

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

T 3281

T 3281

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2012

ISBN 978-3-8167-8735-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Abschlussbericht 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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Zielsetzung	3
2	Stand der Wissenschaft und Technik.....	3
3	Versuchsmaterialien	6
4	Versuchsprogramm	7
4.1	Herstellung der Probekörper	7
4.1.1	Betonprobekörper	7
3.1.2	Dichtstoff-Folien.....	8
3.2	Probekörperlagerung und Beanspruchung	9
3.2.1	Konditionierung	9
3.2.2	Vergleichslagerung im Dunkeln	9
3.2.3	Künstliche Bewitterung	10
3.2.4	Natürliche Bewitterung	12
3.3	Laborprüfungen	14
3.3.1	Visuelle und mikroskopische Beurteilung	14
3.3.2	Haft- und Dehnverhalten.....	14
3.3.3	Zugversuch an den Dichtstoff-Folien	14
3.3.4	Shore A-Härte an den Dichtstoff-Folien	14
4	Ergebnisse	15
4.1	Visuelle und mikroskopische Begutachtung.....	15
4.2	Zugversuche an Dichtstoff-Folien.....	42
4.3	Zugversuche an Betonprobekörpern.....	45
4.3.1	Spannungs-/Dehnungsdiagramme.....	45
4.3.2	Zugspannungswerte bei bestimmten Prüfdehnungen	50
4.4	Shore A-Härte	55
5	Zusammenfassung der Ergebnisse der Laborprüfungen.....	61
6	Diskussion und Ausblick	63
7	Literatur.....	64

1 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 [1] sowie in der europäischen Norm DIN EN 14188-2 [2] ist die Witterungsbeständigkeit durch künstliche Bewitterung nach DIN EN ISO 11431 [3] 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 [4].

Ziel dieses Vorhabens ist 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 06.05/11, [5]) von Fugendichtstoffen, die von einer Mindestnutzungsdauer von 10 Jahren ausgehen, dringend benötigt.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

Der Stand der Technik wurde 1999 in einem Bericht des Technischen Komitees 139-DBS der RILEM, herausgegeben von A. T. Wolf, dargestellt [6] und 2004 fortgeschrieben [7]. Die Arbeiten an einem beschleunigten Alterungstest wurden 1989 innerhalb des ISO Komitees TC59/SC8 (Work Group 6) begonnen und später im Jahre 1994 auf das Komitee der RILEM TC139-DBS Durability of Building Sealants übertragen, da das ISO Gremium realisierte, dass die Aufgabe für den üblichen 5-Jahreszeitrahmen zu komplex war um eine Prüfmethode zu entwickeln. 2001 wurde vom RILEM-Komitee eine Technische Empfehlung veröffentlicht [8], die der ISO für die Entwicklung einer zukünftigen Langzeitprüfmethode dienen sollte. 2000 wiederum wurde die Arbeit dem RILEM-Gremium TC 190-SBJ „Service life prediction of sealed building and construction joints“ übertragen. Nach 7jähriger Arbeit wurde 2008 eine aktualisierte Empfehlung als Entwurf veröffentlicht [9]. Diese technische Empfehlung liefert die Rahmenbedingungen, unter denen der Einfluss einer zyklischen Bewegung und der Bewitterung auf statisch ausgehärtete Probekörper unter Laborbedingungen ermittelt werden kann. Es werden zwar Standardversuchsbedingungen aufgeführt, aber jeder Anwender dieser Empfehlung darf davon abweichen, wenn er reproduzierbarere klimatische oder Umgebungsbedingungen schaffen will. Die Abweichungen müssen natürlich angegeben werden.

Das Prinzip der Prüfmethode besteht darin, dass der Dichtstoff zwischen zwei parallelen Probenhaltern eingebracht wird und diese in einem Laborklima konditioniert werden. Diese Probekörper werden anschließend zyklisch der künstlichen Bewitterung (Licht, Wärme und Feuchtigkeit) über 6 Wochen ausgesetzt und anschließend über 6 Wochen einer zyklischen Verformung (gleichzeitige Dehnung und Stauchung über 4 Tage, anschließend 3 Tage unbeansprucht) unter kontrollierten Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Danach werden die Probekörper visuell beurteilt. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt bis ein definierter Alterungszustand erreicht

wird. In Bild 1 ist der Prüfablauf schematisch dargestellt, Bild 2 zeigt den Probekörper für die zyklische Verformung (Stauchung und Dehnung bis zu 30 %).

Bild 1: Schematischer Prüfablauf nach RTR [9]

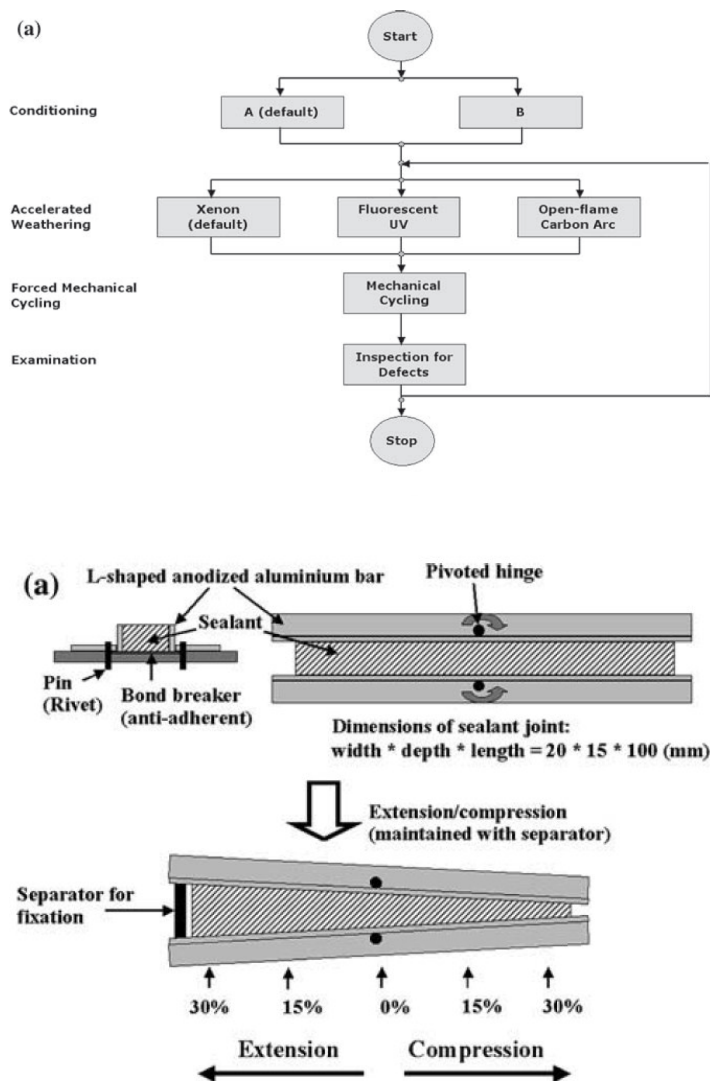


Bild 2: Dichtstoff-Probekörper zwischen Aluminiumträgern für die zyklische mechanische Verformung nach RTR [9]

Erste Ergebnisse nach dieser Rilem-Prüfmethode wurden von Jones [10], Miyauchi ([11], [12]) und Ausilio [13] vorgestellt. Die Studien kommen zu dem Ergebnis, dass diese Alterungsmethode in der Lage ist, zwischen unterschiedlichen Produkten im Hinblick auf ihren Widerstand gegenüber beschleunigter Alterung und zyklischer mechanischer Beanspruchung zu differenzieren. Die Versagensart und die Veränderung der Oberfläche sind teilweise ähnlich wie unter Praxisbedingungen. In den Studien wurden unterschiedliche Dichtstoffe untersucht, so dass die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar sind. Es scheint jedoch, dass die in der japanischen Studie [11] verwendete Xenonbogenlampe nach CIE 85 (siehe Bild 7) zu einem schnelleren Versagen führt, als die von Jones verwendete UV-Lampe [10]. In beiden Studien wurde die Alterung durch die zyklische mechanische Verformung deutlich beschleunigt.

In der Studie von Ausilio [13] wird für sechs der acht geprüften Polyurethanfugendichtstoffe durch die Rilem-Methode das Alterungsverhalten bei statischer Freibewitterung ziemlich genau

vorausgesagt.

Weitere Untersuchungen von Ausilio sind geplant, um die Ergebnisse nach der Rilem-Methode mit den Resultaten unter Freibewitterung zu vergleichen.

Wolf kommt in seinem Rückblick über den Stand der Wissenschaft im Hinblick auf die Korrelation von natürlicher und künstlicher Bewitterung zu folgenden allgemeinen Schlussfolgerungen [14]:

- 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.

3 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) gemäß Tabelle 1 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

Tabelle 1: Versuchsmaterialien

4 Versuchsprogramm

4.1 Herstellung der Probekörper

4.1.1 Betonprobekörper

Die Betonprobekörper wurden gemäß ISO 13460 [15] hergestellt. Auf die Kontaktflächen wurde der von den Dichtstoffherstellern bereitgestellte Primer aufgetragen (**Bild 3**).



Bild 3: Betonprobekörper, Kontaktflächen mit Primer

Mehrkomponenten-Fugendichtstoffsysteme wurden nach den Angaben in den Datenblättern der Fugendichtstoffe angemischt.

Für jede Prüferie und Lagerungszeit in der künstlichen Bewitterung, der Freibewitterung und der Vergleichslagerung im Normalklima wurden jeweils 3 Betonprobekörper hergestellt (Bild 4 bis 6).



Bild 4: Betonkörper mit Abstandshaltern (12 mm) vor dem Einbringen des Fugendichtstoffes



Bild 5: Einbringen eines selbstverlaufenden Fugendichtstoffes und bündiges Abziehen des überschüssigen Dichtstoffes mit einem Spatel mit den Flächen der Halterungen



Bild 6: Ausgehärtete Betonprobekörper
Links: Gestauchter Probekörper (-12,5 %)
Mitte: Gedehnter Probekörper (+12,5 %)
Rechts: Unbelasteter Probekörper mit einer Fugenbreite von 12 mm

3.1.2 Dichtstoff-Folien

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.

Für jede Prüfserie und Lagerungszeit in der künstlichen Bewitterung, der Freibewitterung und der Vergleichslagerung im Normalklima wurde eine ausreichende Folienfläche hergestellt, um je Alterungsstufe 5 Schulterstäbe in Anlehnung an DIN EN ISO 527-3 [16], Probekörper Typ 5a, für die Zugprüfungen verwenden zu können (**Bild 7**).



Bild 7: Gepresste Folien (Einkomponenten-Fugendichtstoff) bzw. gegossene Folien (Zweikomponenten-Fugendichtstoffe)

Die Probekörper für die Zugsuche wurden nach den jeweiligen Lagerungszeiten bzw. Beanspruchungen aus den Folien ausgestanzt.

3.2 Probekörperlagerung und Beanspruchung

3.2.1 Konditionierung

Nach der Herstellung der Probekörper erfolgte eine Vorlagerung im Normklima 23/50-2 nach DIN EN ISO 291 [17] für 4 Wochen zum Aushärten des Fugendichtstoffes.

3.2.2 Vergleichslagerung im Dunkeln

Je Prüfserie wurde ein Satz Probekörper für die Vergleichsprüfung von unbelasteten Probekörpern im Normklima und im Dunkeln gelagert (siehe Tabelle 2).

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-Bergius-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

Tabelle 2: Lagerungsbedingungen

3.2.3 Künstliche Bewitterung

Die künstliche Bewitterung der vorbereiteten Betonprobekörper und der Folien wurde in einem Bewitterungsgerät gemäß DIN EN ISO 4892-2 [18] (**Bild 8**), Lagerungsbedingungen siehe Tabelle 2) mit Xenonstrahlern vorgenommen.

