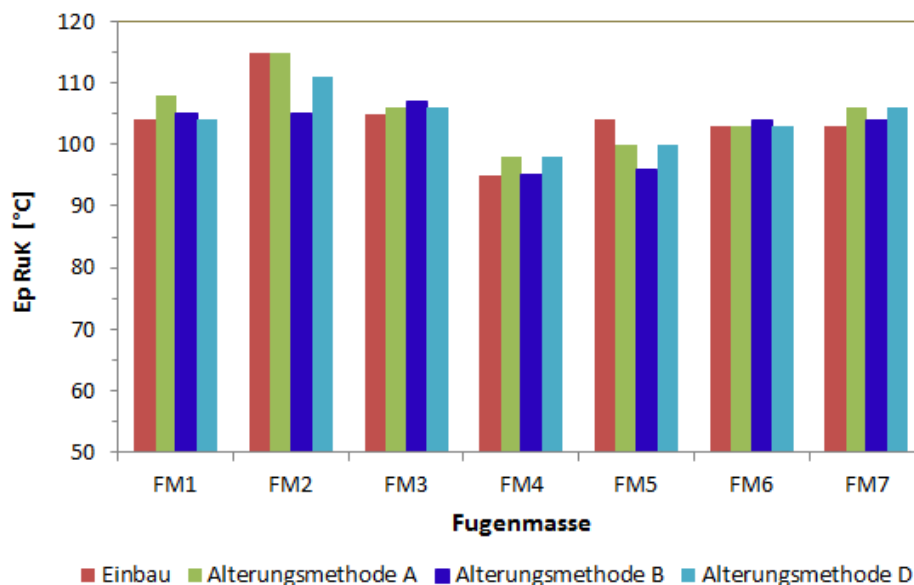
- ①: - Bei Fugenmassen FM1, FM3, FM4 und FM6: Mittelwert aus den Ergebnissen der Proben „Einbau-Beginn“ und „Einbau-Ende“, da es bei deren Einbau keine Überhitzung gegeben hat.
 - Bei Fugenmassen FM2 und FM5: Ergebnis der Probe „Einbau-Beginn“, da die Fugenmassen beim „Einbau-Ende“ überhitzt wurden.
 - Bei Fugenmassen FM7: Ergebnis der Probe „Einbau-Ende“, da die Fugenmasse beim „Einbau-Beginn“ überhitzt wurde.
- ②: Alterungsmethode A gemäss EN 13880-6:2004 (Aufschmelzung bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)
- ③: Alterungsmethode B in Anlehnung an EN 12607-3:2007 (Aufschmelzung der Fugenmasse im Rundkolben, bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)
- ④: Alterungsmethode D (wie Alterungsmethode A, aber nur 3h statt 6h Rühren ohne Luftzufuhr)

**Abb. 5.4.1** Grafische Darstellung der Konuspenetrationen aus Tabelle 5.4.2.

Tab. 5.4.3 Ergebnisse des Erweichungspunkt mit Ring und Kugel [°C] aller Fugenmassen nach dem Einbau und Anwendung der Alterungsmethoden A, B und D im Vergleich

Fugenmasse	Einbau ①	Alterungsmethode A ②	Alterungsmethode B ③	Alterungsmethode D ④
FM1	104	108	105	104
FM2	115	115	105	111
FM3	105	106	107	106
FM4	95	98	95	98
FM5	104	100	96	100
FM6	103	103	104	103
FM7	103	106	104	106

- ①: - Bei Fugenmassen FM1, FM3, FM4 und FM6: Mittelwert aus den Ergebnissen der Proben „Einbau-Beginn“ und „Einbau-Ende“, da es bei deren Einbau keine Überhitzung gegeben hat.
 - Bei Fugenmassen FM2 und FM5: Ergebnis der Probe „Einbau-Beginn“, da die Fugenmassen beim „Einbau-Ende“ überhitzt wurden.
 - Bei Fugenmassen FM7: Ergebnis der Probe „Einbau-Ende“, da die Fugenmasse beim „Einbau-Beginn“ überhitzt wurde.
- ②: Alterungsmethode A gemäss EN 13880-6:2004 (Aufschmelzung bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)
- ③: Alterungsmethode B in Anlehnung an EN 12607-3:2007 (Aufschmelzung der Fugenmasse im Rundkolben, bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)
- ④: Alterungsmethode D (wie Alterungsmethode A, aber nur 3h statt 6h Rühren ohne Luftzufuhr)

**Abb. 5.4.2** Grafische Darstellung der Erweichungspunkte Ring und Kugel aus Tabelle 5.4.3.

Tab. 5.4.4 Ergebnisse der elastischen Rückstellung mittels Duktilität bei 0°C [%] aller Fugenmassen nach dem Einbau und Anwendung der Alterungsmethoden A, B und D im Vergleich

Fugenmasse	Einbau ①	Alterungsmethode A ②	Alterungsmethode B ③	Alterungsmethode D ④
FM1	91	90	90	91
FM2	75	78	76	77
FM3	93	94	93	91
FM4	93	98	95	98
FM5	95	96	95	95
FM6	80	79	74	78
FM7	81	82	80	82

- ①: - Bei Fugenmassen FM1, FM3, FM4 und FM6: Mittelwert aus den Ergebnissen der Proben „Einbau-Beginn“ und „Einbau-Ende“, da es bei deren Einbau keine Überhitzung gegeben hat.
 - Bei Fugenmassen FM2 und FM5: Ergebnis der Probe „Einbau-Beginn“, da die Fugenmassen beim „Einbau-Ende“ überhitzt wurden.
 - Bei Fugenmassen FM7: Ergebnis der Probe „Einbau-Ende“, da die Fugenmasse beim „Einbau-Beginn“ überhitzt wurde.
- ②: Alterungsmethode A gemäss EN 13880-6:2004 (Aufschmelzung bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)
- ③: Alterungsmethode B in Anlehnung an EN 12607-3:2007 (Aufschmelzung der Fugenmasse im Rundkolben, bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)
- ④: Alterungsmethode D (wie Alterungsmethode A, aber nur 3h statt 6h Rühren ohne Luftzufuhr)

