

## Bestimmung von Kenndaten zur sicheren Charakterisierung von Fugenvergussmassen

FA 8.228

Forschungsstellen: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baustofftechnik (Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher)

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)

Bearbeiter: Breitenbücher, R. / Buckenhüskes, F. / Radenberg, M. / Twer, D.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Juni 2018

### 1 Zielsetzung

Fugenfüllsysteme in Betonstraßen sind während der Nutzung einer Vielzahl von Beanspruchungen ausgesetzt, aus denen sich erhöhte Anforderungen an die Dauerhaftigkeit des Gesamtsystems "Fuge" ableiten. Neben jahreszeitlich schwankenden klimatischen Einflüssen spielen zyklische Beanspruchungen aus dem überrollenden Verkehr sowie die Alterung der Fugenmassen eine maßgebliche Rolle. Die in den letzten Jahren sowohl an Bestands- als auch an Neubaustrecken vermehrt aufgetretenen Schäden an Fugenabdichtungen machten einschlägige Studien zur Ursachenfindung sowie die Hinterfragung der aktuellen Regelwerke erforderlich.

Vor diesem Hintergrund wurde in diesem Forschungsprojekt ein praxisorientiertes Prüfverfahren entwickelt, mit dem zum einen anhand von "Systemprüfkörpern" das Verhalten am Gesamtsystem "Fuge", bestehend aus Betonfugenflanken, Voranstrichmittel (Primer) und Fugenmasse, erfasst werden kann und zum anderen die maßgebenden Szenarien der In-situ-Beanspruchungen realistisch abgebildet werden können.

### 2 Untersuchungsmethodik

In der ersten Stufe des Forschungsvorhabens erfolgte neben einer umfassenden Literaturrecherche bereits die Ermittlung rheologischer Kenngrößen sowie weiterer physikalischer Stoffeigenschaften von insgesamt sechs heiß und zwei kalt verarbeitbaren Fugenmassen. Weiterhin wurden gezielte Laboruntersuchungen zum Alterungsverhalten sowie möglicher Scha-

densmechanismen am gesamten Fugensystem durchgeführt. An drei repräsentativen Streckenabschnitten von Bundesautobahnen wurden neben einer detaillierten Erfassung des Fugenzustands Bohrkern- und Ausbauproben für weitergehende Laboruntersuchungen entnommen.

In der darauffolgenden zweiten Stufe wurden die in den vorherigen Parameterstudien erzielten Ergebnisse verknüpft, um ein adäquates kombiniertes Prüfverfahren entwickeln zu können. An Systemprüfkörpern (Bild 1), die sowohl im Labor hergestellt als auch aus Bohrkernen aus Betonfahrbahndecken gewonnen werden können, wurden zum einen statische Zug-/Scherversuche, zum anderen zyklische Druck-/Zug-/Scherversuche durchgeführt, wobei die im Labor hergestellten Proben teilweise auch einer künstlichen Alterung unterzogen wurden.

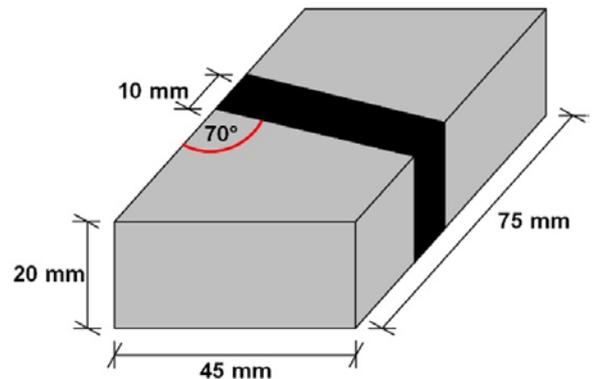


Bild 1: Systemprüfkörper für statische Zug-/Scherversuche und zyklische Druck-/Zug-/Scherversuche

Hierzu wurde für die Systemprüfkörper ein Alterungsszenario unter Einbeziehung von UV, Temperatur und Druck (PAV-Konditionierung) entwickelt, womit die maßgebenden Beanspruchungen möglichst realitätsnah abgebildet werden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht über die Randbedingungen und die Reihenfolge der künstlichen Laboralterung