Um gleichmäßige Bestrahlungsbedingungen zu erreichen, wurde die Position der Probekörper auf den Halterungen regelmäßig gewechselt. Das vollentsalzte Wasser für die Beregnungsphase wurde nicht im Umlauf wieder verwendet, um eine Kontaminierung der Probekörper durch herausgelöste Stoffe zu vermeiden.

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 (**Bild 9**).



Bild 8: Bewitterungsgerät (Atlas Beta LM), mit den Probekörpern bestückt

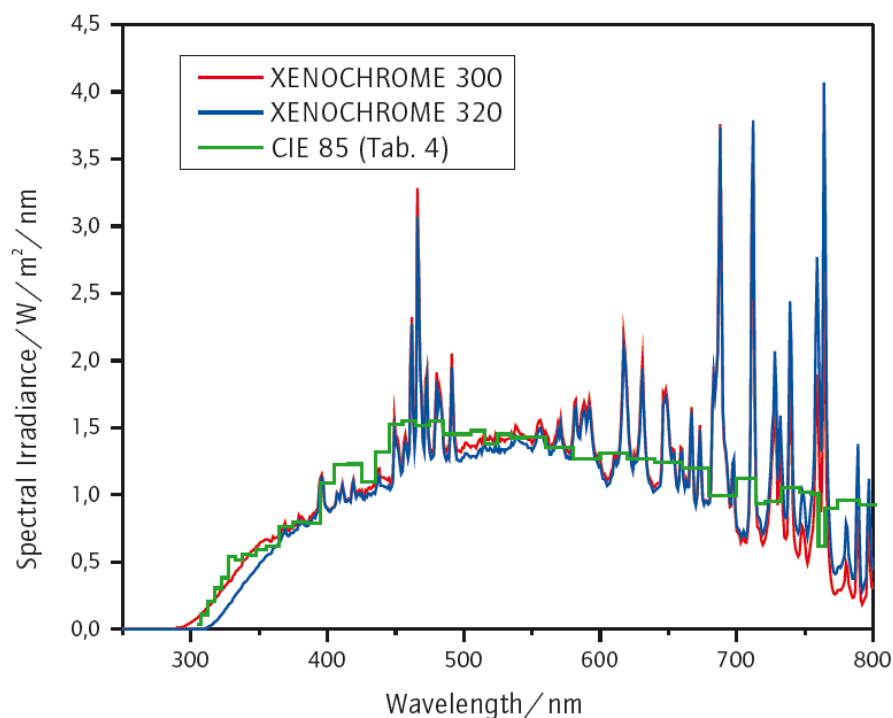


Bild 9: Spektrale Energieverteilung der Strahlung bei zwei gebräuchlichen Filterkombinationen im Bewitterungsgerät ATLAS BETA im Vergleich zur Globalstrahlung im Freien (CIE-Publikation No. 85. Tabelle 4)

DIN EN ISO 4892-2 [18] spezifiziert die Wellenlängenverteilung der wirksamen Strahlungsenergie durch Angabe der jeweiligen relativen Bestrahlungsstärke in den drei Bereichen: 290 – 320 nm, 320 – 360 nm und 360 – 400 nm, bezogen auf die Bestrahlungsstärke zwischen 290 und 800 nm. Unterhalb von 290 nm beträgt die Bestrahlungsstärke Null. Zur Messung der Bestrahlung auf den Probenoberflächen wird ein auf der Probenhalterung montiertes Gerät mit photoelektronischem Strahlungsempfänger vorgeschrieben.

3.2.4 Natürliche Bewitterung

Die natürliche Bewitterung erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 105-B01 [19]. Abweichend von der Norm wurden die Probekörper flachliegend und ohne Glasabdeckung bewittert. Die Betonprobekörper wurden ca. bis zur halben Probekörperdicke in ein Sandbett eingedrückt (**Bild 10**). Ziel der Lagerung in einem Sandbett ist es, die klimatischen Bedingungen einer Bodenfuge annähernd nachzustellen.



Bild 10: Betonprobekörper in der Freibewitterung

Die Dichtstoff-Folien wurden in Halterungen eingespannt, wie sie üblicherweise auch in Bewitterungsgeräten verwendet werden, und ebenfalls in der Waagrechten der Freibewitterung ausgesetzt (**Bild 11**).



Bild 11: Folien in der Freibewitterung

Die natürliche Bewitterung der Probekörper wurde am 24. August 2006 gestartet (**Bild 12**).

**Bild 12:** Gesamtansicht des Freibewitterungsstandes

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

Zeitraum	Globalstrahlung [MJ/m ²]
24. August 2006 bis 23. August 2007	4.226
24. August 2007 bis 23. August 2008	4.169
24. August 2008 bis 23. August 2010	7.895

Tabelle 3: Globalstrahlung in Würzburg (49 ° 45' N/9° 56' E), horizontal

3.3 Laborprüfungen

3.3.1 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.

3.3.2 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 [20] 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.

3.3.3 Zugversuch an den Dichtstoff-Folien

Die aus den Dichtstoff-Folien ausgestanzten Schulterstäbe (siehe **Bild 5**) 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.

3.3.4 Shore A-Härte an den Dichtstoff-Folien

An den Dichtstoff-Folien wurde die Shore A-Härte gemäß DIN 53505 [21] bestimmt. Die Prüfung wurde im Normalklima durchgeführt, die Härte wurde 3 Sekunden nach dem Aufsetzen abgelesen.

4 Ergebnisse

4.1 Visuelle und mikroskopische Begutachtung

Die Ergebnisse der visuellen und der mikroskopischen Begutachtung sind in den Tabellen 4 bis 7 für jeden Fugendichtstoff getrennt für die Betonprobekörper und für die Folien zusammengefasst. Die Bewertung erfolgte nach der jeweiligen Beanspruchung (= Probekörpertyp „Betonprobekörper“) sowie nach der im Anschluss an die Beanspruchung auf 100 % gedehnten und mit Hilfe von Abstandshaltern bei dieser Dehnung für 24 Stunden gehaltenen Breite (= Probekörpertyp „Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt“).


Tabelle 4: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
1000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Oberfläche von allen Probekörpern geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche etwas aufgehellt	 Bild 13
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	Leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht, gestauchte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	 Bild 14
	Folie	Visuell: keine Rissstruktur erkennbar Mikroskop: leichte Risse in der Außenschicht	 Bild 15



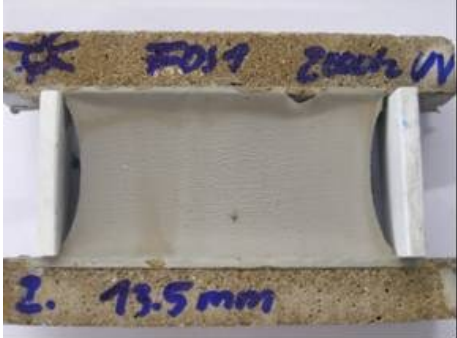
Tabelle 4: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Oberfläche aller Proben geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche heller	 <p>Bild 16</p>
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht	
		gestauchte Probekörper: alle Probekörper Kohäsionsbruch	 <p>Nach 24h Dehnung 100%.</p> <p>Bild 17</p>
		ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	
	gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	 <p>Bild 18</p>	



Tabelle 4: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2000 h künstliche Bewitterung	Folie	<p>Visuell: keine Rissstruktur erkennbar</p> <p>Mikroskop: leichte Risse in der Außenschicht</p>	 <p>Bild 19</p>
	4000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	<p>Oberfläche aller Proben geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche heller</p>
<p>Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt</p>		<p>leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht</p> <p>gestauchte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung</p> <p>ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung</p> <p>gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung</p>	
4000 h künstliche Bewitterung	Folie	<p>Visuell: keine Rissstrukturen erkennbar</p>	 <p>Bild 21</p>

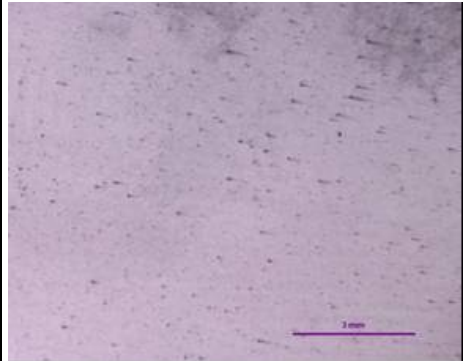
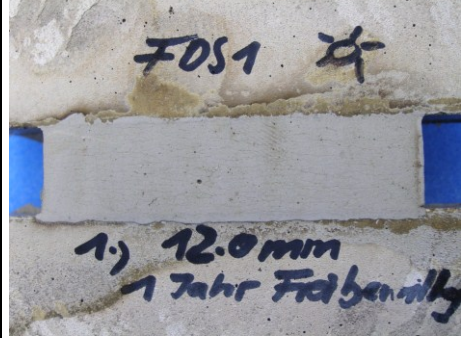
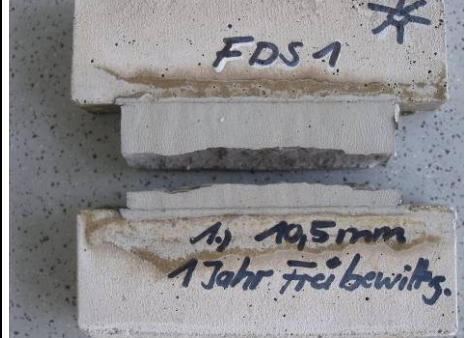
Tabelle 4: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
4000 h künstliche Bewitterung		Mikroskop: keine Rissstrukturen erkennbar	 Bild 22
1 Jahr Freibewitterung	Betonprobekörper	Oberflächlich leichte Rissstruktur erkennbar, allerdings nicht bei allen Probekörpern.	 Bild 23
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	Leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Oberfläche gestauchte Probekörper: Kohäsionsrisse bei 2 von 3 Probekörpern (Bild 24) ungedehnte Probekörper: Kohäsionsrisse bei 1 von 3 Probekörpern gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	 Bild 24

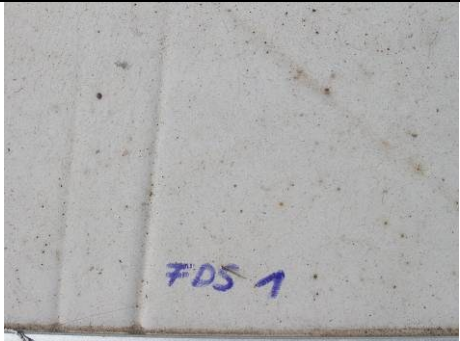
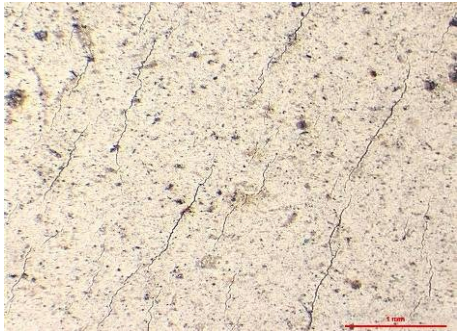
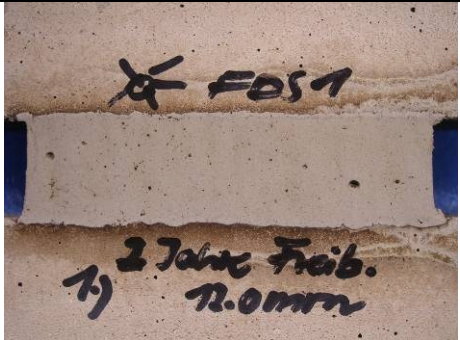
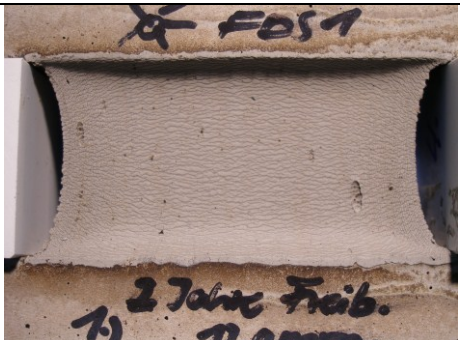
Tabelle 4: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
1 Jahr Freibewitterung	Folie	<p>Visuell:</p> <p>Keine Rissstruktur erkennbar (Bild 25)</p>	 <p>Bild 25</p>
		<p>Mikroskop:</p> <p>leichte Risse in der Außenschicht, nicht auf der gesamten Oberfläche (Bild 26)</p>	 <p>Bild 26</p>
2 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper	<p>Oberflächlich leichte Rissstruktur erkennbar.</p>	 <p>Bild 27</p>
	<p>Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt</p>	<p>gestauchte Probekörper: Kohäsionsrisse bei 2 von 3 Probekörpern</p> <p>ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung (Bild 28)</p> <p>gedehnte Probekörper: leichte Kohäsionsrisse an der Probenkante</p>	 <p>Bild 28</p>