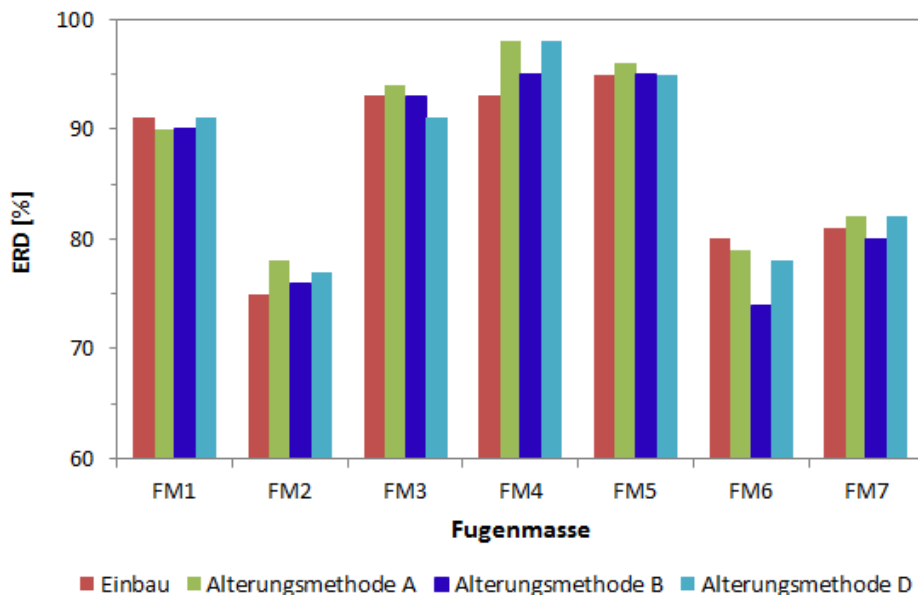


Abb. 5.4.3 Grafische Darstellung der elastischen Rückstellung mittels Duktilität bei 0°C aus Tabelle 5.4.4.

Tab. 5.4.5 Geschätzter Polymerabbau [Höhen-%] der Fugenmassen nach dem Einbau und Anwendung der Alterungsmethoden A, B und D im Vergleich

Fugenmasse	Einbau ①	Alterungsmethode A ②	Alterungsmethode B ③	Alterungsmethode D ④
FM1	<15	<15	36	18
FM2	<15	<15	36	<15
FM3	<15	<15	30	<15
FM4	<15	<15	29	<15
FM5	<15	<15	41	<15
FM6	<15	<15	<15	<15
FM7	27 ⑤	<15	27	<15

- ①: - Bei Fugenmassen FM1, FM3, FM4 und FM6: Mittelwert des geschätzten Polymerabbaus der Proben „Einbau-Beginn“ und „Einbau-Ende“, da es bei deren Einbau keine Überhitzung gegeben hat.
 - Bei Fugenmassen FM2 und FM5: geschätzter Polymerabbau der Probe „Einbau-Beginn“, da die Fugenmassen beim „Einbau-Ende“ überhitzt wurden.
 - Bei Fugenmassen FM7: geschätzter Polymerabbau der Probe „Einbau-Ende“, da die Fugenmasse beim „Einbau-Beginn“ überhitzt wurde.
- ②: Alterungsmethode A gemäss EN 13880-6:2004 (Aufschmelzung bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr)
- ③: Alterungsmethode B in Anlehnung an EN 12607-3:2007 (Aufschmelzung der Fugenmasse im Rundkolben, bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 3h, Rundkolben drehen mit Luftzufuhr)
- ④: Alterungsmethode D (wie Alterungsmethode A, aber nur 3h statt 6h Rühren ohne Luftzufuhr)
- ⑤: Die Probe „Einbau-Beginn“ Fugenmasse FM7 war stark überhitzt. Trotz sukzessiver Zugabe neuer Fugenmasse während des Einbaus war der Polymerabbau der Probe „Einbau-Ende“ noch höher als bei den anderen Fugenmassen mit normalem Einbau.

5.4.2 Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach dem Einbau und der Anwendung von Alterungsmethode A im Labor

Es ist zu erwähnen, dass die Alterungsmethode A dem Aufschmelzen der Fugenmasse gemäss EN 13880-6:2004 (Aufschmelzen bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, 6h, Rühren ohne Luftzufuhr) [19] entspricht.

Die Ergebnisse in Tabellen 5.4.1 ... 5.4.4 zeigen, dass die Proben nach Anwendung der Alterungsmethode A überwiegend ähnliche Eigenschaften wie die Proben der Fugenmassen nach normalem Einbau (ohne Überhitzung) aufwiesen. Ähnlich erfolgte auch der Polymerabbau der Fugenmassen der Proben nach Anwendung der Alterungsmethode A und nach dem Einbau ohne Überhitzung, ausser bei der Fugenmasse FM7. Der Polymerabbau bei der Probe „Einbau-Ende“ der Fugenmasse FM7 war im Vergleich zu den anderen Fugenmassen relativ hoch. Der Grund lag an der starken Überhitzung der Probe „Einbau-Beginn“ der Fugenmasse FM7. Trotz sukzessiver Zugabe neuer Fugenmasse im Anlieferungszustand während des Einbaus war der Polymerabbau der Probe „Einbau-Ende“ gemäss GPC-Untersuchungen noch höher als bei den anderen Fugenmassen mit normalem Einbau (siehe Tabelle 5.4.5).

5.4.3 Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach Anwendung der Alterungsmethoden A und B

Wie bereits im Abschnitt 3.1 detailliert dargestellt, unterscheiden sich die beiden Alterungsmethoden A und B bezüglich:

- Dauer der Belastung (sechs Stunden bei Alterungsmethode A und drei Stunden bei Alterungsmethode B) sowie
- Einwirkung durch Sauerstoff bei gleicher Temperatur (ohne Luftzufuhr bei Alterungsmethode A und mit Luftzufuhr bei Alterungsmethode B).