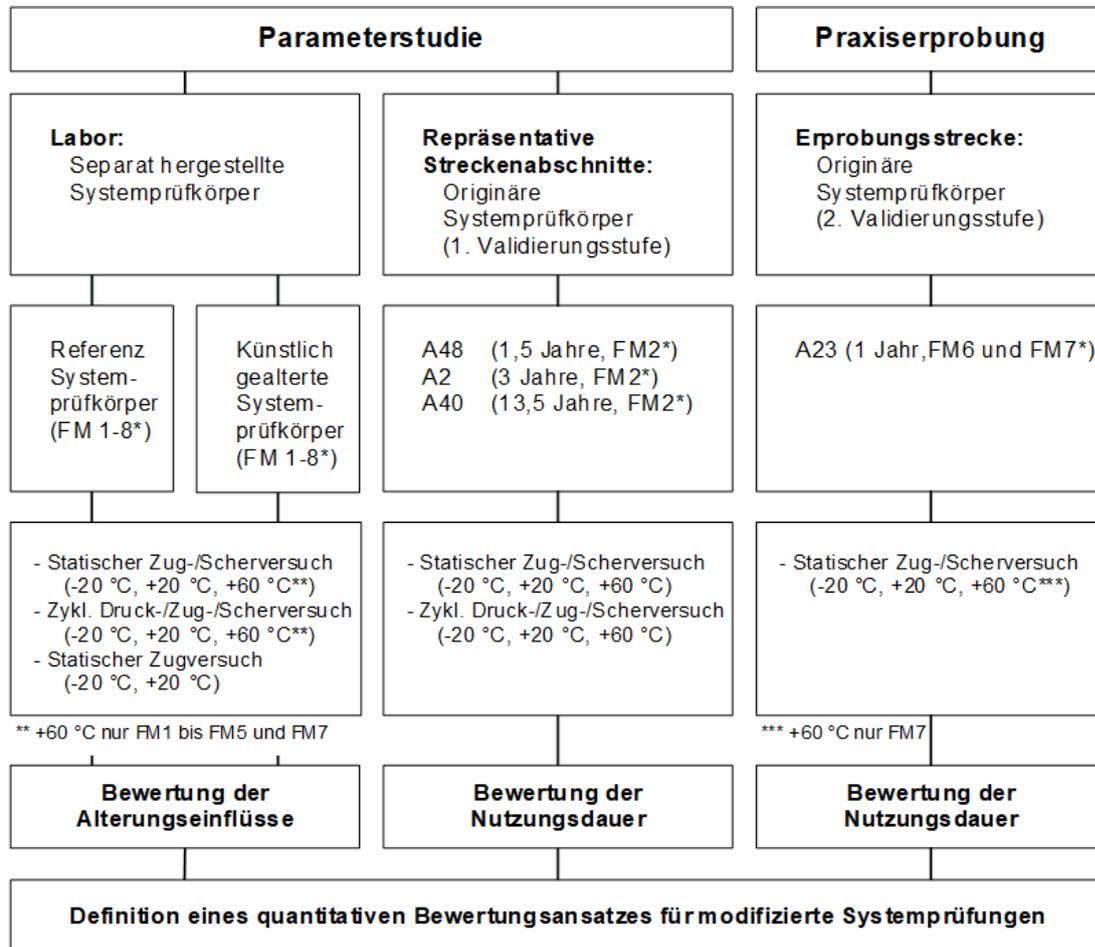
künstliche Laboralterung (V1) der Fugenmassen	
Randbedingungen und Reihenfolge	1) Druck- und Temperaturbeanspruchung (65 h; 85 °C; 2,1 MPa) 2) UV-Bestrahlung (11 Tage) 3) Frost-Tauwechsel (14 Tage)