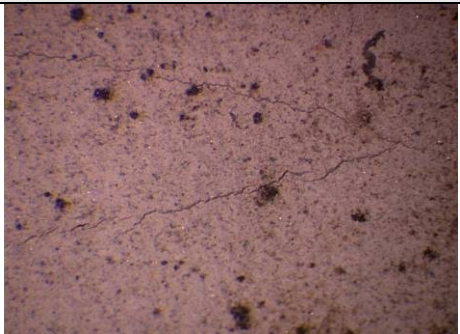
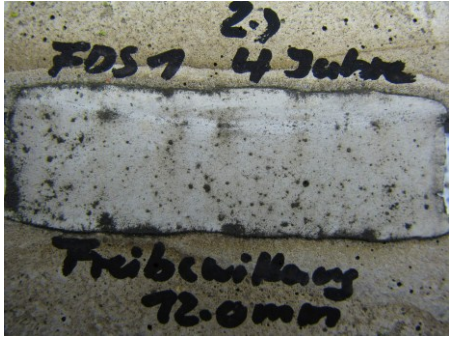
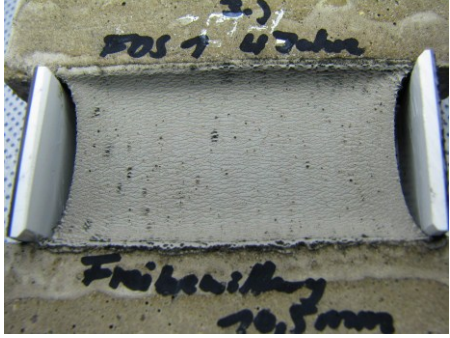

Tabelle 4: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2 Jahre Freibewitterung	Folie	<p>Visuell: keine Risse erkennbar</p> <p>Mikroskopisch: Rissstrukturen erkennbar (Bild 29)</p>	 <p>Bild 29</p>
4 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper	Ablagerungen, keine Risse erkennbar	 <p>Bild 30</p>
	Betonprobekörper um 100 % gedehnt	<p>Oberflächlich leichte Rissstruktur bei Dehnung sichtbar.</p> <p>Gestauchte und ungedehnte Probekörper: keine Kohäsions- oder Adhäsionsfehler</p>	 <p>Bild 31</p>
		<p>Oberflächlich Rissstruktur bei Dehnung sichtbar.</p> <p>Gedehnte Probekörper: leichte Adhäsionsrisse</p>	 <p>Bild 32</p>

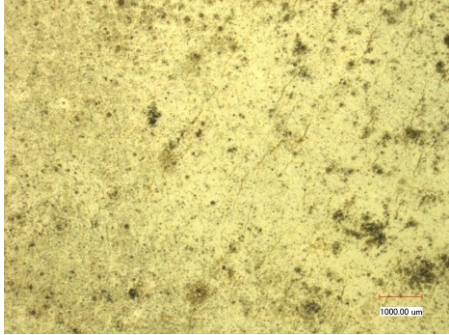
Tabelle 4: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
4 Jahre Freibewitterung	Folie	<p>Visuell: Rissstrukturen bei Dehnung erkennbar.</p> <p>Mikroskopisch: Rissstrukturen ungedehnt erkennbar (Bild 33)</p>	 <p>Bild 33</p>

Tabelle 4: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid, grau)
Ergebnis der visuellen und mikroskopischen Untersuchung





Tabelle 5: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
1000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Oberfläche von allen Probekörpern geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche etwas aufgehellt	 <p>Bild 34</p>
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	Leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht	 <p>Bild 35</p>
	Folie	Visuell: keine Rissstruktur erkennbar Mikroskop: leichte Risse in der Außenschicht (Folie zum Fotografieren gebogen)	 <p>Bild 36</p>
2000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Oberfläche aller Proben geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche heller	 <p>Bild 37</p>




Tabelle 5: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht	 <p>Bild 38</p>
		gestauchte Probekörper: alle Probekörper Kohäsionsbruch	
		ungedehnte Probekörper: 2 Probekörper ohne Beanstandung 1 Probekörper mit Kohäsionsbruch (Bild 39)	 <p>Bild 39</p>
	gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung		
	Folie	Visuell: keine Rissstruktur erkennbar (Bild 40) Mikroskop: leichte Risse in der Außenschicht	 <p>Bild 40</p>



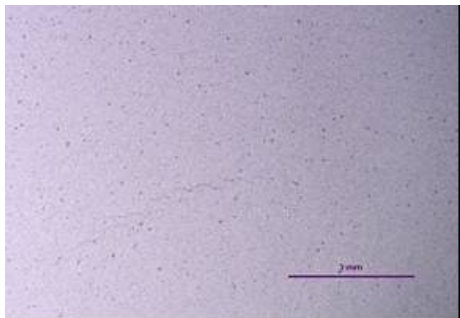
Tabelle 5: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
4000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Oberfläche aller Proben geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche heller	 <p>Bild 41</p>
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht gestauchte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	
	Folie	Visuell: vereinzelte Risse in der Außenschicht	 <p>Bild 42</p>
	Folie	Mikroskop: vereinzelte Risse in der Außenschicht (bei gebogener Folie zeichnen sich die Risse deutlicher ab)	 <p>Bild 43</p>

Tabelle 5: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
1 Jahr Freibewitterung	Betonprobekörper		<p>Bild 44</p>
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	<p>leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht</p> <p>gestauchte Probekörper: Kohäsionsrisse bei 1 von 3</p> <p>ungedehnte Probekörper: alle Probekörper Kohäsionsrisse</p> <p>gedehnte Probekörper: alle Probekörper Kohäsionsrisse (Bild 45)</p>	<p>Bild 45</p>
	Folie	<p>Visuell: keine Risse erkennbar</p> <p>Mikroskopisch: Rissstrukturen erkennbar (Bild 46)</p>	<p>Bild 46</p>
2 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper		<p>Bild 47</p>

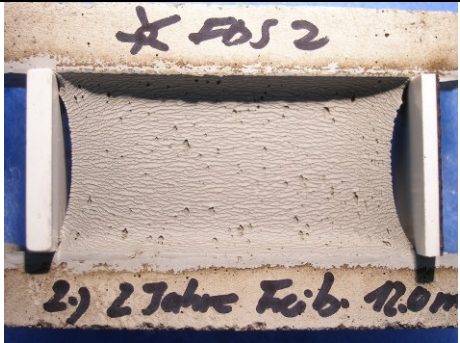
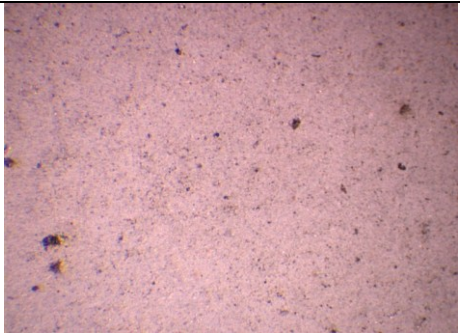
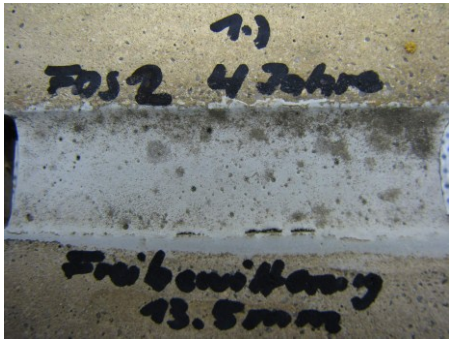
Tabelle 5: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	<p>leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht</p> <p>gestauchte Probekörper: Kohäsionsrisse bei 2 von 3</p> <p>ungedehnte Probekörper: 1 Probekörper adhäsiv gerissen. 1 Probekörper Adhäsions- und Kohäsionsverlust. 1 Probekörper ohne Beanstandung (Bild 48)</p> <p>gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung</p>	 <p>Bild 48</p>
	Folie	<p>Visuell: keine Risse erkennbar</p> <p>Mikroskopisch: z.T. leichte Rissstruktur in erkennbar</p>	 <p>Bild 49</p>  <p>Bild 50</p>
4 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper	Ablagerungen, bei 2 von 9 Probekörpern Risse erkennbar	 <p>Bild 51</p>


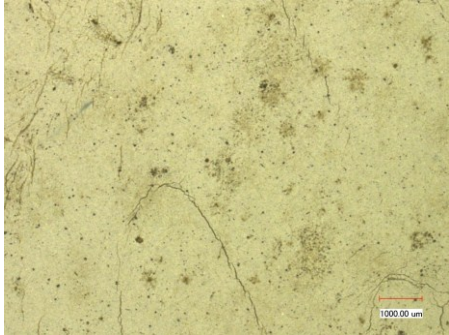
Tabelle 5: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid, grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
4 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper um 100 % gedehnt	Bei allen Probekörpern: <ul style="list-style-type: none"> • Oberflächlich leichte Rissstruktur bei Dehnung sichtbar • Keine Kohäsions- oder Adhäsionsfehler 	 <p>Bild 52</p>
	Folie	Visuell und mikroskopisch: Ablagerungen und vereinzelt Risse erkennbar	 <p>Bild 53</p>

Tabelle 5: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid, grau)

Ergebnis der visuellen und mikroskopischen Untersuchung




Tabelle 6: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
1000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Oberfläche von allen Probekörpern geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche etwas aufgehellt	 <p>Bild 54</p>
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	Leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht	 <p>Bild 55</p>
	Folie	Visuell: keine Rissstruktur erkennbar Mikroskop: leichte Risse in der Außenschicht (Folie zum Fotografieren gebogen)	 <p>Bild 56</p>




Tabelle 6: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Oberfläche aller Proben geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche heller	 <p>Bild 57</p>
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht	
		gestauchte Probekörper: alle Probekörper Kohäsionsbruch	 <p>Bild 58</p>
		ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	
	gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	 <p>Bild 59</p>	


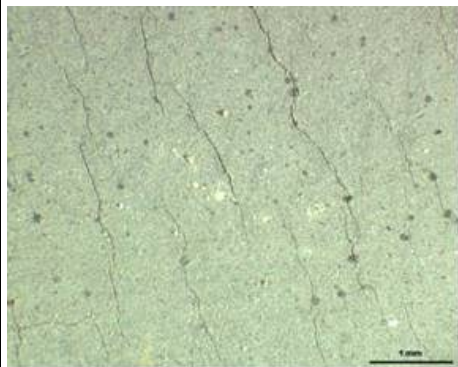

Tabelle 6: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2000 h künstliche Bewitterung	Folie	Visuell: keine Rissstruktur erkennbar	 Bild 60
		Mikroskop: Risse in der Außenschicht	 Bild 61
4000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Oberfläche aller Proben geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche heller	 Bild 62
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht gestauchte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	



