

**Allgemeine Zusammenfassung
zum Forschungsprojekt**

ZP 52-5-19.53.1-1347/10

**„Untersuchung zur Eignung und Praxiskorrelation sowie zur europäischen
Standardisierung der Prüfung der Witterungsbeständigkeit an Fugendichtstoffen für
LAU-Anlagen“**

bearbeitet von

Dipl.-Ing. (FH) Leopold Glück

Sachverständigenbüro
Enheim 45
97340 Martinsheim

mit Unterstützung durch

**Dipl.-Ing. (FH) Martin Müller
Dipl.-Ing. Christoph Schrader**

SKZ - TeConA GmbH,
Friedrich-Bergius-Ring 22, 97076 Würzburg

gefördert durch
Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)

Enheim, 31. Mai 2012

Einleitung, Zielsetzung

Fugendichtstoffe werden in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen bestimmter wassergefährdender Stoffe sowohl im Innern von Gebäuden als auch im Freien eingesetzt. Die Fugendichtstoffe werden in Bewegungsfugen eingebracht, die die zwängungsfreie Verformung von Bauteilen z.B. durch Schwinden, temperaturbedingte Längenänderungen oder unterschiedlicher Baugrundverformungen ermöglichen und dabei hinsichtlich ihrer Dichtfunktion keinen Schaden nehmen dürfen.

Die Fugendichtstoffe müssen ihre Funktion nicht nur kurzzeitig, sondern über einen längeren Zeitraum erfüllen. Im Rahmen der europäischen Vereinheitlichung von Prüfungen von Fugendichtstoffen fehlt bisher ein allgemein anerkanntes Prüfungs- und Bewertungskonzept für den Nachweis des Langzeitverhaltens hinsichtlich der Witterungsbeständigkeit. In den Zulassungsgrundsätzen des DIBt für Fugendichtstoffe sowie in der europäischen Norm DIN EN 14188-2 ist die Witterungsbeständigkeit durch künstliche Bewitterung nach DIN EN ISO 11431 zu prüfen. Die hier geforderte Beanspruchungsdauer von 500 h lässt nur eine grobe Abschätzung des Verhaltens bei Praxisbeanspruchungen zu. Voruntersuchungen des SKZ bestätigten diese Aussage und ließen eine deutliche zeitliche Abhängigkeit der relevanten Verformungseigenschaften verbunden mit einer erheblichen Veränderung der Oberfläche der Dichtstoffe (Rissbildung) erkennen. Die Versuche wurden bis zu einer Gesamtbestrahlung von 8 GJ/m² im Wellenlängenbereich von 290 nm bis 800 nm durchgeführt, was in etwa 5 Jahre Freibewitterung in Mitteleuropa entspricht.

Ziel dieses Vorhabens war es, Prüfbedingungen und Prüfkriterien zu erarbeiten, die eine zuverlässige Langzeitaussage ermöglichen. Diese Kriterien werden im Hinblick auf die Erteilung nationaler und europäischer technischer Zulassungen (CUAP-Verfahren) von Fugendichtstoffen, die von einer Mindestnutzungsdauer von 10 Jahren ausgehen, dringend benötigt.

Der Stand der Technik wurde 1999 in einem Bericht des Technischen Komitees 139-DBS der RILEM, herausgegeben von A. T. Wolf, dargestellt und 2004 fortgeschrieben.

Wolf kommt in seinem Rückblick über den Stand der Wissenschaft im Hinblick auf die Korrelation von natürlicher und künstlicher Bewitterung zu folgenden allgemeinen Schlussfolgerungen:

- Jeder Dichtstoff zeigt eine rezepturspezifische Antwort auf die beschleunigte künstliche Alterung und auf die Freibewitterung. Es ist weder möglich eine klimatische Rangordnung oder einen Korrelationsfaktor für alle Dichtstoffe noch für eine Materialklasse festzulegen.
- Viele in der Freibewitterung auftretende Abbauverläufe werden durch beschleunigte Bewitterungsverfahren korrekt wiedergegeben. Jedoch hat bisher keines der veröffentlichten Verfahren eine hohe Korrelation mit Langzeitfreibewitterungsergebnissen ergeben. Die Ergebnisse aus künstlichen Alterungstests sollten deshalb mit Vorsicht behandelt werden und man sollte sich vor Vereinfachungen wie „1500 Stunden künstliche Bewitterung entsprechen einem Jahr Freibewitterung in Florida“ hüten.
- Die Beanspruchungsbedingungen in den existierenden Spezifikationen und Regelwerken sind unzureichend. Um das Verhalten unter Praxisbedingungen über mehrere (2 bis 5?) Jahre grob abschätzen zu können, wären in der beschleunigten Alterung 5.000 Stunden bei statischer und 1.000 bis 2.000 Stunden bei dynamischer Beanspruchung erforderlich.