Zur Validierung dieses Laborprüfverfahrens wurden in einer dritten Stufe des Forschungsvorhabens Erkenntnisse aus einer Fugeninstandsetzung insitu herangezogen. Dabei wurden in vier Testfeldern auf einer Bundesautobahn Varianten in den Fugenmassen und der Vorbehandlung der freigelegten Fugen

realisiert. Das Verhalten der erneuerten Fugen wurde über 21 Monate hinweg beobachtet, gleichzeitig wurden Bohrkern- und Ausbauproben entnommen, aus denen Systemprobekörper gewonnen und entsprechend dem entwickelten Prüfverfahren untersucht wurden. Unter Einbeziehung dieser Systemprüfungen sowohl an

Laborproben als auch an In-situ-Proben wurde ein erster Bewertungsansatz mit entsprechender Klassifizierung entwickelt, mit dem Fugenmassen sowohl im originären Referenzzustand

als auch nach künstlicher Alterung bewertet werden können. Das gesamte Untersuchungsprogramm ist in Bild 2 zusammengefasst.



\*verwendete Fugenmassen, vergleiche Bericht Abschnitt 3.2.1

**Bild 2: Ablaufschema des Untersuchungsprogramms**

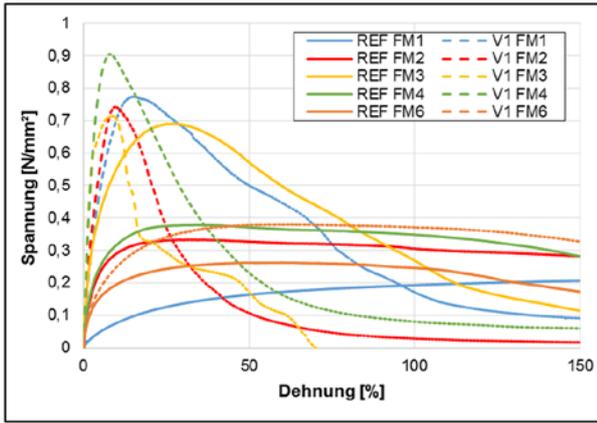
### 3 Untersuchungsergebnisse

Für die schwerpunktmäßig durchgeführten statischen und zyklischen Druck-/Zug-/Scherversuche erwies sich bei den heiß verarbeitbaren Fugenmassen eine Prüftemperatur von -20 °C am aussagekräftigsten, da bei diesen infolge des thermoplastischen Materialverhaltens die Steifigkeit und somit auch die Beanspruchung mit sinkender Temperatur zunehmen.

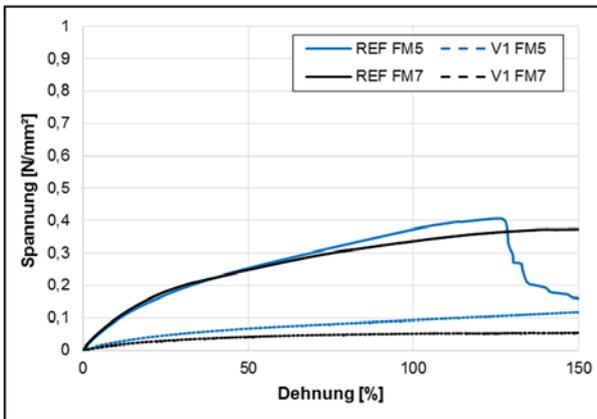
Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse im Referenz- und im künstlich gealterten Zustand (REF, V1) ergab, dass die heiß verarbeitbaren Fugenmassen, mit Ausnahme der modifizierten Fugenmasse FM6 vom Typ N2+, nach der künstlichen Alterung bei deutlich reduziertem Dehnvermögen erheblich höhere Maximalspannungen aufbauen (Bild 3). Für die kalt verarbeitbaren Fugenmassen FM5 und FM7 erwies sich die künstliche Alterung respektive die darin enthaltene Druck- und Temperaturbeanspruchung (PAV-Konditionierung), die primär für bitumenhaltige Bindemittel ausgelegt ist, als weniger zweckmäßiges Verfahren. Dies äußerte sich durch erheblich niedrigere Spannungen in den gealterten Proben gegenüber den nicht-gealterten Referenzproben (Bild 4).