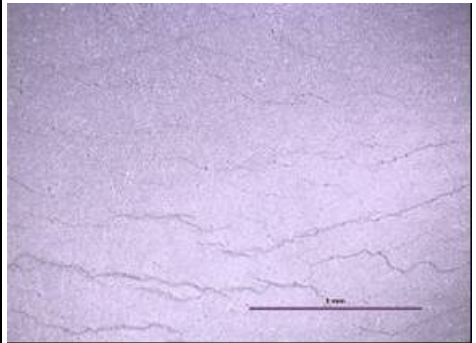
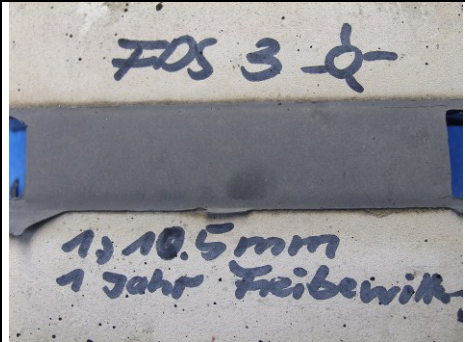
Tabelle 6: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
4000 h künstliche Bewitterung		<p>im Normalklima gelagerte Probekörper: alle Probekörper mit Kohäsionsbruch</p>	 <p>Bild 63</p>
	Folie	<p>Visuell: vereinzelte Risse in der Außenschicht</p>	 <p>Bild 64</p>
		<p>Mikroskop: vereinzelte Risse in der Außenschicht (bei gebogener Folie zeichnen sich die Risse deutlicher ab)</p>	 <p>Bild 65</p>
1 Jahr Freibewitterung	Betonprobekörper	Deutlich Rissstruktur erkennbar	 <p>Bild 66</p>

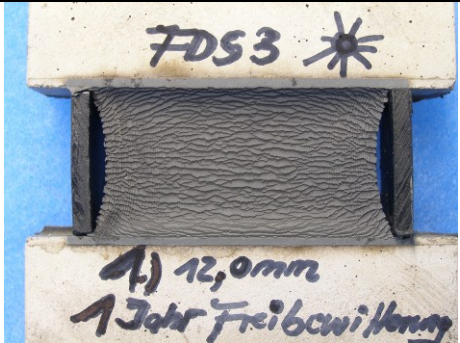
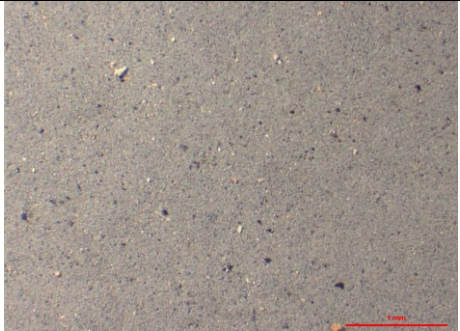
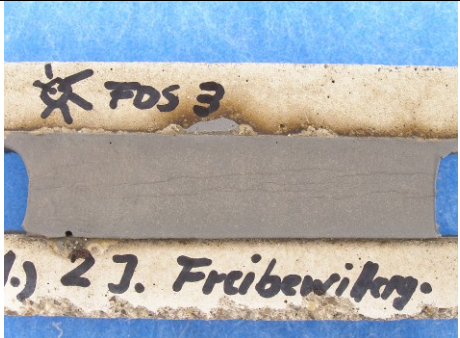

Tabelle 6: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
1 Jahr Freibewitterung	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	Bei allen Probekörpern gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht (Elefantenhaut) gestauchte Probekörper: alle Probekörper Kohäsionsrisse ungedehnte Probekörper: alle Probekörper Kohäsionsrisse (Bild 67) gedehnte Probekörper: 1 von 3 Probekörpern Kohäsionsrisse	 Bild 67
	Folie	Keine Risse erkennbar	 Bild 68
2 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper	Bei 2 Proben leichte Rissstruktur erkennbar	 Bild 69
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	gestauchte Probekörper: alle Probekörper Kohäsionsrisse ungedehnte Probekörper: bei 2 von 3 Probekörpern Kohäsionsrisse (Bild 70), bei 1 Probekörper leichter Kohäsionsverlust gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	 Bild 70

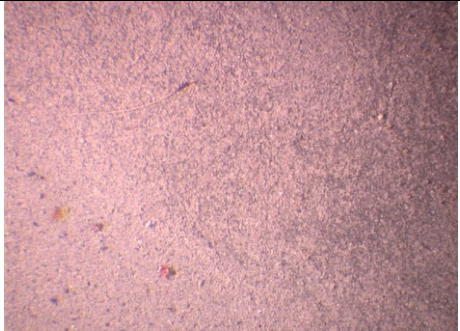


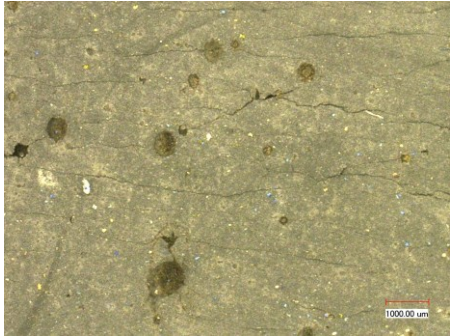
Tabelle 6: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2 Jahre Freibewitterung	Folie	Visuell: keine Risse erkennbar	
		Mikroskop: leichte Rissstrukturen im Randbereich erkennbar.	Bild 71 
4 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper	Bei 2 von 3 gedehnten Probekörpern Risse, teilweise	
			Bild 73 
			Bild 74

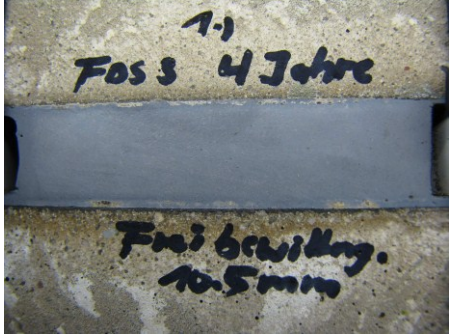


Tabelle 6: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
4 Jahre Freibewitterung		Keine Rissstruktur bei gestauchten und ungedehnten Probekörpern sichtbar	 <p>Bild 75</p>
	Betonprobekörper um 100 % gedehnt	Gleichmäßig Rissstruktur bei allen Probekörpern (Elefantenhaut), vereinzelt Kohäsionsrisse	 <p>Bild 76</p>
	Folie	Visuell und mikroskopisch: Vereinzelt Risse erkennbar	 <p>Bild 77</p>

Tabelle 6: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)
 Ergebnis der visuellen und mikroskopischen Untersuchung




Tabelle 7: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
1000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Oberfläche von allen Probekörpern geschlossen, keine Risse, keine Ablösungen, Oberfläche etwas aufgehellt	 <p>Bild 78</p>
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	Oberfläche geschlossen gestauchte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	 <p>Bild 79</p>
	Folie	Visuell: keine Rissstruktur erkennbar	 <p>Bild 80</p>
		Visuell: keine Risse erkennbar Mikroskop: keine Risse erkennbar	


Tabelle 7: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	Leichte Rissstruktur an der Probenoberfläche, keine Ablösungen, Oberfläche heller	 <p>Bild 81</p>
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	leichte, gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht	
		gestauchte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	
		ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	 <p>Bild 82</p>
		gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	 <p>Bild 83</p>
	Folie	Visuell: Rissstruktur erkennbar	
	Mikroskop: Risse in der Außenschicht		


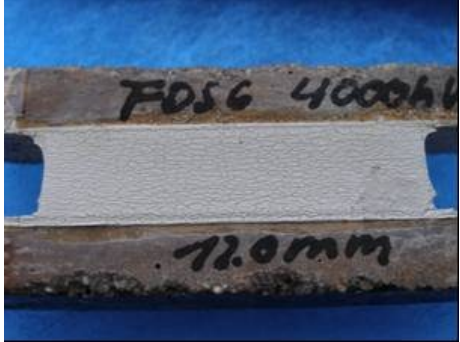


Tabelle 7: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)				
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme	
4000 h künstliche Bewitterung	Betonprobekörper	leichte Rissstruktur an der Probenoberfläche, keine Ablösungen, Oberfläche heller	  Bild 84	
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	gestauchte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	gleichmäßige Rissstruktur in der Außenschicht	 Bild 85
		ungedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung		 Bild 86

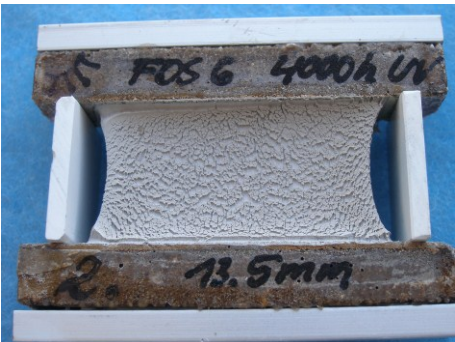

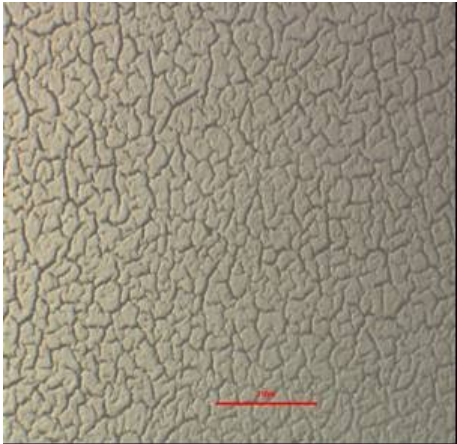
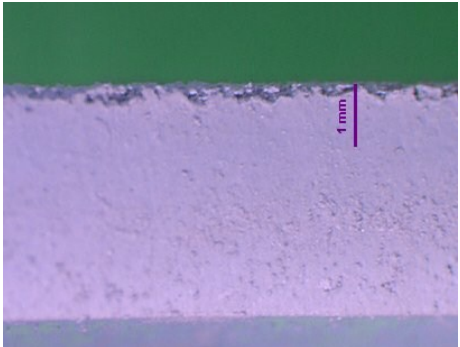
Tabelle 7: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
4000 h künstliche Bewitterung		gedehnte Probekörper: alle Probekörper ohne Beanstandung	 <p>Bild 87</p>
	Folie	Visuell: Rissstruktur erkennbar	 <p>Bild 88</p>
		Mikroskop: Rissstruktur erkennbar, Risstiefe ca. 0,2 mm, Querschnitt unten	  <p>Bild 89</p>



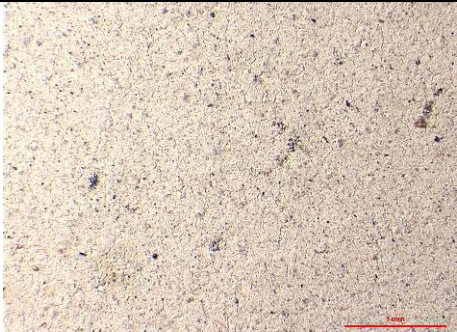
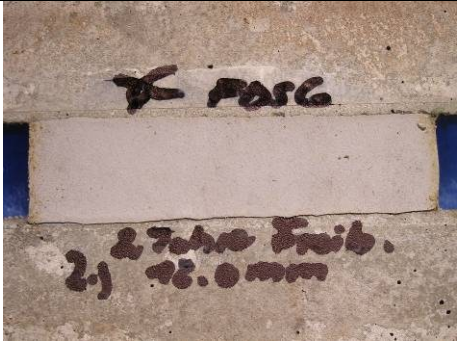
Tabelle 7: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
1 Jahr Freibewitterung	Betonprobekörper		 <p>Bild 90</p>
	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	Alle Probekörper ohne Beanstandung	 <p>Bild 91</p>
	Folie	Visuell: keine Rissstruktur erkennbar Mikroskop: leichte Rissstrukturen im Randbereich (Bild 92)	 <p>Bild 92</p>
2 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper	Alle Probekörper ohne Beanstandung	 <p>Bild 93</p>