Versuchsmaterialien

Die Untersuchungen wurden an Fugendichtstoffen mit allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und/oder Europäischen Technischen Zulassungen, erteilt vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), zur Verwendung in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe (LAU-Anlagen) durchgeführt:

Materialbezeichnung	Beschreibung
FDS 1	Zweikomponenten-Fugendichtstoff auf Polysulfidbasis, grau, gießfähig und selbstnivellierend
FDS 2	Zweikomponenten-Fugendichtstoff auf Polysulfidbasis, grau, gießfähig und selbstnivellierend
FDS 3	Zweikomponenten-Fugendichtstoff auf Polysulfidbasis, schwarz, gießfähig und selbstnivellierend
FDS 6	Einkomponenten-Fugendichtstoff auf Polyurethanbasis (PU), betongrau, standfest

Versuchsprogramm

Die Betonprobekörper wurden gemäß ISO 13460 hergestellt. Für jede Prüfserie und Lagerungszeit in der künstlichen Bewitterung, der Freibewitterung und der Vergleichslagerung im Normalklima wurden jeweils 3 Betonprobekörper hergestellt.

Neben den Betonprobekörpern wurden aus den Fugendichtstoffen Folien mit einer Dicke von ca. 4 mm hergestellt. An den Folien lassen sich die Alterungseinflüsse auf das Verformungsverhalten im Zugversuch (Spannungs-/Dehnungsdiagramm) materialspezifisch ohne Einfluss der Kontaktproblematik untersuchen.

Nach der Herstellung der Probekörper erfolgte eine Vorlagerung im Normalklima 23/50-2 nach DIN EN ISO 291 für 4 Wochen zum Aushärten des Fugendichtstoffes.

Je Prüfserie wurde ein Satz Probekörper für die Vergleichsprüfung von unbelasteten Probekörpern im Normalklima und im Dunkeln gelagert:

Art der Lagerung	Lagerungsbedingung	Dauer der Lagerung
Vergleichslagerung	Lagerung im Dunkeln im Normalklima 23/50-2 nach DIN EN ISO 291 Betonprobekörper - ungedehnt, - gedehnt (12,5 %) - gestaucht (12,5 %) Dichtstoff-Folien - ungedehnt	1 Jahr 2 Jahre 4 Jahre
Künstliche Bewitterung Bewitterungsgerät nach DIN EN ISO 4892-2, Xenonstrahlung, Zyklus 102/18 STT (60 ± 3) °C Bestrahlungsstärke E _{UV (300-400 nm)} (60 ± 2) W/m ²	Betonprobekörper - ungedehnt - gedehnt (12,5 %) - gestaucht (12,5 %) Dichtstoff-Folien - ungedehnt	2.000 MJ/m ² 4.000 MJ/m ² 8.000 MJ/m ² im Wellenlängenbereich von (300 - 800) nm
Natürliche Bewitterung in Würzburg, Friedrich-Berg- ius-Ring 22	Betonprobekörper - ungedehnt - gedehnt (12,5 %) - gestaucht (12,5 %) Dichtstoff-Folien - ungedehnt	1 Jahr 2 Jahre 4 Jahre Beginn der Lagerung am 24. August 2006

Die künstliche Bewitterung der vorbereiteten Betonprobekörper und der Folien wurde in einem Bewitterungsgerät gemäß DIN EN ISO 4892-2 mit Xenonstrahlern vorgenommen.

Xenonstrahler werden in der künstlichen Bewitterung in Deutschland seit 1954 verwendet. Der Vorteil der Xenonstrahler liegt darin, dass in Verbindung mit einem Filtersystem ein Lichtspektrum abgestrahlt wird, das dem Sonnenlicht sehr ähnlich ist. Es wird somit die Globalstrahlung im ultravioletten (UV), im sichtbaren und bis in den infraroten Wellenlängenbereich des Spektrums simuliert. Gegenüber UV-Lampen ist mit Xenonbogen-Strahlern die Anpassung des vollen Spektrums (UV und sichtbar) an das natürliche Sonnenlicht wesentlich besser gegeben.