Als Ursache wird hier die Aufspaltung der chemisch vernetzten Polymere in kürzere Polymere oder Monomere infolge der Druck- und Temperaturbeaufschlagung vermutet. Das versteifende Verhalten der heiß verarbeitbaren Fugenmassen infolge beschleunigter Alterung unter Druck- und Temperaturbeanspruchung (PAV-Konditionierung) wurde zudem für die Fugenmassen FM1 bis FM4 durch entsprechende Veränderungen der im Dynamischen Scherrheometer ermittelten Phasenwinkel und komplexen Schermoduln belegt (vergleiche Bild 5 und 6). Das Alterungsverhalten war demnach unter anderem massiv durch die Veränderung der Polymerstrukturen geprägt.

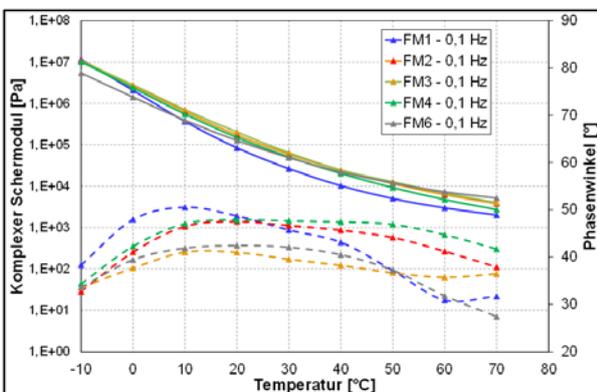
Bei der Fugenmasse FM1 vom Typ N1 führten zyklische Beanspruchungen nach der künstlichen Alterung beim Druck-/Zug-/Scherversuch zwar zu keiner Erhöhung der Maximalspannung, jedoch zu einer weiteren Reduzierung des Dehnvermögens. Hingegen wurde die modifizierte heiß verarbeitbare Fugenmasse FM6 (Typ N2+) durch die künstliche Alterung am wenigsten beeinflusst, was sich auch bei der zyklischen Beanspruchung zeigte.



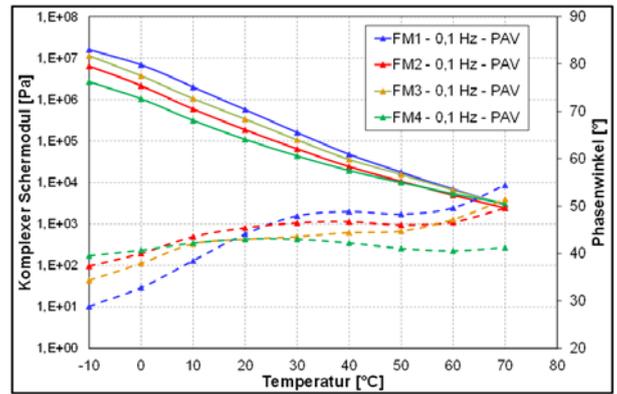
**Bild 3:** Spannungsentwicklung der heiß verarbeitbaren Fugenmassen FM1 (Typ N1), FM2-4 (Typ N2) und FM6 (Typ N2+) als REF und V1 im stat. Zug-/Scherversuch bei -20 °C



**Bild 4:** Spannungsentwicklung der kalt verarbeitbaren Fugenmasse FM5 (Klasse 25) und FM7 (Klasse 35) als REF und V1 im stat. Zug-/Scherversuch bei -20 °C