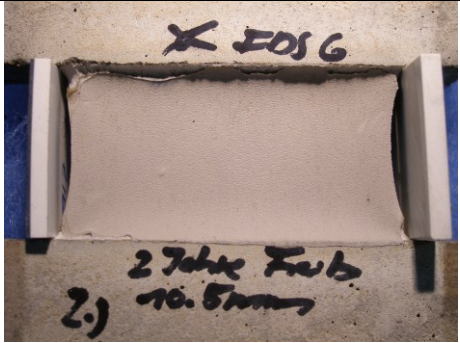

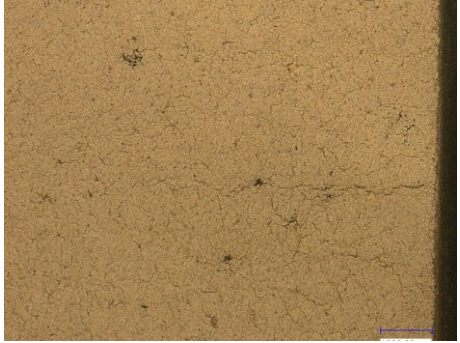
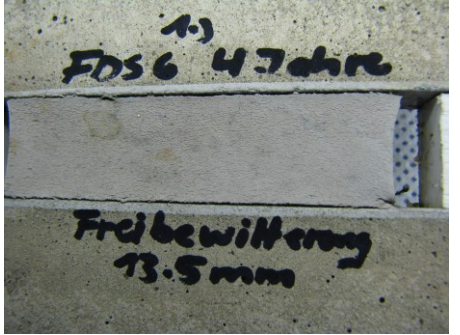
Tabelle 7: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
2 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper 24 Stunden um 100 % gedehnt	Alle Probekörper ohne Beanstandung	 <p>Bild 94</p>
	Folie	<p>Visuell: keine Rissstruktur erkennbar</p> <p>Mikroskop: leichte Rissstruktur im Randbereich erkennbar</p>	 <p>Bild 95</p>  <p>Bild 96</p>
4 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper	Oberflächliche Rissstruktur erkennbar, bei gedehnten Probekörpern leichter Adhäsionsverlust (etwa 0,5 mm Tiefe)	 <p>Bild 97</p>


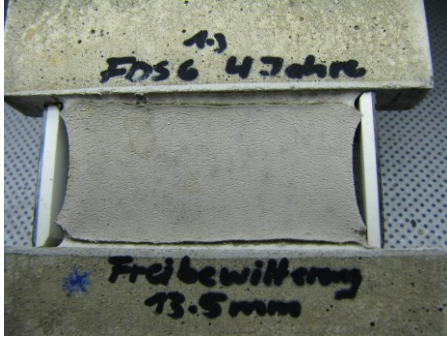
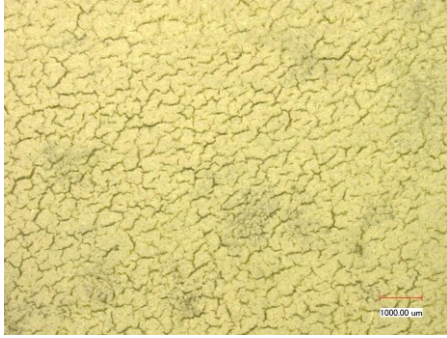
Tabelle 7: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)			
Dauer	Probekörpertyp	Beobachtung, Bemerkung	Photoaufnahme
4 Jahre Freibewitterung	Betonprobekörper um 100 % gedehnt	Bei allen Probekörpern oberflächlich Rissstruktur sichtbar. Gestauchte und ungedehnte Probekörper: Keine Kohäsions- oder Adhäsionsfehler	 Bild 98
		Bei allen Proben oberflächlich Rissstruktur sichtbar. Gedehnte Probekörper: Leichte Adhäsionsrisse bei allen Probekörpern ohne Weiterreißen nach 24 Stunden	 Bild 99
	Folie	Visuell: Rissstrukturen erkennbar, Mikroskopisch: Deutliche Rissstrukturen erkennbar	 Bild 100

Tabelle 7: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)
Ergebnis der visuellen und mikroskopischen Untersuchung

4.2 Zugversuche an Dichtstoff-Folien

In den Bildern 101 bis 104 sind die an exemplarischen Probekörpern ermittelten Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferungszustand sowie nach den jeweiligen Alterungsstufen in der künstlichen Bewitterung bzw. in der Freibewitterung gegenübergestellt.

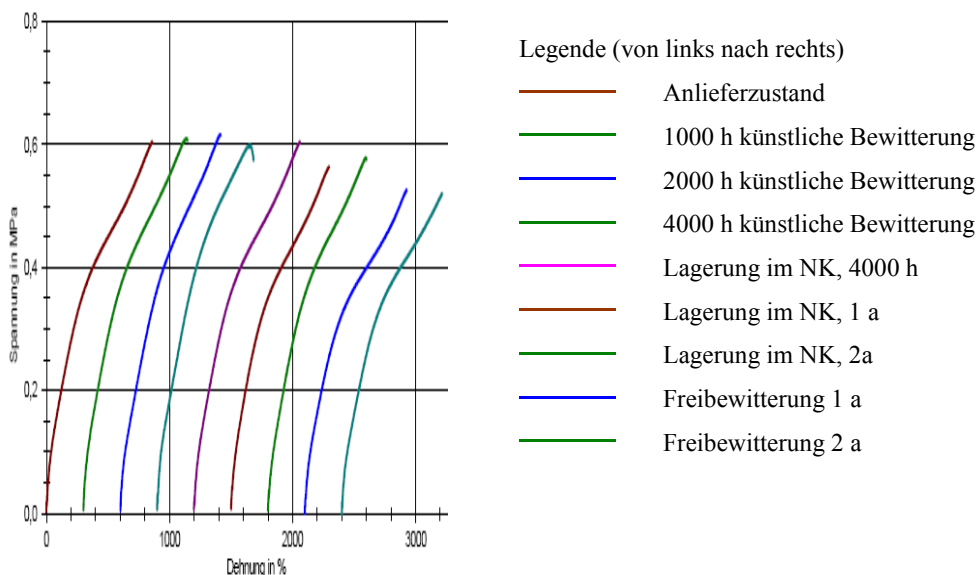


Bild 101: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid grau)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferungszustand sowie nach Alterung

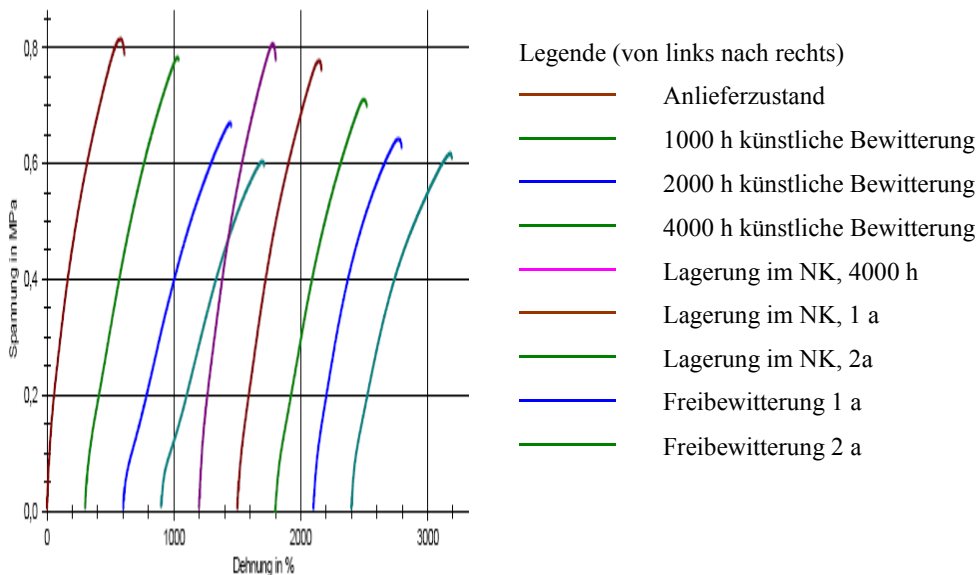


Bild 102: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid grau)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferungszustand sowie nach Alterung

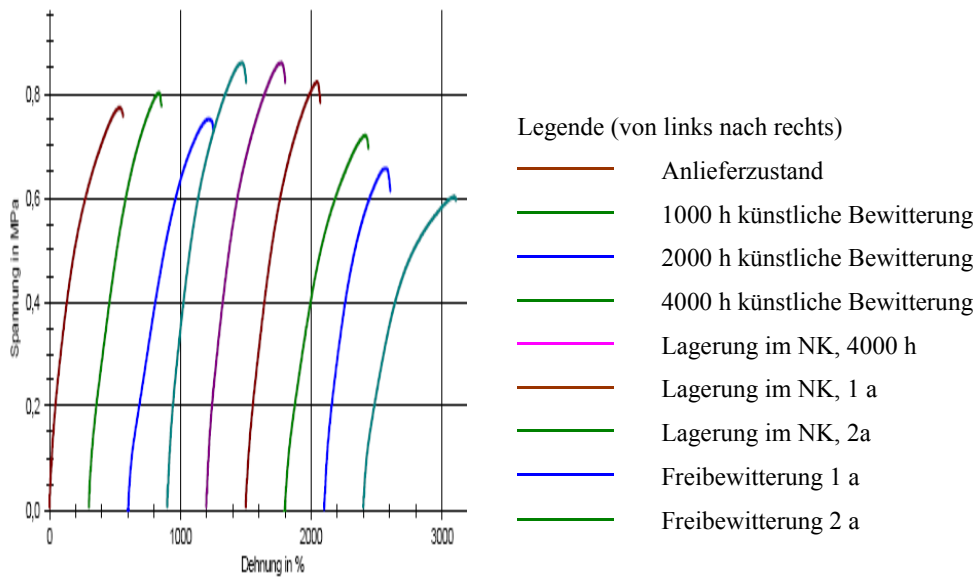


Bild 103: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

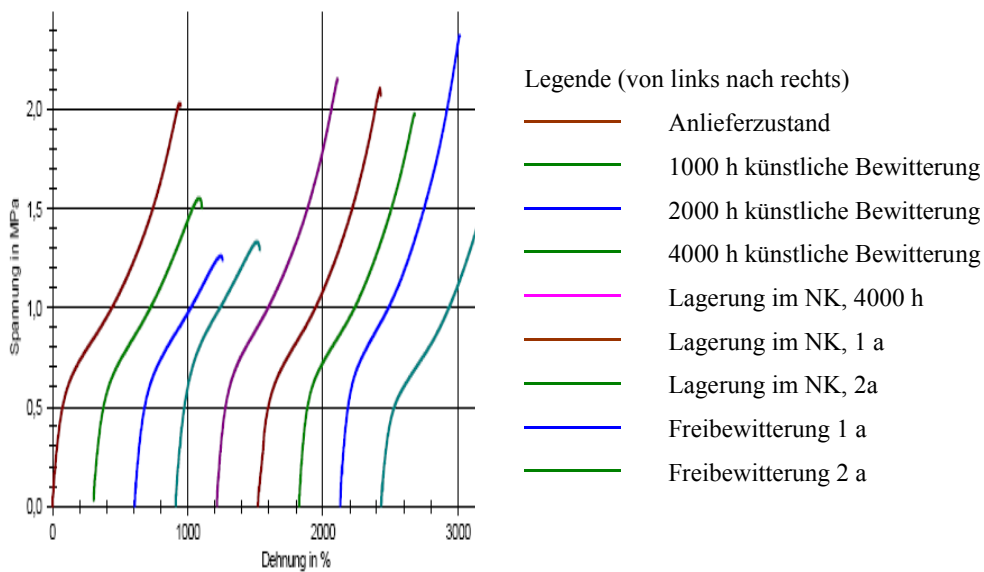


Bild 104: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

Der Verlauf der Zugfestigkeit und der Reißdehnung in Abhängigkeit der Art und Dauer der Beanspruchung geht aus den Bildern 105 und 106 hervor