Trotz kürzere Belastungszeit haben sich die Polymere der Fugenmassen bei Alterungsmethode B sehr stark abgebaut (siehe *Tabelle 5.4.5*). Die Luftzufuhr bei Alterungsmethode B bewirkte eine Oxidation der Polymere. Diese zersetzten sich und es entstanden kleinere Polymer-Moleküle (siehe GPC-Chromatogramme in Abschnitt 4.2). Die Werte der Konuspenetration nach Anwendung der Alterungsmethode B zeigten mehrheitlich viel stärkere Abweichungen zu den Werten der Proben nach dem normalen Einbau als die Proben nach Anwendung der Alterungsmethode A.

5.4.4 Vergleich der Eigenschaften der Fugenmassen nach Anwendung der Alterungsmethoden A und D

Die Alterungsmethoden A und D unterschieden sich nur in der Belastungsdauer (sechs Stunden bei Alterungsmethode A und drei Stunden bei Alterungsmethode B). Sonst waren die anderen Prüfbedingungen, wie Temperatur, Rühren im Kübel ohne Luftzufuhr dieselben. Für beide Alterungsmethoden wird gleiche Prüfeinrichtung benötigt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen erkennen, dass die Eigenschaften der Proben nach Anwendung der Alterungsmethoden A und D trotz unterschiedlicher Aufschmelzdauer (drei und sechs Stunden) sowohl bei hoher Temperatur (siehe Erweichungspunkt Ring und Kugel in *Tabelle 5.4.3*) als auch bei Raumtemperatur (siehe Konuspenetration bei 25°C in *Tabelle 5.4.2*) sowie bei tiefen Temperaturen (siehe Ergebnisse der Prüfung „elastische Rückstellung mittels Duktilität bei 0°C“ in *Tabelle 5.4.4* und der Prüfung „Haft- und Dehn-Vermögen“ bei -25°C bzw. -20°C in *Tabelle 5.4.3*) sehr ähnlich waren. Der Polymerabbau bei beiden Alterungsmethoden war ebenfalls in ähnlicher Grössenordnung (siehe GPC-Chromatogramme im Abschnitt 4.2).

6 Schlussfolgerungen

6.1 Qualität der Fugenmassen auf dem Schweizer Markt

Die Erkenntnisse dieser Arbeit sowie die zusätzlichen Erfahrungen des In- und Auslands belegen, dass die Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassen auf dem Markt zurzeit sehr kritisch ist. Nahezu die Hälfte der untersuchten Fugenmassen (eine aus der Schweiz und zwei aus dem Ausland) erfüllten die Anforderung der Prüfung „Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung“ gemäss Norm EN 13880-13:2003 [20] nicht, welche für die Dauerhaftigkeit der Fugen hinsichtlich Flankenablösung oder Rissbildung der Fugenmasse in der Praxis massgebend ist.

Die mangelhafte Qualität der Fugenmassen auf dem Markt könnte auf die nicht so strenge Regelung des Systems der Konformitätsbescheinigung für die heiss verarbeitbaren Fugenmassen in der Norm EN 14188-1:2004 [15] zurückzuführen sein. Wie aus Tabelle ZA.2 dieser Norm ersichtlich, gehören die heiss verarbeitbaren Fugenmassen für den Anwendungszweck „Fugen in Strassen, Flugplätzen, Brückenfläche, Parkdecks usw.“ zum System der Konformitätsbescheinigung Nr. 4 gemäss EU-Bauproduktrichtlinie „Richtlinie 89/106/EWG (BPR), Anhang III.2(ii), Möglichkeit 3“ [14]. Beim System der Konformitätsbescheinigung Nr. 4 handelt es sich um eine Konformitätserklärung des Herstellers für das Produkt anhand der Erstprüfung und der werkseigenen Produktionskontrolle (siehe Tabelle 6.1). Das bedeutet, dass der Hersteller die Möglichkeit hat, die Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassen sowohl bei Erstprüfung als auch bei regelmässiger werkseigener Produktionskontrolle WPK selber zu bestimmen und zu deklarieren, ohne eine akkreditierten Prüfstelle beizuziehen. Die Produktdokumentation im technischen Merkblatt steht dem Hersteller frei und wird von keiner Instanz kontrolliert.

Tab. 6.1 Kontrollinstanzen bei verschiedenen Systemen der Konformitätsbescheinigung gemäss Richtlinie 89/106/EWG, Anhang III

Aufgaben	System der Konformitätsbescheinigung	1+	1	2+	3	4
Hersteller	Typprüfung des Bauproduktes	---	---	X	---	X
	Werkseigene Produktionskontrolle (WPK)	X	X	X	X	X
	Prüfungen nach festgelegtem Prüfplan	X	X	X	---	---
Notifizierte Stelle	Typprüfung des Bauproduktes	X	X	---	X	---
	Erstüberwachung	X	X	X	---	---
	+ Produktprüfung	X	---	---	---	---
	Laufende Überwachung der WPK	X	X	X	---	---
	+ Produktprüfung	X	---	---	---	---
	Zertifizierung	X	X	X	---	---

X: Durchführung; ---: keine Durchführung

Das Einhalten der Vorgaben der Norm EN 14188-1 an die WPK wird von keiner Drittstelle kontrolliert. Es wird somit nicht kontrolliert, ob der Hersteller die Vorgaben der Norm an die Prüfintervalle einhält. Die Eingeschaft Haft- und Dehnvermögen nach der EN 13880-13 muss jährlich mindestens einmal geprüft werden.

Flankenablösung oder Rissbildung in der Fugenmasse verursachen ein Undichtwerden der Fuge mit Folgeschäden am Bauobjekt. Um die Qualität der heissverarbeitbaren Fugenmassen auf dem Markt zu verbessern, müssen zur Definition der „Systeme der Konformitätsbescheinigung“ neue Massnahmen definiert werden.