**Bild 5:** Komplexer Schermodul und Phasenwinkel bei 0,1 Hz



**Bild 6:** Rheologische Kenngrößen nach der PAV-Konditionierung (0,1 Hz)

Zur Validierung der entwickelten Laborprüfverfahren wurden in der dritten Stufe des Forschungsvorhabens vier verschiedene Testfelder auf einer Bundesautobahn einbezogen. Diese vier Varianten unterschieden sich zum einen in der Art der Vorbehandlung der Fugenflanken – Ausbürsten der Fugen beziehungsweise Nachschneiden und Ausbürsten der Fugenflanken – und zum anderen in den verwendeten Fugenmassen (eine heiß verarbeitbare Fugenmasse (FM6) und eine kalt verarbeitbare Fugenmasse (FM7)). Neben der Begleitung der Instandsetzung wurde in jedem Testfeld ein Validierungsabschnitt mit einer Länge von jeweils 300 beziehungsweise 500 m über 21 Monate intensiv beobachtet. In diesen Validierungsabschnitten wurden an jeweils zehn Fugen Messmarken zur Erfassung der Änderung in den Fugenspaltbreiten sowie in jedem Testfeld ein Thermoelement installiert. Zwischen den jeweils gemessenen Temperaturen und den zugehörigen Fugenbreiten (Querscheinfugen) konnte eine mehr oder weniger lineare Korrelation festgestellt werden (Bild 7).

Gleichzeitig wurde bei den Vor-Ort-Untersuchungen die Dichtigkeit der Fugenfüllsysteme mit einer Vakuum-Saugglocke überprüft und anhand semi-quantitativer Kriterien bewertet. Dabei konnten innerhalb des Beobachtungszeitraums von 21 Monaten keine Veränderungen der Dichtheit festgestellt werden. Die nach 12 Monaten entnommenen Ausbauproben zeigten bei der heiß verarbeitbaren Fugenmasse FM6 (Typ N2+) lediglich einen leicht erhöhten komplexen Schermodul. Eine signifikante Veränderung des viskoelastischen Materialverhaltens, definiert durch eine Veränderung des Phasenwinkels, konnte nicht festgestellt werden. Dies konnte auch in den Systemprüfungen an originären Proben aus der Strecke bestätigt werden, da diese bei -20 °C sogar ein größeres Dehnvermögen als die nicht gealterten Referenzproben aufwiesen. Bei den ausgebauten Systemproben mit der kalt verarbeitbaren Fugenmasse FM7 konnte nebenbei ein positiver Einfluss des zusätzlichen Nachschneidens der Fugenflanken (und anschließendem Ausbürsten) bei der Instandsetzung auf das Adhäsionsverhalten zwischen Fugenmasse und Fugenflanke festgestellt werden.

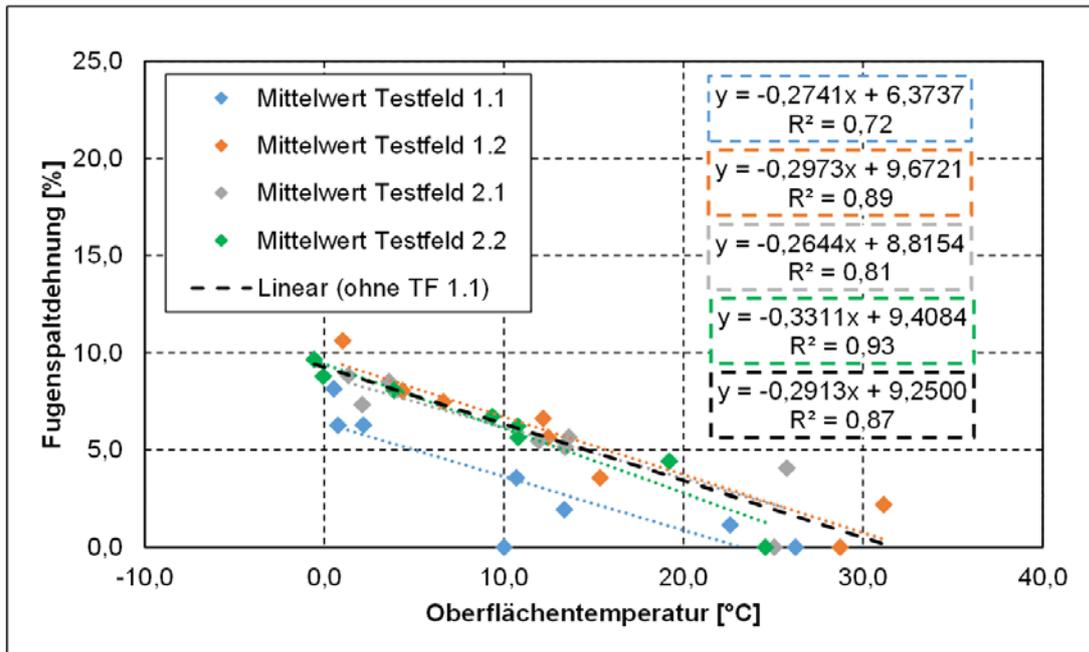


Bild 7: Lineare Abhängigkeit zwischen der Oberflächentemperatur und der Änderung der Fugenspaltbreite in %