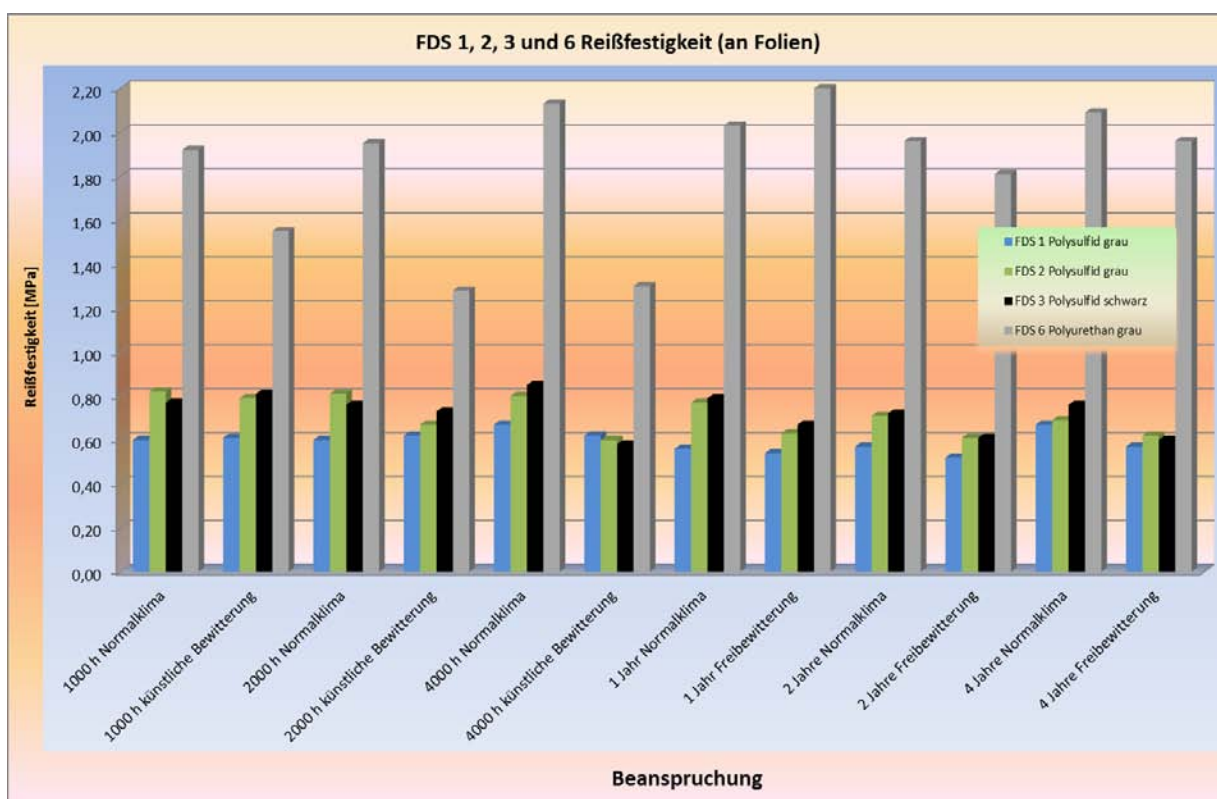


Bild 105: Fugendichtstoffe 1, 2, 3 und 6 Reißfestigkeit an Dichtstoff-Folien in Abhängigkeit der Beanspruchung

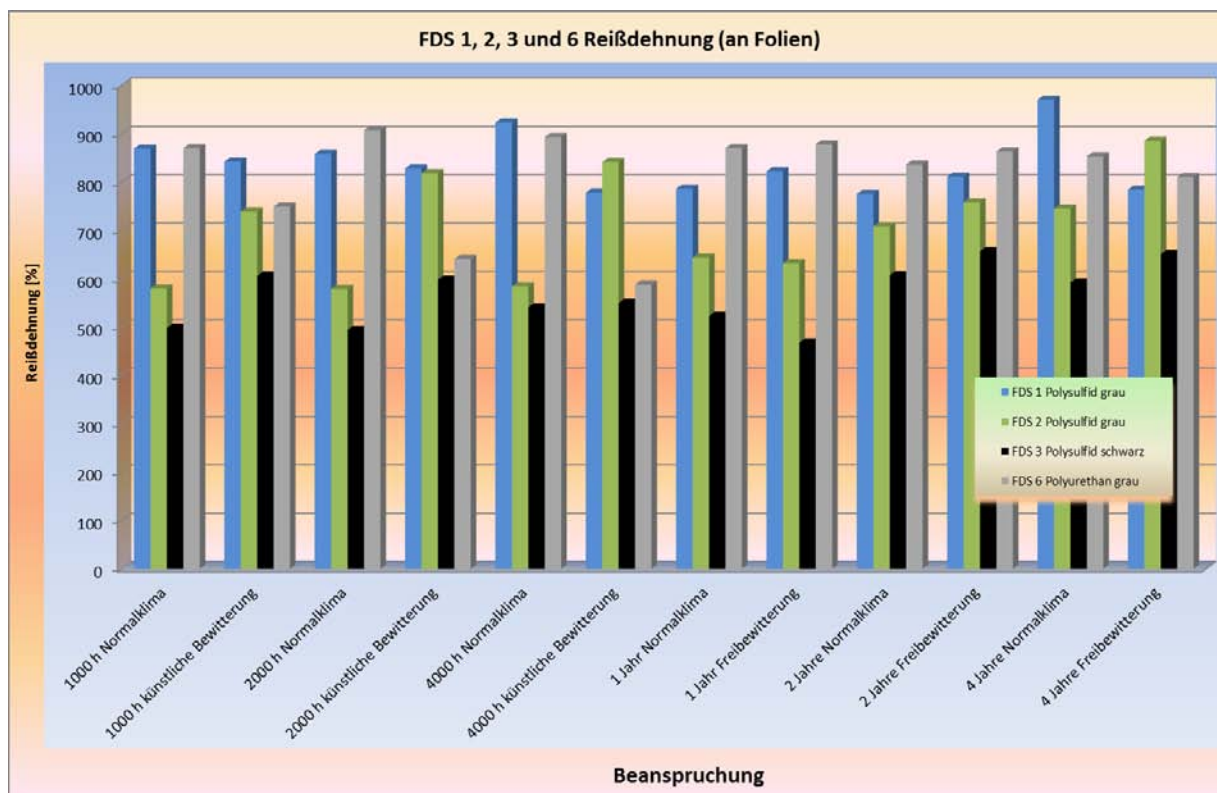


Bild 106: Fugendichtstoffe 1, 2, 3 und 6 Reißdehnung an Dichtstoff-Folien in Abhängigkeit der Beanspruchung

4.3 Zugversuche an Betonprobekörpern

4.3.1 Spannungs-/Dehnungsdiagramme

In den Bildern 107 bis 114 sind die an exemplarischen Probekörpern ermittelten Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach den jeweiligen Alterungsstufen gegenüber gestellt.

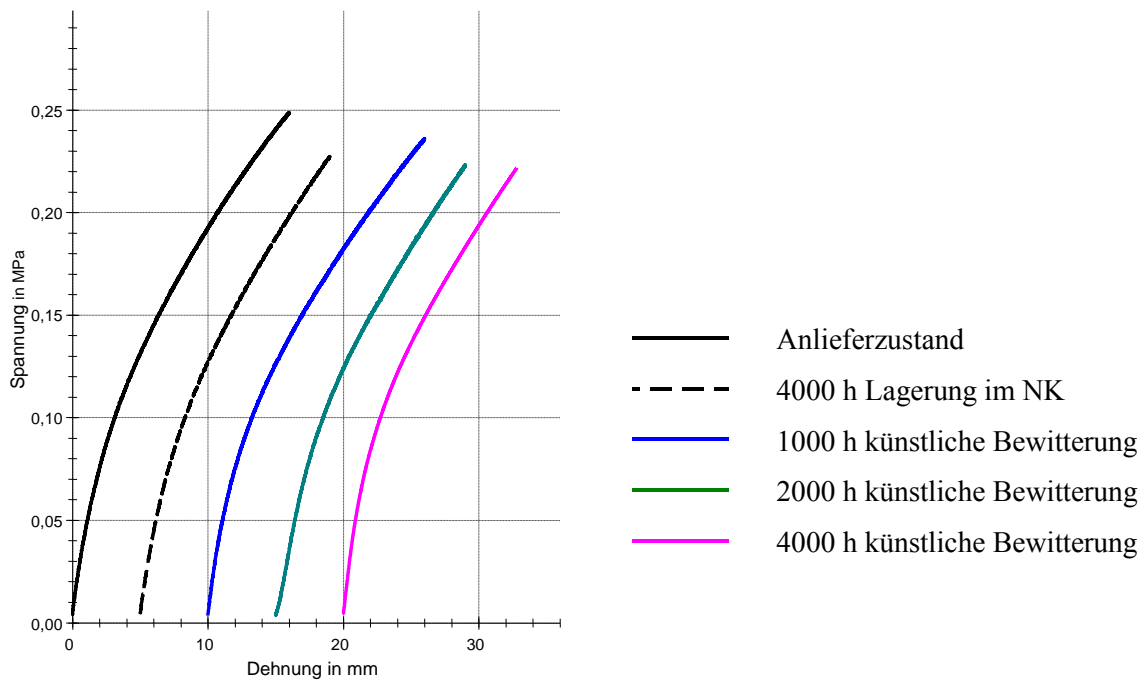


Bild 107: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid grau)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