6.2 Aufschmelzen der Fugenmasse gemäss Norm EN 13880-6

Die Norm EN 14188-1:2004 [15] hat vor ihrem Inkrafttreten viele Hersteller heiss verarbeitbarer Fugenmassen verunsichert. In dieser Norm wurde vorgeschrieben, dass

die heiss verarbeitbaren Fugenmassen vor der Herstellung von Prüfkörpern gemäss EN 13880-6:2004 [19] während sechs Stunden auf der Sicherheitsüberhitzungstemperatur aufgeschmolzen werden müssen und danach alle Anforderungen der Norm EN 14188-1:2004 [15] erfüllen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben gezeigt, dass die Proben nach dem Aufschmelzen während sechs Stunden gemäss EN 13880-6:2004 überwiegend ähnliche Eigenschaften hatten wie die Proben der Fugenmassen nach normalem Einbau (ohne Überhitzung). Auch die Qualität der untersuchten Fugenmassen wurde durch die thermische Beanspruchung beim Aufschmelzen während sechs Stunden gemäss Norm EN 13880-6:2004 nicht verschlechtert. Drei der untersuchten Fugenmassen hatten die Anforderung der Norm EN 14188-1:2004 für die Prüfung „*Dehn- und Haft-Vermögen*“ gemäss EN 13880-13:2003 [20] nicht erfüllt. Dies war aber nicht eine Folge des sechsständigen Aufschmelzens der Fugenmassen vor der Prüfkörperherstellung, da diese drei Fugenmassen bereits im Anlieferungszustand die Anforderung nicht erfüllen konnten.

Somit kann eine Verschlechterung der Qualität der Fugenmassen aufgrund des Aufschmelzens gemäss EN 13880-6:2004 [19] vor der Prüfkörperherstellung ausgeschlossen werden.

Dazu kann aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit bestätigt werden, dass die damalige Entscheidung der europäischen Kommission für das Aufschmelzen der heissverarbeiteten Fugenmassen gemäss EN 13880-6:2004 [19] vor der Prüfkörperherstellung richtig und fachgerecht war.

6.3 Eignung der Voralterungsmethoden der Fugenmassen

In dieser Arbeit wurde geplant, die Alterung beim Einbau mittels vier Alterungsmethoden im Labormassstab zu simulieren und daraus eine Methode auszugewählen, die der Praxis am nächsten kommt. Die drei durchgeführten Alterungsmethoden A, B und D unterscheiden sich in der thermischen Belastungsdauer (3 Stunden bei Alterungsmethoden B sowie C und 6 Stunden bei Alterungsmethode A) sowie mit bzw. ohne Einfluss der Oxidation durch Luftzufuhr (Alterungsmethode A und D ohne Luft sowie Alterungsmethode B mit Luftzufuhr).

Die Ergebnisse zeigten, dass die Polymere mit grossen Molekulargewichten in den Fugenmassen infolge Oxidation durch Luftzufuhr während drei Stunden sehr stark abgebaut wurden. Dadurch veränderten sich mehrheitlich die Eigenschaften der Fugenmassen gegenüber den Proben beim normalen Einbau. Somit kann gefolgert werden, dass eine oxidative, thermische Alterung der Fugenmassen wie Alterungsmethode B zum Simulieren des Einbaus nicht geeignet ist.

Die Eigenschaften der Fugenmassen nach den Alterungsmethoden A und D (beide ohne Luftzufuhr) waren im Vergleich zu denjenigen des normalen Einbaus überwiegend ähnlich. Ausserdem war der Zustand der Fugenmassen in der Wärme, bei hoher Temperatur sowie in der Kälte nach Anwendung der Alterungsmethoden A und D trotz unterschiedlicher Aufschmelzungsdauer (6 Stunden bei Alterungsmethode A und 3 Stunden bei Alterungsmethode D) sehr ähnlich.

Somit sind thermische Alterungen der Fugenmassen ohne Einwirkung von Luft am geeignetsten. Um Zeit und Energie zu sparen, kann das Aufschmelzen der Fugenmassen während 6 Stunden nach Alterungsmethode A (gemäss EN 13880-6:2004) [19] durch die Alterungsmethode D (Aufschmelzung während 3 Stunden) ersetzt werden.

6.4 Einfluss des Einbaus und der Einbautemperatur

Neben der Qualität der Fugenmassen im Anlieferungszustand ist das Vorgehen beim Fugeneinbau für die Lebensdauer von Fugen von entscheidender Bedeutung. Beim Einhalten der vom Hersteller empfohlenen Höchstverarbeitungstemperatur sowie der Verweildauer bis Maximum 8 Stunden betrug der Abbau von SBS-Polymeren maximal 30 GPC-Flächen-% [5].

Bei Überhitzung werden die Polymere generell drastisch abgebaut (z.B. Polymerabbau bei FM2 und FM7 von ca. 50-%). Um die Fugenmasse zu schonen, muss sie im Ofen so dosiert werden, dass die erwärmte Masse noch am gleichen Tag verbraucht wird. Der Ofen sollte für den Einbautag nicht mit der Fugenmasse auf einmal gefüllt werden. Die Fugenmasse sollte zu Beginn massvoll und später sukzessive portioniert in den Ofen eingebracht werden, um sicherzustellen, dass die gesamte für den Einbautag erwärmte Fugenmasse am gleichen Tag verbraucht wird. Fugenmassenreste vom Vortag sind aus dem Ofen zu entfernen und sollten für den Fugeneinbau nicht mehr verwendet werden.

7 Empfehlungen für die Praxis

7.1 Massnahmen zur Verbesserung der Qualität der Fugenmassen auf dem Markt

Der Grund der mangelhaften Qualität der Fugenmassen auf dem Markt könnte an der wenig greifigen Regelung des „Systems der Konformitätsbescheinigung“ für die heiss verarbeitbaren Fugenmassen in der Norm EN 14188-1:2004 [15] liegen, da die Hersteller die Möglichkeit haben, die Qualität ihrer heiss verarbeitbaren Fugenmassen selber zu bestimmen und zu deklarieren, ohne eine akkreditierte Prüfstelle beiziehen zu müssen. Wie in der Schweizer Norm SN 670 281a-NA *„Fugeneinlagen und Fugenmassen – Teil 1: Anforderungen an heiss verarbeitbare Fugenmassen“* dargelegt, enthält die Norm EN 14188-1:2007 die Festlegungen für die Durchführung der Konformitätsbewertung und diese Festlegungen werden für die Schweiz gültig erklärt.