Unter Einbeziehung der Systemprüfungen an Labor- und In-situ-Proben (Bild 8) wurde ein erster Bewertungsansatz entwickelt, mit dem anhand wissenschaftlich orientierter Kenn- und Grenzwerte Fugenmassen im originären Referenzzustand ebenso wie im künstlich gealterten Zustand bewertet werden können. Als charakteristischer Kennwert wurde die Dehnung bei 80 % der Maximalspannung im abfallenden Belastungsast ( $\epsilon_{80,kA}$ ,  $\epsilon_{80,Ref}$ ) bestimmt. Des Weiteren wurden Ergebnisse von Systemprüfungen an der heiß verarbeitbaren Fugenmasse FM2 aus repräsentativen Streckenabschnitten von zwei Bundesautobahnen mit einer bereits erfahrenen Nutzung von 1,5 beziehungsweise 3 Jahren einbezogen. Wie aus Bild 9 zu entnehmen ist, konnte mit zunehmendem Alter der Fugenmassen eine stetige Abnahme der charakteristischen Dehnung ( $\epsilon_{80}$ ) festgestellt werden. Unter Annahme einer exponentiell verlaufenden Alterung von heiß verarbeitbaren Fugenmassen konnte für die künstliche Laboralterung (V1) ein simulierter Nutzungszeitraum von etwa 6 Jahren mit einem Bestimmtheitsmaß  $R = 0,9976$  ermittelt werden.

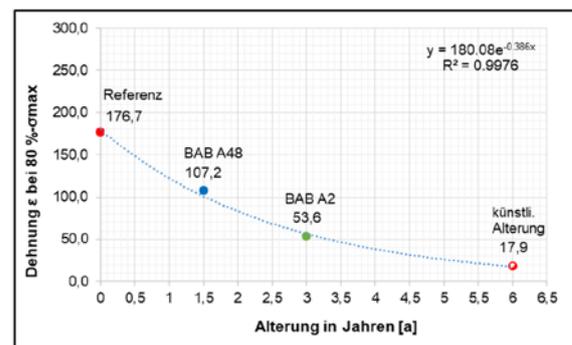


Bild 9: Ermittlung der simulierten Nutzungsdauer durch die künstliche Laboralterung der heiß verarbeitbaren Fugenmasse des Typs N2 im statischen Zug-/Scherversuch bei -20 °C

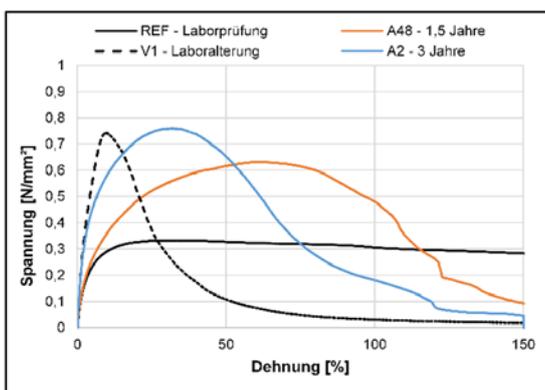


Bild 8: Stat. Zug-/Scherversuch an Systemprüfkörpern aus Bohrkernen von zwei Bundesautobahnen und den Laborprüfkörpern REF und V1 (FM2) bei -20°C

Resümierend lässt sich festhalten, dass mit dem in diesem Forschungsprojekt entwickelten Prüfverfahren heiß verarbeitbare Fugenmassen unter Einbeziehung einer künstlichen Laboralterung ganzheitlich charakterisiert und bewertet werden können.