Die natürliche Bewitterung erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 105-B01. Abweichend von der Norm wurden die Probekörper flachliegend und ohne Glasabdeckung bewittert. Die Betonprobekörper wurden ca. bis zur halben Probekörperdicke in ein Sandbett eingedrückt. Ziel der Lagerung in einem Sandbett ist es, die klimatischen Bedingungen einer Bodenfuge annähernd nachzustellen.

Die natürliche Bewitterung der Probekörper wurde am 24. August 2006 gestartet.

Die horizontal auftreffende Globalstrahlung für die ein- und zweijährige Freibewitterung in Würzburg wurde vom Deutschen Wetterdienst wie folgt ermittelt:

Zeitraum	Globalstrahlung [MJ/m ²]
24. August 2006 bis 23. August 2007	4.198
24. August 2007 bis 23. August 2008	3.514
24. August 2008 bis 23. August 2010	7.895

Laborprüfungen

Visuelle und mikroskopische Beurteilung

Die Oberflächen der bewitterten Probekörper wurden visuell und mikroskopisch im Hinblick auf Oberflächenveränderungen wie Rissbildung, Verfärbung, Ablösungen oder dergl. untersucht. An den um 100 % gedehnten Betonprobekörpern (siehe Abs. 3.3.2) wurde die Oberfläche ebenfalls nach den vorgenannten Kriterien visuell begutachtet.

Haft- und Dehnverhalten

An den bewitterten und unbewitterten Betonprüfkörpern wurde das Haft- und Dehnverhalten gemäß DIN EN ISO 8340 und DIN EN ISO 8339 geprüft. Die Prüfkörper wurden mit einer Universalprüfmaschine (Fa. Zwick, Typ 1465) mit der Genauigkeitsklasse "Grade A" nach ISO 5893 um 100 % der Nennfugenbreite gedehnt. Aus den Kraft-/Verformungskurven wurde der Sekantenmodul bei einer Dehnung von 50 % sowie von 100 % ermittelt. Die Prüfung wurde im Normalklima durchgeführt.

Nach der Dehnung um 100 % wurde mittels Abstandhalter die Dehnung für 24 Stunden aufrechterhalten und die Prüfkörper anschließend visuell begutachtet.

Zugversuch an den Dichtstoff-Folien

Die aus den Dichtstoff-Folien ausgestanzten Schulterstäbe wurden ebenfalls mit einer Universalprüfmaschine (Fa. Zwick, Typ 1445) mit der Genauigkeitsklasse "Grade A" nach ISO 5893 bis zum Bruch gedehnt. Die Prüfung wurde im Normalklima durchgeführt, die Prüfungsgeschwindigkeit betrug 200 mm/min. Aus den Spannungsdehnungskurven wurden die Zugfestigkeit und die Reißdehnung ermittelt.

Shore A-Härte an den Dichtstoff-Folien

An den Dichtstoff-Folien wurde die Shore A-Härte gemäß DIN 53505 bestimmt. Die Prüfung wurde im Normalklima durchgeführt, die Härte wurde 3 Sekunden nach dem Aufsetzen abgelesen.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Laborprüfungen

Nach den durchgeführten künstlichen Bewitterungsversuchen bis zu einer Gesamtbestrahlung von 4.000 Stunden sowie der bis zu 4-jährigen Freibewitterung sind für die einzelnen Fugendichtstoffe insbesondere folgende Feststellungen zu treffen:

FDS 1

(Zweikomponenten-Fugendichtstoff auf Polysulfidbasis, grau, gießfähig und selbstnivellierend):