Um die Qualität der heissverarbeitbaren Fugenmassen auf dem Schweizer sowie EU-Markt zu verbessern, empfehlen wir der Europäischen Normierungskommission für heiss verarbeitbare Fugenmassen, die Definition der *„Systeme der Konformitätsbescheinigung“* für die heiss verarbeitbaren Fugenmassen in der Norm EN 14188-1“ [15] neu zu definieren und festzulegen, dass das Erfüllen der Anforderungen für Fugenmassen sowie die Qualitätssicherung durch eine notifizierte Stelle überprüft werden müssen.

Für die objektspezifische Anwendung in der Schweiz empfehlen wir den Bauherren, einen Qualitätsnachweis für Fugenmassensysteme durch ein akkreditiertes Labor zu verlangen.

7.2 Vorschlag zu Norm EN 13880-6:2004

Zur Herstellung von Prüfkörpern im Labor müssen die heiss verarbeitbaren Fugenmassen gemäss Norm EN 13880-6:2004 [19] während sechs Stunden auf der Sicherheitsüberhitzungstemperatur aufgeschmolzen werden. Nach dem Aufschmelzen von Fugenmassen-Proben werden daraus sofort Prüfkörper hergestellt und bei Raumtemperatur abkühlen gelassen. Die Prüfkörper dürfen bis zur Durchführung der Prüfungen nicht beliebig lang gelagert werden. Aus diesem Grund ist die Aufschmelzdauer von sechs Stunden ungünstig für den Arbeitsrhythmus von Laboratorien. Aus den Ergebnissen dieser Arbeit folgt, dass die Eigenschaften der Fugenmassen nach dem Aufschmelzen gemäss EN 13880-6:2004 während drei Stunden (Alterungsmethode D) sehr ähnlich waren wie nach dem Aufschmelzen während sechs Stunden (Alterungsmethode A). Um Zeit und Energie zu sparen, empfehlen wir deswegen, die Aufschmelzdauer in der Norm EN 13880-6:2004 von sechs auf drei Stunden zu reduzieren.

7.3 Empfehlung zur Applikation der Fugenmassen

Die Eigenschaften der Fugenmassen im Anlieferungszustand können sich sehr stark durch den Einbau, z.B. durch eine Überhitzung oder zu lange Verweildauer der Fugenmassen im Ofen verändern. Die Beschaffenheit der Fugenflanken und die Applikation der Voranstriche beeinflussen die Haftung der Fugenmassen am Beton sowie die Blasenbildung im Betrieb. Aber auch die Fugenfüllung ist für die Verbindung zwischen den Fugenmassen-Schichten sowie zwischen den Fugenmassen und Betonflanken sehr wichtig. Aus diesem Grund sind folgende Punkte bei der Ausführung der Fugenabdichtung mit heiss verarbeitbaren Fugenmassen nach wie vor von grosser Bedeutung für die Dauerhaftigkeit:

Gerätschaften:

- Aufschmelzen der Fugenmasse nur mit Kocher mit Oelummantelung, Temperatur- und Rührwerksregelung
- Einrichtung zum Schneiden der Fuge (nicht fräsen!)
- Verwendung von Heisspressluft zum Entfernen der Staubreste und zum schonenden Erwärmen der Fugen.
- Vergiessen der Fugenmasse mit einer Lanze (sauber, effizient und wenig Wärmeverlust)

Vorbehandlung der Fuge:

- Fugenmassen dürfen wegen der Gefahr von Blasenbildung nicht auf Beton bzw. Belag mit Sackporen oder Lunkern aufgebracht werden. Ein Voranstrich kann die Blasenbildung der Fugenmasse an Fugenflanken mit Hohlräumen nicht verhindern.
- Fugenflanken und -boden müssen frei von Öl, Fett, Staub, Sand, Blättern etc. sein. Eine Vorbehandlung der Fugenflanken durch Sandstrahlen ist vorteilhaft, da allfällige Verschmutzungen wie Öl oder Fett entfernt werden und die Flankenoberfläche dadurch aufgeraut werden.
- Unmittelbar vor dem Eintragen des Voranstriches müssen die Fugen mit trockener Heisspressluft gesäubert und leicht erwärmt werden.
- Der Voranstrich soll nur ausgeführt werden, wenn die Fugenfüllung unmittelbar nach der Trocknungszeit (gemäss Ausführungsanweisungen) ausgeführt werden kann.
- Die Fugen müssen vor dem Auftragen des Voranstriches sauber und trocken sein.
- Eine Verschmutzung des aufgetragenen Voranstriches durch Staub, Sand, Blätter etc. ist zu vermeiden.
- Der Voranstrich muss vor der Applikation homogenisiert werden und eine Temperatur $\geq 15^{\circ}\text{C}$ haben.
- Die Ausführungsanweisungen (Eintragmenge, Trocknungszeit etc.) sind einzuhalten.

Fugenfüllung:

- Die Fugenmassentemperatur im Ofen muss nach den Herstellerangaben eingestellt werden. Bei mit SBS modifizierten Fugenmassen ist eine Erwärmung in der Regel bei $180\pm 5^{\circ}\text{C}$ empfehlenswert.
- Die Verweildauer der Fugenmasse im Kocher darf wegen der Zersetzung der Polymere nicht länger als sechs Stunden betragen. Die Menge der Fugenmasse ist so zu dosieren, dass der Ofen sukzessive beschickt werden kann, um die Verweildauer der Fugenmasse zu verkürzen.
- Die erwärmte restliche Fugenmasse im Ofen muss am gleichen Arbeitstag ausgeleert und darf nicht für eine Fugenfüllung an einem anderen Tag benutzt werden.
- Vor der Fugenfüllung müssen Fugenflanken und -boden sauber und trocken sein.
- Die Fugenfüllung ist in zwei Schichten durchzuführen. Der Zeitabstand zwischen der ersten und zweiten Schicht ist so zu definieren, dass sich die beiden Schichten einwandfrei verbinden. Unmittelbar vor Füllung der zweiten Schicht ist eine leichte, vorsichtige Erwärmung der ersten Schicht angezeigt, da dabei allfällige Lufteinschlüsse in der ersten Schicht entfernt werden und die Oberfläche der ersten Schicht erwärmt wird.