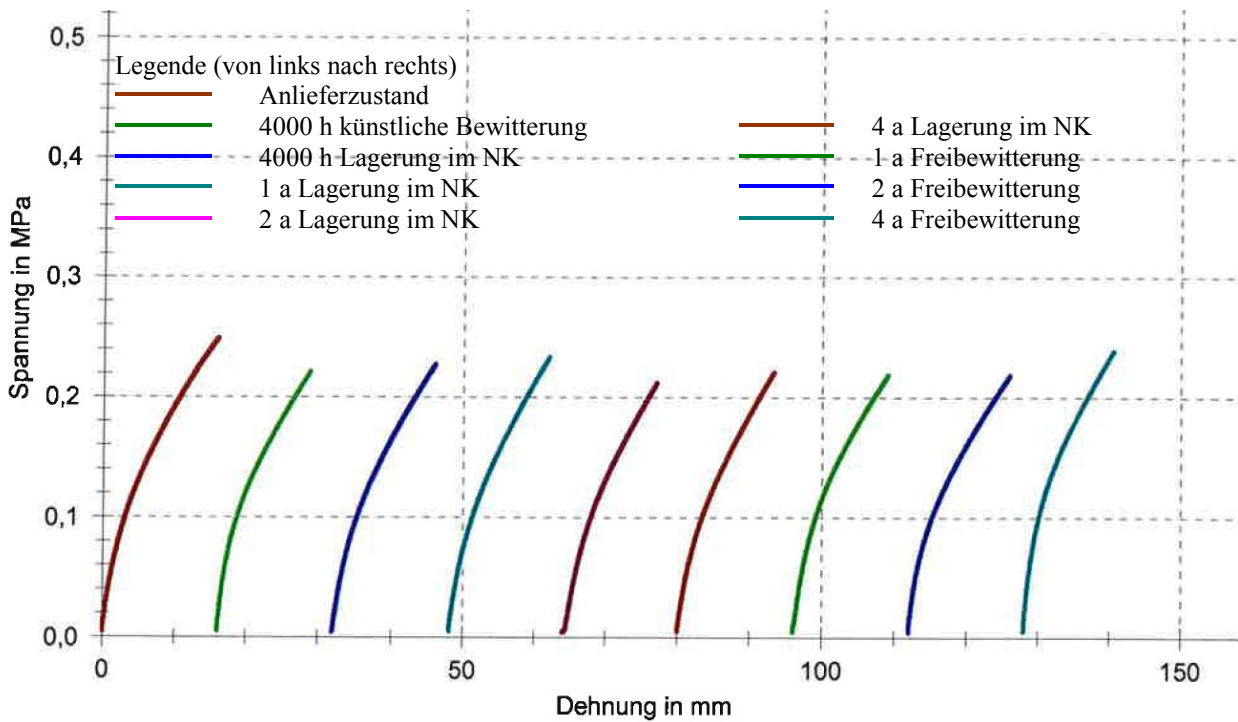


Bild 108: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid grau)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

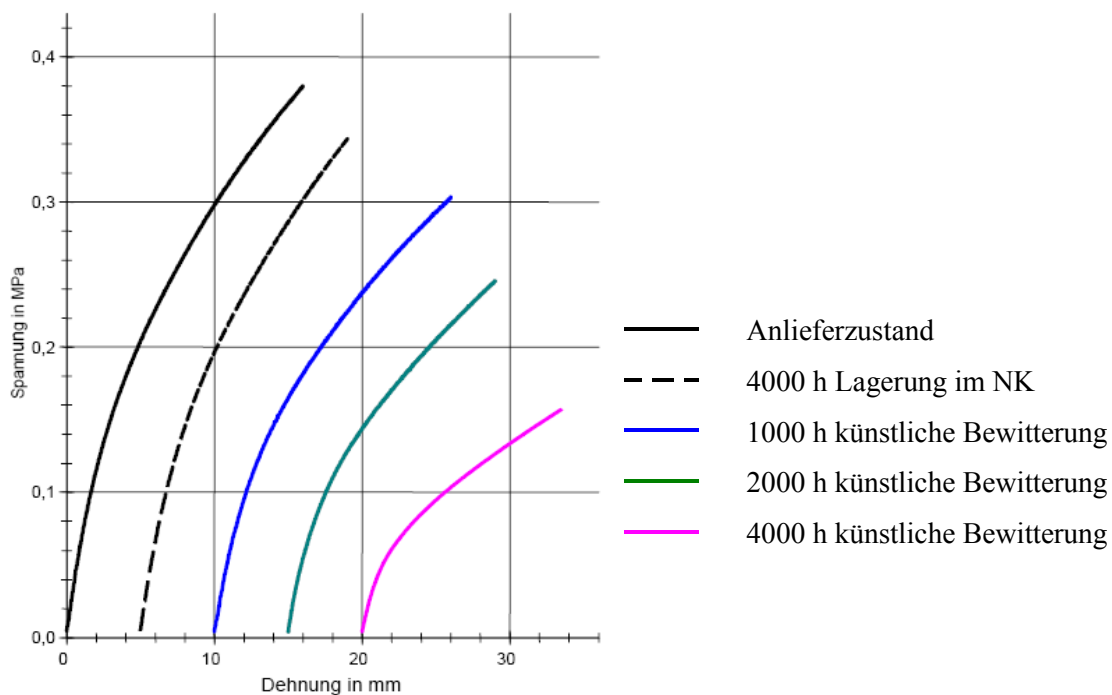


Bild 109: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid grau)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

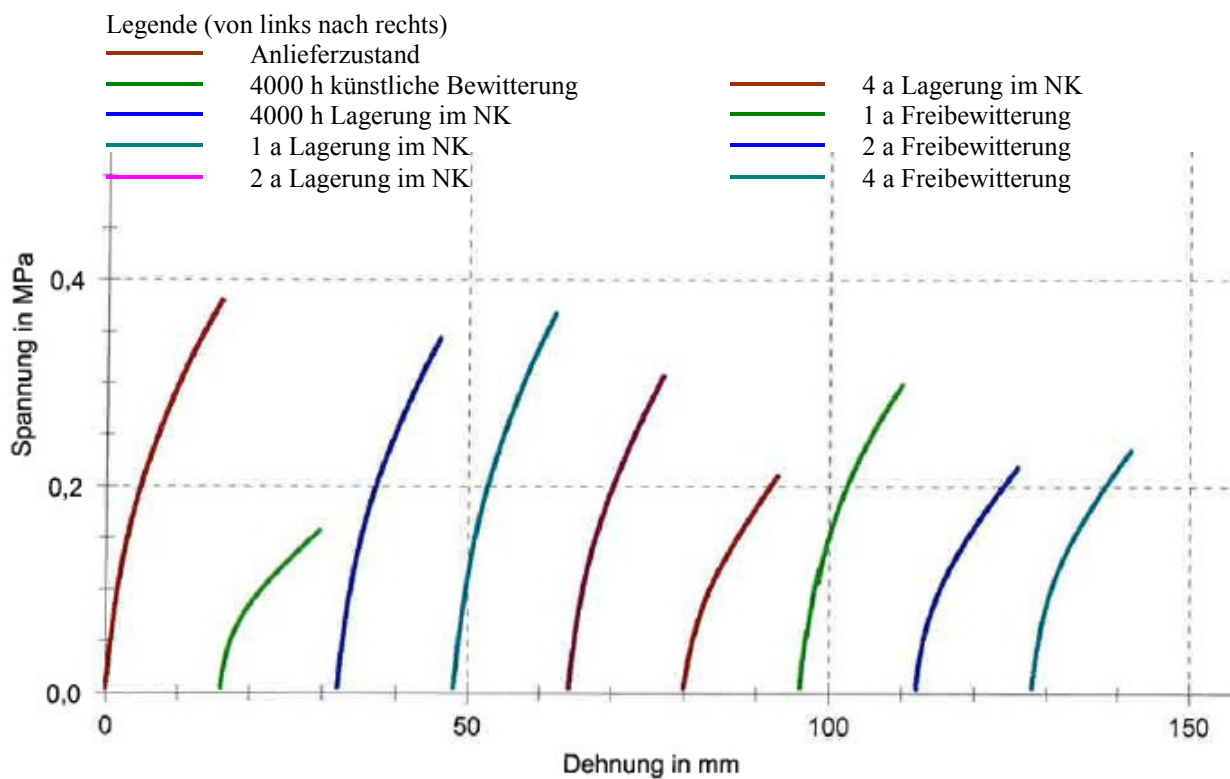


Bild 110: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid grau)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

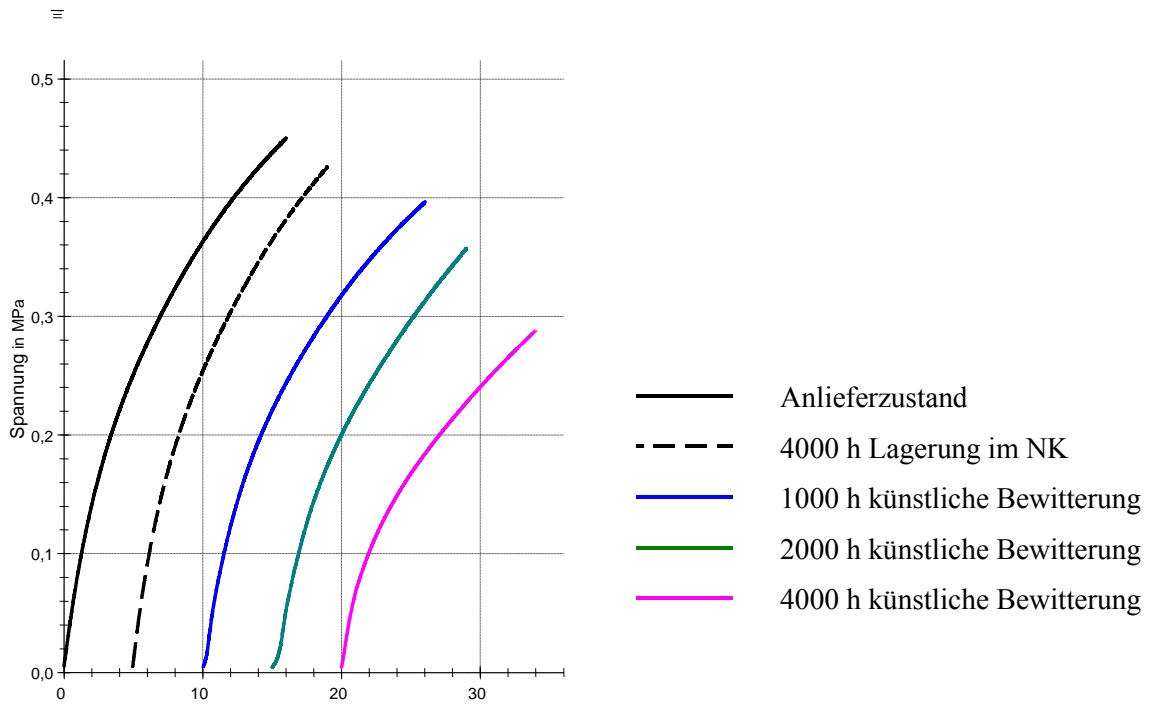


Bild 111: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

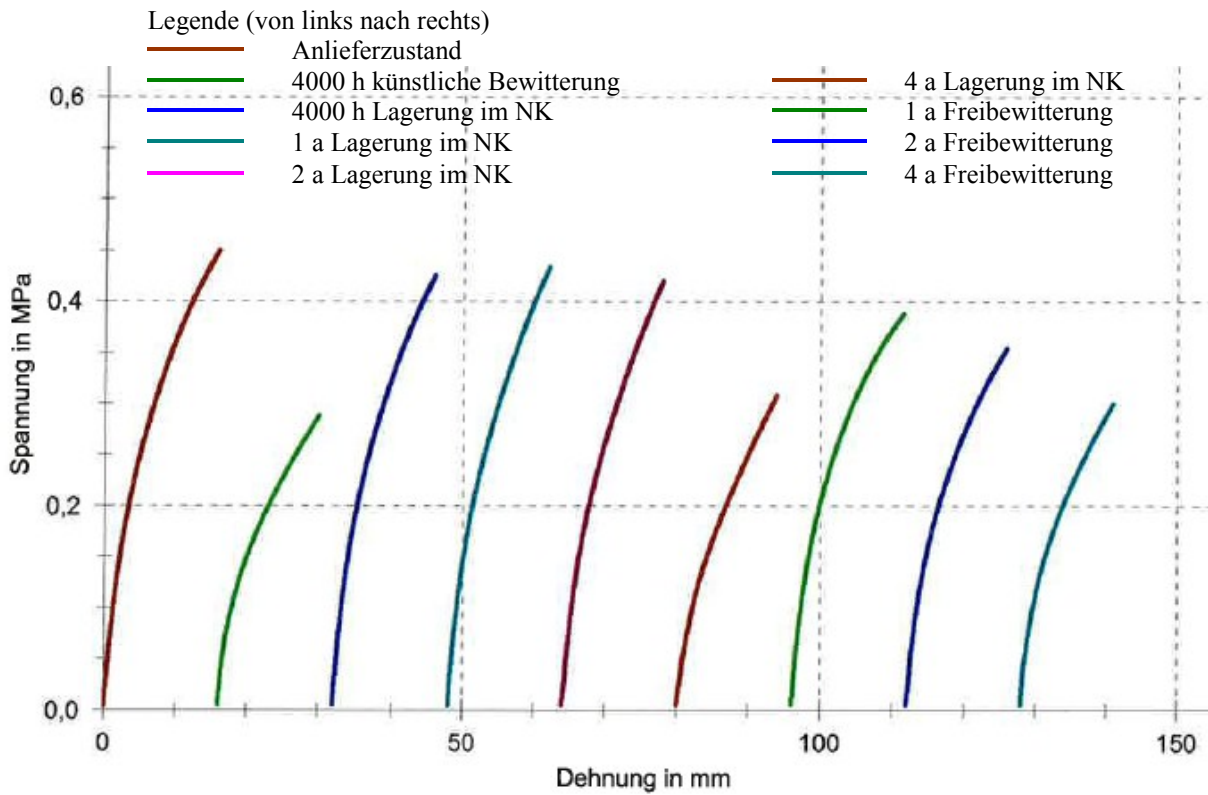


Bild 112: Fugendichtstoff 3 (Polysulfid schwarz)
Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