- bei der Prüfung der Hafteigenschaften unter Vorspannung (24 Stunden bei 100 % Dehnung) treten an den gestauchten Probekörpern vermehrt Kohäsionsbrüche nach der künstlichen Bewitterung und nach der Freibewitterung auf, an den ungedehnten ist nur ein Kohäsionsbruch nach einjähriger Freibewitterung, an den gedehnten Varianten ist kein Bruch festzustellen. Nach vierjähriger Freibewitterung wurden punktförmige Ablagerungen/Ausblühungen, jedoch keine Kohäsions- oder Adhäsionsfehler an den gestauchten und ungedehnten Probekörpern beobachtet, an den gedehnten Probekörpern traten kleine Adhäsionsrisse auf.
- an den Dichtstoff-Folien ist im Spannungs-Dehnungsverhalten kein signifikanter Einfluss der Beanspruchung, weder in der künstlichen Bewitterung noch in der Freibewitterung zu erkennen
- an den Betonprobekörpern ist ebenfalls sowohl im Spannungsverlauf als auch bei der mittleren Zugspannung bei 100 % Dehnung kein signifikanter Einfluss der Beanspruchung, weder in der künstlichen Bewitterung noch in der Freibewitterung zu erkennen
- auch die Shore A-Härte zeigt an, dass sich der Fugendichtstoff nach Aushärtung unabhängig von der Lagerung und Beanspruchung in der Steifigkeit nicht mehr verändert hat

FDS 2

(Zweikomponenten-Fugendichtstoff auf Polysulfidbasis, grau, gießfähig und selbstnivellierend):

- bei der Prüfung der Hafteigenschaften unter Vorspannung (24 Stunden bei 100 % Dehnung) treten an den gestauchten Probekörpern vermehrt Kohäsionsbrüche nach der künstlichen Bewitterung und nach der Freibewitterung auf, an den ungedehnten und gedehnten Probekörpern sind vermehrt Kohäsionsbrüche nach Freibewitterung festzustellen. Nach vierjähriger Freibewitterung wurden punktförmige Ablagerungen/Ausblühungen sowie eine leichte oberflächige Rissbildung, jedoch keine Kohäsions- oder Adhäsionsfehler beobachtet.
- an den Dichtstoff-Folien ist im Spannungs-Dehnungsverhalten ein kontinuierlicher Abfall der Zugfestigkeit verbunden mit einem Anstieg der Reißdehnung in der künstlichen Bewitterung und in der Freibewitterung zu erkennen
- an den Betonprobekörpern ist ein erheblicher Spannungsabfall der mittleren Zugspannung bei 100 % Dehnung nach künstlicher Bewitterung festzustellen, der in der Freibewitterung wesentlich geringer ausgeprägt ist
- auch die Shore A-Messungen zeigen an, dass der Fugendichtstoff nach Aushärtung zeitabhängig im Normalklima kontinuierlich, bei künstlicher Bewitterung und nach Freibewitterung (parallel verlaufend) deutlich „weicher“ wird

FDS 3

(Zweikomponenten-Fugendichtstoff auf Polysulfidbasis, schwarz, gießfähig und selbstnivellierend):

- bei der Prüfung der Hafteigenschaften unter Vorspannung (24 Stunden bei 100 % Dehnung) treten an den gestauchten Probekörpern vermehrt Kohäsionsbrüche nach der künstlichen Bewitterung und nach der Freibewitterung, an den ungedehnten nur nach der Freibewitterung und an den gedehnten Probekörpern vereinzelt nach der Freibewitterung auf. Nach vierjähriger Freibewitterung wurden nur an den gedehnten Probekörpern vereinzelte Risse beobachtet. Bei der Prüfung der Hafteigenschaften unter Vorspannung zeigten alle Probekörper eine gleichmäßige Rissstruktur in der Oberfläche (Elefantenhaut).
- an den Dichtstoff-Folien ist im Spannungs-Dehnungsverhalten ein kontinuierlicher Abfall der Zugfestigkeit zu erkennen, die Reißdehnung ändert sich nicht signifikant
- an den Betonprobekörpern ist ein erheblicher Spannungsabfall der mittleren Zugspannung bei 100 % Dehnung nach künstlicher Bewitterung festzustellen, der in der Freibewitterung deutlich geringer ausgeprägt ist
- auch die Shore A-Messungen zeigen an, dass der Fugendichtstoff nach Aushärtung zeitabhängig im Normalklima kontinuierlich, bei künstlicher Bewitterung und insbesondere auch nach Freibewitterung deutlich „weicher“ wird

FDS 6

(Einkomponenten-Fugendichtstoff auf Polyurethanbasis (PU), betongrau, standfest):