Glossar

Begriff	Bedeutung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BPR	Bauprodukterichtlinie
CEN	Europäisches Komitee für Normung
ETAG	Guideline for European Technical Approval
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EN	Europäisches Norm
ERD	Elastische Rückstellung bei 0° C mittels Duktilität
Ep RuK	Erweichungspunkt mit Ring- und Kugel-Verfahren
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FM1 ... FM7	Verschlüsselung/Bezeichnung der heiss verarbeitbaren Fugenmasse
GPC	Gelpermeationschromatografie
PAV	Beschleunigte Langzeit-Alterung mit einem Druckalterungsbehälter
RFT	Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft
SBS	Polystyrol-Butadien-Styrol Copolymer (Elastomer)
SN	Schweizer Norm
TB	Tiefbauamt
Typ N1	Elastische - hoch dehnfähige Fugenmasse (Typenbezeichnung gemäss EN 14188-1)
Typ N2	Normale - geringer dehnfähige Fugenmasse (Typenbezeichnung gemäss EN 14188-1)
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
WPK	Werkseigene Produktionskontrolle

Literaturverzeichnis

-
- [1] Hean, S., Partl, M. N. Polymerbitumen-Fugendichtungsmassen; Prüfmethode aufgrund von Laboruntersuchungen. Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement. VSS-Bericht Nr. 370 (1996).
 - [2] Hean, S., Partl, M.N.: Joint Sealants Made of Polymerbitumen: Low Temperature Behavior and Modified Polymer. Proceedings of 5th Int. Symposium on Cold Region Development, ISCORD '97, Anchorage, USA, 4-10 May. pp485-488, (1997)
 - [3] Oba, K., Hean, S. and Partl, M. N.: Comparison of complex shear modulus of various bituminous construction sealants and the exchange in chemical compositions after the installation. 3rd International Symposium on Durability of Building and Construction Sealants. 2-3 Feb. Fort Lauderdale, USA, Proceedings (2000).
 - [4] Hean, S.: Ausführung und Langzeitbeobachtungen von Fahrbahnübergängen- Die Richtlinien auf dem Felde. ASTRA/EMPA/VESTRA Fahrbahnübergänge aus Polymerbitumen – Die neue Richtlinie des ASTRA und ihre Anwendung in der Praxis, Februar 2000, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, ISBN 3-905594-13-7, pp53...63, (2000).
 - [5] Hean, S., Partl, M. N. Fugenabdichtungen; Langzeitverhalten von Fugenvergussmassen aus Polymerbitumen auf einer Versuchsstrecke. Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement. VSS1991/003. Forschungsbericht Nr. 1052 (2003).
 - [6] Hean, S., Partl, M.N.: Long-term behaviour of polymer bitumen joint sealants on a trial road section. 3. Eurobitume & Euraspalt Congress, Wien, 12.-14. May paper Nr 212, pp546...559, ISBN 90-802884-4-6, (2004).
 - [7] Hean, S., Partl M. N. Fahrbahnübergänge aus Polymerbitumen; Einbau und Langzeiterfassung am Objekt. Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdept. und Tiefbauamt Nidwalden. AGB 1995/001. Forschungsbericht Nr. 579 (2005).
 - [8] Masson J.-F. Bituminous Crack Sealants in Canada: Research and Performance Specifications. NRC, National Research Council of Canada. Tagungsband "Fugendichtungen in Verkehrsflächen mit heissverarbeitbaren Fugenmassen" ISBN 3-905594-43-9 (2005).
 - [9] Eilers, M. Brückenfugen. Erkenntnisse aus Deutschland. BaSt. Tagungsband "Fugendichtungen in Verkehrsflächen mit heissverarbeitbaren Fugenmassen" ISBN 3-905594-43-9 (2005).
 - [10] Bernhard, A. Normierung Stand CH und EU. Was kommt aus die Hersteller, die Unternehmungen und Prüflabor zu. Tagungsband "Fugendichtungen in Verkehrsflächen mit heissverarbeitbaren Fugenmassen" ISBN 3-905594-43-9 (2005).
 - [11] Reip, T Auswirkung der neuen Normen auf die Herstellung der heissverarbeitbaren Fugenmassen. Tagungsband "Fugendichtungen in Verkehrsflächen mit heissverarbeitbaren Fugenmassen" ISBN 3-905594-43-9 (2005).
 - [12] ASTRA Richtlinie Bereich Kunstbauten. Fahrbahnübergänge aus Polymerbitumen. Bundesamt für Strassen (2005).
 - [13] ETAG 032. Guideline for European Technical Approval of Expansion Joints for Road Bridges/Part 3: Flexible Plug Expansion Joints (May 2013)
 - [14] Richtlinie des Rates vom 21.12.1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG).
 - [15] EN 14188-1:2004. Fugeneinlagen und Fugenmassen - Teil 1: Anforderungen an heiss verarbeitbare Fugenmassen.
 - [16] EN 12607-3:2007. Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft - Teil 3: RFT-Verfahren.
 - [17] EN 14769:2005. Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Beschleunigte Langzeit-Alterung mit einem Druckalterungsbehälter (PAV)
 - [18] EN 13880-2:2003. Heiss verarbeitbare Fugenmassen - Teil 2: Prüfverfahren zur Bestimmung der Konus-Penetration bei 25°C
 - [19] EN 13880-6:2004. Heiss verarbeitbare Fugenmassen - Teil 6: Prüfverfahren zur Vorbereitung von Proben für die Prüfung
 - [20] EN 13880-13:2003. Heiss verarbeitbare Fugenmassen - Teil 13: Prüfverfahren zur Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung
 - [21] EN 1427:2007. Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung des Erweichungspunktes - Ring- und Kugel-Verfahren
 - [22] EN 1426:2007. Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Nadelpenetration
 - [23] EN 13398:2010. Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der elastischen Rückstellung von modifiziertem Bitumen
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 09.07.2015

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2005/404
Projekttitel: Beschleunigte Alterungsmethode von heiss verarbeitbaren Fugenmassen zur Simulation des Einbaus
Enddatum: 14.07.2015

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Arbeit hat gezeigt, dass die Qualität der derzeit auf dem Markt erhältlichen heiss verarbeitbaren Fugenmassen (FM) sehr kritisch ist. Fast die Hälfte der untersuchten Fugenmassen erfüllten die Anforderung der wichtigen Systemprüfung "Bestimmung des Dehn- und Haftvermögens bei diskontinuierlicher Dehnung" gemäss Norm EN 13880-13:2003 nicht. Ein Nicht-Erfüllen der Anforderung dieser Prüfung kann gemäss Erfahrung die Dauerhaftigkeit der Fuge am Bauobjekt gefährden.