- bei der Prüfung der Hafteigenschaften unter Vorspannung (24 Stunden bei 100 % Dehnung) treten weder an den gestauchten noch an den ungedehnten oder gedehnten Probekörpern Adhäsions- oder Kohäsionsbrüche auf, weder nach der künstlichen Bewitterung noch nach der Freibewitterung. Nach vierjähriger Freibewitterung sind eine leichte oberflächige Rissstruktur sowie ein leichter Adhäsionsverlust an den gedehnten Probekörpern zu beobachten.
- an den Dichtstoff-Folien ist im Spannungs-Dehnungsverhalten nach künstlicher Bewitterung ein deutlicher Abfall der Zugfestigkeit und der Reißdehnung zu erkennen, während nach Freibewitterung die Zugfestigkeit geringer abfällt und die Reißdehnung sich nicht signifikant ändert
- an den Betonprobekörpern ist ein leichter Anstieg der mittleren Zugspannung bei 100 % Dehnung nach künstlicher Bewitterung festzustellen, in der Freibewitterung zeigt sich keine signifikante Veränderung
- die Shore A-Messungen zeigen an, dass sich der Fugendichtstoff nach Aushärtung zeitabhängig im Normalklima und in der Freibewitterung nicht verändert, während er in der künstlichen Bewitterung geringfügig „steifer“ wird. Für den Abfall der Shore A-Härte nach zweijähriger Freibewitterung gibt es keine versuchs- oder werkstofftechnische Erklärung, es muss sich um einen „Ausreißer“ handeln.

Diskussion und Ausblick

Fugendichtstoffe müssen bei Verwendung im Freien ausreichend widerstandsfähig gegen Witterungseinflüsse sein. Diese Anforderung gilt nach den „ZG Fugenabdichtungssysteme in LAU-Anlagen, Teil 1 – Fugendichtstoffe“ als erfüllt, wenn nach Belastung durch künstliche Bewitterung (500 h) die Änderung des Zugspannungswerts nicht größer als 20 % ist. Die Prüfung der Bewitterung ist in Anlehnung an DIN EN ISO 11431 durchzuführen.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die ersten Proben nach 1.000 h künstlicher Bewitterung geprüft. Die Abnahme des Zugspannungswertes bei einer 100 %igen Dehnung lag beim FDS 2 (Zweikomponenten-Fugendichtstoff auf Polysulfidbasis, grau, gießfähig und selbstnivellierend) mit 33,3 % über dem nach den ZG für 500 h gültigen Anforderungswert von 20 %. Alle anderen Fugendichtstoffe wiesen nach 1.000 h geringere Änderungen im Zugspannungswert als 20 % auf.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die künstliche Bewitterung und die Freibewitterung bei den einzelnen Fugendichtstoffen zu einer graduell unterschiedlichen Veränderung der Oberfläche (Verfärbung, Rissbildung) und der relevanten Verformungseigenschaften geführt haben.

Der ermittelte Alterungszustand liefert jedoch keine Hinweise für ein vorzeitiges Versagen der Fugendichtstoffe, die für die Funktionsfähigkeit erforderliche Materialfestigkeit unter praxisnahen Dehn- und Stauchbewegungen ist auch nach vierjähriger Freibewitterung bei allen Fugendichtstoffen weiterhin gegeben.

Die Alterung läuft innerhalb der Polymergruppe der Polysulfide und auch im Vergleich Polysulfid/Polyurethan im Normklima sowie insbesondere bei künstlicher Bewitterung und unter Freibewitterung unterschiedlich ab. Eine generelle Korrelation oder gar Korrelationsfaktoren zwischen künstlicher Bewitterung und Freibewitterung sind nicht gegeben.

Insgesamt haben sich die Eigenschaften der Fugendichtstoffe zwischen der 2- und der 4-jährigen Freibewitterung nur wenig verändert. Weitere fundierte Aussagen zum Langzeitverhalten und zur Gebrauchstauglichkeit werden erwartet, wenn die noch ausliegenden Proben nach einer 8-jährigen Freibewitterung geprüft werden und eine abschließende Bewertung vorgenommen wird.

Eine Änderung der Prüfbedingungen und -kriterien in den ZG und in der CUAP ist nicht erforderlich. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die zeitraffende künstliche Bewitterung von 500 h lediglich völlig ungeeignete Fugendichtstoffe erkennen lässt, Aussagen zum Langzeitverhalten lassen sich daraus nicht ableiten.