Die gemäss EN 13880-6:2004 während sechs Stunden aufgeschmolzenen Fugenmassen-Proben wiesen überwiegend ähnliche Eigenschaften wie die Proben nach normalem Einbau auf. Auch wurde die Qualität der untersuchten Fugenmassen durch die thermische Beanspruchung beim Aufschmelzen nicht verschlechtert. Eine Qualitätseinbusse der heiss verarbeitbaren Fugenmasse durch das Aufschmelzen gemäss der EN 13880-6 vor der Prüfkörperherstellung ist daher auszuschliessen.

Die untersuchte alternative Voralterungsmethode der Fugenmassen-Proben während drei Stunden unter Einwirkung von Temperatur und Luftzufuhr entspricht nicht dem Einbau. Die Polymere in den Fugenmassen haben sich dabei infolge Oxidation durch Luftzufuhr bereits stark abgebaut. Dadurch haben sich die Eigenschaften der vorgealterten Fugenmassen übermässig negativ verändert.

Die Eigenschaften der Fugenmassen nach der Voralterung nach Methode A gemäss EN 13880-6:2004 (sechs Stunden Aufschmelzen bei Sicherheitsüberhitzungstemperatur, ohne Luftzufuhr) und nach Methode D (gleich wie Methode A, jedoch nur drei Stunden) waren im Vergleich zu denjenigen des normalen Einbaus überwiegend ähnlich.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die an das Forschungsprojekt gestellten Ziele wurden erreicht. Es gelang zu überprüfen, ob die thermische Voralterung im Labor der FM-Proben gemäss Norm EN 13880-6:2004 der thermischen Beanspruchung beim Einbau in der Praxis entsprach. Verschiedene, beschleunigte Voralterungsmethoden zur Simulation der Alterung während des Einbauprozesses wurden evaluiert. Die Nachteile einer Alterungsmethode unter Einwirkung von Luft wurde untersucht und diskutiert. Eine Alterungsmethode konnte als Ersatz bzw. Ergänzung von EN 13880-6:2004 vorgeschlagen werden, da sie ähnliche Ergebnisse wie die EN 13880-6:2004 lieferte.

Zusätzliche Erkenntnisse wurden von der Arbeit gewonnen:

- Qualität der FM auf dem Markt
- Einfluss der Überhitzung der FM beim Einbau.

Es wurde ursprünglich geplant, das FM-Verhalten an zehn Objekten zu untersuchen. Allerdings konnten nur sieben Objekte während der Projektdurchführung gefunden werden. Die Ergebnisse der FM-Untersuchungen von diesen sieben Objekten lieferten aber klare Hinweise für die Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis.

Folgerungen und Empfehlungen:

Um die Qualität der heiss verarbeitbaren Fugenmassen auf dem Schweizer sowie EWR-Markt zu verbessern, empfehlen wir der Europäischen Normierungskommission, die Definition der „Systeme der Konformitätsbescheinigung“ für die Fugenmassen in der Norm EN 14188-1 neu zu definieren und festzulegen, dass das Erfüllen der Anforderungen sowie deren Qualitätssicherung durch eine notifizierte Stelle überprüft werden müssen.

Es wurde bestätigt, dass die damalige Entscheidung der europäischen Kommission für das Aufschmelzen der Fugenmassen gemäss EN 13880-6:2004 vor der Prüfkörperherstellung richtig und fachgerecht war. Um Zeit und Energie zu sparen, kann die Zeit des Proben-Aufschmelzens von 6 Stunden auf 3 Stunden reduziert werden.

Neben der Qualität der Fugenmassen ist das Vorgehen beim Einbau der Fugen für deren Lebensdauer von entscheidender Bedeutung. Die Eigenschaften der Fugenmassen können durch unsachgemässen Einbau wie z.B. Überhitzung oder zu lange Verweildauer im Kocher massiv negativ verändert werden. Entsprechende Empfehlungen für die Ausführung der Fugenabdichtung mit heiss verarbeitbaren Fugenmassen wurden in dieser Arbeit unterbreitet.

Publikationen:

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind bereits sowohl in die Bearbeitung der VSS-Normen als auch in die EU-Normierungsarbeiten eingeflossen.

Es ist mindestens eine Publikation in der Schweiz und/oder im Ausland geplant.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Hean

Vorname: Sivotha

Amt, Firma, Institut: Empa Dübendorf, Abt. 301, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die an die Forschungsarbeit gestellten Fragen wurden umfassend untersucht und deren Ziele erreicht.

Die Arbeit bestätigte, dass das Aufschmelzen der Fugenmassen gemäss EN 13880-6:2004 vor der Prüfkörperherstellung richtig und fachgerecht war. Eine Verschlechterung der Qualität aufgrund des Aufschmelzens gemäss EN 13880-6:2004 kann ausgeschlossen werden. Die BK erachtet eine Reduktion der Aufschmelzdauer von 6h auf 3h als sinnvoll, da damit gleiche Eigenschaft der Fugenmassen erreicht wird, sowie auch um Zeit und Energie zu sparen.

Die Arbeit zeigte, dass die Qualität der Fugenmassen auf dem Markt kritisch ist, und bestätigte die Erfahrungen im In- und Ausland. Massnahmen zur Verbesserung der Fugenmassen-Qualität sollen getroffen werden.

Die in dieser Arbeit unterbreiteten Empfehlungen für die Ausführung der Fugenabdichtung sind sinnvoll.

Die zeitlichen Verzögerungen des Projektabschlusses haben keinen Einfluss auf die Normierungsarbeit, die gewonnenen Erkenntnisse sind laufend in die nationale und internationale Normierungsarbeit eingeflossen.

Umsetzung:

Bei der nächsten Revision von EN 13880-6:2004 soll die Aufschmelzungsdauer von 6h auf 3h reduziert werden. Dies hilft nicht nur Zeit und Energie zu sparen, sondern auch den Arbeitsrhythmus in Laboratorien zu vereinfachen, da Prüfkörper nach der Herstellung bis zur Durchführung der Prüfungen nicht beliebig lang gelagert werden dürfen.

Der Grund für die teilweise mangelhafte Qualität der Fugenmassen auf dem Markt könnte an der wenig griffigen Regelung des "Systems der Konformitätsbescheinigung" gemäss Norm EN 14188-1:2004 liegen. Daher ist der CEN-Normierungskommission zu empfehlen, in der EN 14188-1 das System der Konformitätsbescheinigung (zurzeit 4) neu festzulegen, sodass die Qualität durch eine externe Stelle überprüft wird.

weitergehender Forschungsbedarf:

Einfluss auf Normenwerk:

Wurde bereits in den obigen Punkten erwähnt.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Bernhard

Vorname: Andreas

Amt, Firma, Institut: Tecnotest AG, 8803 Rüschlikon

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Bernhard
VSS FK3: *H.H.*

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 3 / 3

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 01.04.2015

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1507	FGU 2007/004	TBM Tunneling in Faulted and Folded Rocks	2015
1505	VSS 2006/509	Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken - Initialprojekt	2014
1503	VSS 2006/515_OBF	Research Package on Bridge Deck Waterproofing Systems: EP5-Mechanisms of Blister Formation	2014
1502	VSS 2010/502	Road – landside interaction : Applications	2014
1501	VSS 2011/705	Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen	2014
1500	ASTRA 2010/007	SURPRICE (Sustainable mobility through road user charging) - Swiss contribution: Equity effects of congestion charges and intra-individual variation in preferences	2015
1499	ASTRA 2011/010	Stauprognoseverfahren und -systeme	2014
1498	VSS 2011/914	Coordinated Ramp Metering Control with Variable Speed Limits for Swiss Freeways	2014
1497	VSS 2009/705	Verfahren zur Bildung von homogenen Abschnitten der Strassenverkehrsanlage für das Erhaltungsmanagement Fahrbahnen	2014
1496	VSS 2010/601	Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Raumnutzungsverhalten von Reptilien	2014
1495	VSS 2009/703	Zusammenhang Textur und Griffigkeit von Fahrbahnen und Einflüsse auf die Lärmemission	2014
1494	VSS 2010/704	Erhaltungsmanagement der Strassen - Erarbeiten der Grundlagen und Schadenkataloge zur systematischen Zustandserhebung und -bewertung von zusätzlichen Objekten der Strassen	2014
1493	VSS 2006/001	Neue Methoden zur Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln	2014
1492	SVI 2004/029	Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell	2014
1491	VSS 2007/704	Gesamtbewertung von Kunstbauten	2014
1490	FGU 2004/002	Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)	2014
1489	VSS 2006/516_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen	2014
1488	SVI 2007/020	Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen	2014
1487	SVI 2008/001	Erfahrungsbericht Forschungsbündel	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1486	SVI 2004/005	Partizipation in Verkehrsprojekten	2014
1485	VSS 2007/401	Anforderungen an Anschlussfugensysteme in Asphaltdecken - Teil 1: Praxiserfahrung	2014
1484	FGU 2010/003	Misestimating time of collision in the tunnel entrance due to a disturbed adaptation	2014
1483	VSS 2005/452	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt	2014
1482	ASTRA 2010/018	SURPRICE: Sustainable mobility through road user charges Swiss contribution: Comprehensive road user charging (RUC)	2015
1481	VSS 2001/702	Application des méthodes de représentation aux données routières	2014
1480	ASTRA 2008/004	Prozess- und wirkungsorientiertes Management im betrieblichen Strassenunterhalt Modell eines siedlungsübergreifenden Unterhalts	2014
1479	ASTRA 2005/004	Entscheidungsgrundlagen & Empfehlungen für ein nachhaltiges Baustoffmanagement	2014
1478	VSS 2005/455	Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes - EP4: Evaluation of Durability	2014
1477	VSS 2008/503	Feldversuch mit verschiedenen Pflasterungen und Plattendecken	2014
1476	VSS 2011/202	Projet initial pour la conception multi-usagers des carrefours	2014
1475	VSS 1999/125	Ringversuch "Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt"	2014
1474	VSS 2009/704	Wechselwirkung zwischen Aufgrabungen, Zustand und Alterungsverhalten im kommunalen Strassennetz-Entwicklung eines nachhaltigen Aufgrabungsmanagement	2014
1473	VSS 2011/401	Forschungspaket "POLIGRIP - Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffbarkeit von Deckschichten - Initialprojekt"	2014
1472	SVI 2010/003	Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten	2014
1471	ASTRA 2008/011	Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr Forschungspaket UVEK/ASTRA - Synthese	2014
1470	VSS 2011/907	Initialprojekt für ein Forschungspaket "Kooperative Systeme für Fahrzeug und Strasse"	2014
1469	VSS 2008/902	Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrsstelematik-Anwendungen	2014
1468	VSS 2010/503	Utilisation des géostructures énergétiques pour la régulation thermique et l'optimisation énergétique des infrastructures routières et ouvrages d'art	2014
1467	ASTRA 2010/021	Sekundärer Feinstaub vom Verkehr	2014
1466	VSS 2010/701	Grundlagen zur Revision der Normen über die visuelle Erhebung des Oberflächenzustands	2014
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgesetz für die Verdichtungskontrolle von Fundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung	2013
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierrungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdruckverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkierungsanlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernomen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
665	AGB 2011/001	Wirksamkeit und Prüfung der Nachbehandlungsmethoden von Beton	2014
664	AGB 2009/005	Charges de trafic actualisées pour les dalles de roulement en béton des ponts existants	2014
663	AGB 2003/014	Seismic Safety of Existing Bridges	2014
662	AGB 2008/001	Seismic Safety of Existing Bridges - Cyclic Inelastic Behaviour of Bridge Piers	2014
661	AGB 2010/002	Fatigue limit state of shear studs in steel-concrete composite road bridges	2014
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des pontsdalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008

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