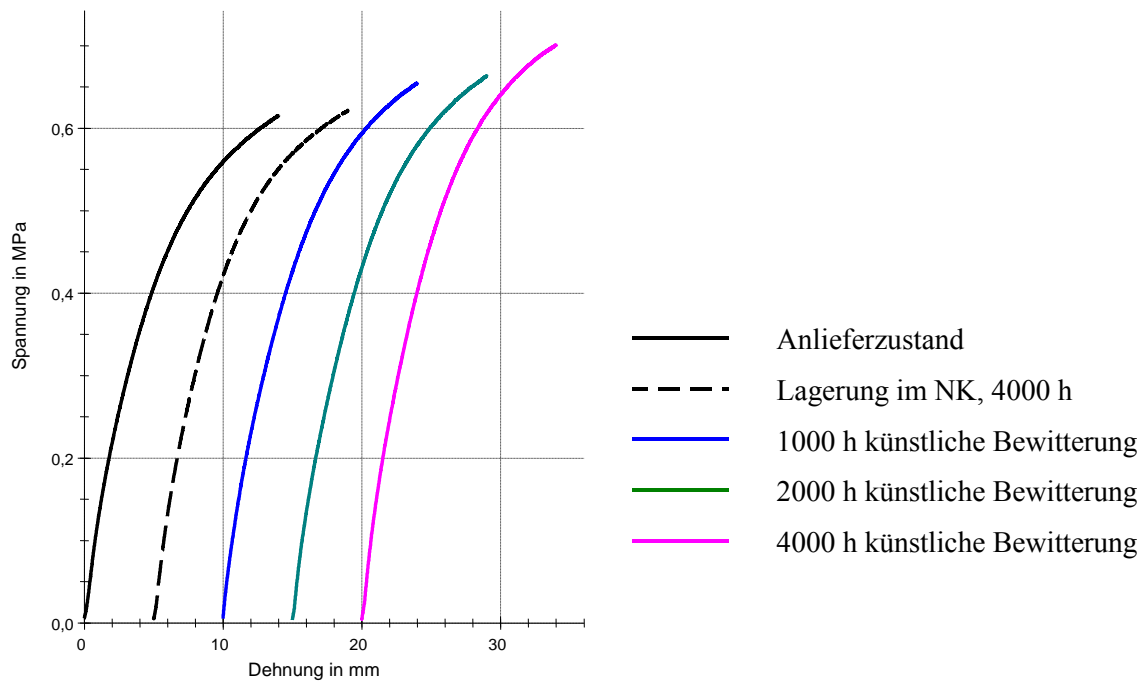


Bild 113: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)

Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

Legende (von links nach rechts)

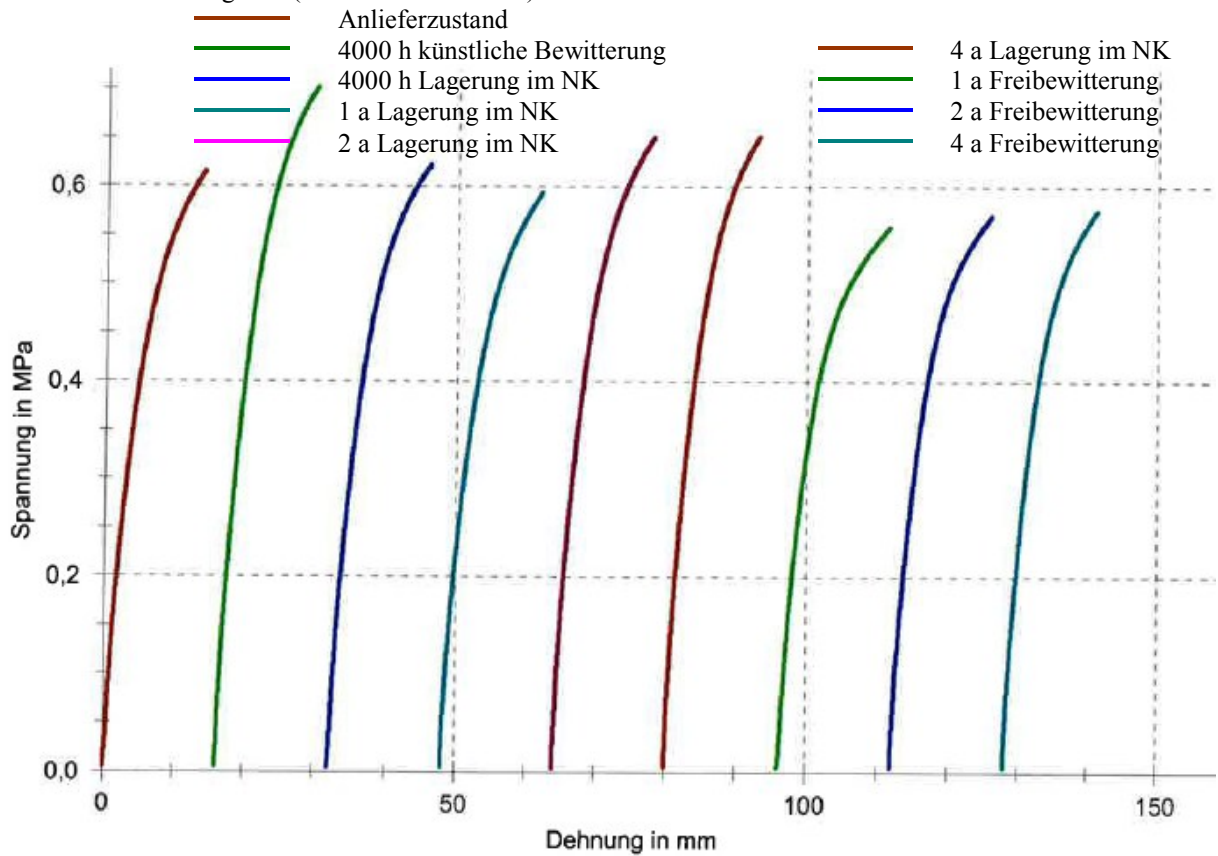


Bild 114: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau)

Spannungs-/Dehnungsdiagramme im Anlieferzustand sowie nach Alterung

4.3.2 Zugspannungswerte bei bestimmten Prüfdehnungen

Die Zugspannungswerte bei einer Prüfdehnung von 100 % (entspricht einer Verformung um 12 mm von 12 mm auf 24 mm) sind in der Tabelle 8 gegenübergestellt.

Fugendichtstoff	Probekörper Lagerung Beanspruchung	Betonprobekörper (ungedehnt)	Folie (ungedehnt)
		Zugspannungswert bei 100 % Dehnung (MPa)	
FDS 1 Polysulfid grau	1000 h Normalklima	0,21	0,17
	1000 h künstliche Bewitterung	0,20	0,18
	2000 h Normalklima	0,21	0,17
	2000 h künstliche Bewitterung	0,20	0,17
	4000 h Normalklima	0,21	0,18
	4000 h künstliche Bewitterung	0,21	0,18
	1 Jahr Normalklima	0,22	0,18
	1 Jahr Freibewitterung	0,21	0,16
	2 Jahre Normalklima	0,21	0,17
	2 Jahre Freibewitterung	0,20	0,16
	4 Jahre Normalklima	0,21	0,15
	4 Jahre Freibewitterung	0,23	0,17
FDS 2 Polysulfid grau	1000 h Normalklima	0,33	0,29
	1000 h künstliche Bewitterung	0,27	0,19
	2000 h Normalklima	0,33	0,27
	2000 h künstliche Bewitterung	0,22	0,13
	4000 h Normalklima	0,32	0,27
	4000 h künstliche Bewitterung	0,14	0,12
	1 Jahr Normalklima	0,34	0,21
	1 Jahr Freibewitterung	0,27	0,20
	2 Jahre Normalklima	0,29	0,17
	2 Jahre Freibewitterung	0,25	0,20
	4 Jahre Normalklima	0,20	0,17
	4 Jahre Freibewitterung	0,21	0,13

Fugendichtstoff	Probekörper Lagerung Beanspruchung	Betonprobekörper (ungedehnt)	Folie (ungedehnt)
		Zugspannungswert bei 100 % Dehnung (MPa)	
FDS 3 Polysulfid schwarz	1000 h Normalklima	0,39	0,34
	1000 h künstliche Bewitterung	0,34	0,28
	2000 h Normalklima	0,39	0,33
	2000 h künstliche Bewitterung	0,31	0,22
	4000 h Normalklima	0,39	0,35
	4000 h künstliche Bewitterung	0,25	0,17
	1 Jahr Normalklima	0,4	0,30
	1 Jahr Freibewitterung	0,34	0,29
	2 Jahre Normalklima	0,36	0,24
	2 Jahre Freibewitterung	0,32	0,23
	4 Jahre Normalklima	0,28	0,23
	4 Jahre Freibewitterung	0,28	0,19
FDS 6 Polyurethan grau	1000 h Normalklima	0,59	0,55
	1000 h künstliche Bewitterung	0,63	0,58
	2000 h Normalklima	0,59	0,58
	2000 h künstliche Bewitterung	0,64	0,59
	4000 h Normalklima	0,6	0,62
	4000 h künstliche Bewitterung	0,67	0,64
	1 Jahr Normalklima	0,57	0,57
	1 Jahr Freibewitterung	0,52	0,62
	2 Jahre Normalklima	0,62	0,58
	2 Jahre Freibewitterung	0,55	0,51
	4 Jahre Normalklima	0,64	0,60
	4 Jahre Freibewitterung	0,56	0,65

Tabelle 8: Zugspannungswerte an Betonprobekörpern und an Folien bei einer Prüfdehnung von 100 %

Der Verlauf der Zugspannungswerte bei einer Dehnung von 100 % ist in Abhängigkeit der Vorbeanspruchung (gestaucht, ungedehnt, gedehnt) sowie der Art und Dauer der Beanspruchung für jeden Dichtstoff getrennt in Bild 115 bis Bild 118 dargestellt.

Bild 119 zeigt den Verlauf der Zugspannungswerte bei 100 % Dehnung an ungedehnten Probekörpern für alle Dichtstoffe in Abhängigkeit der Art und Dauer der Beanspruchung.

Der Verlauf der Zugspannungswerte bei einer Dehnung von 100 % der ungedehnten Probekörper ist in Abhängigkeit der Art und Dauer der Beanspruchung für jeden Dichtstoff getrennt in Bild 120 bis Bild 123 dargestellt. Dabei wurde auf der Zeitachse 1000 h künstliche Bewitterung einer einjährigen Freibewitterung gleichgesetzt.

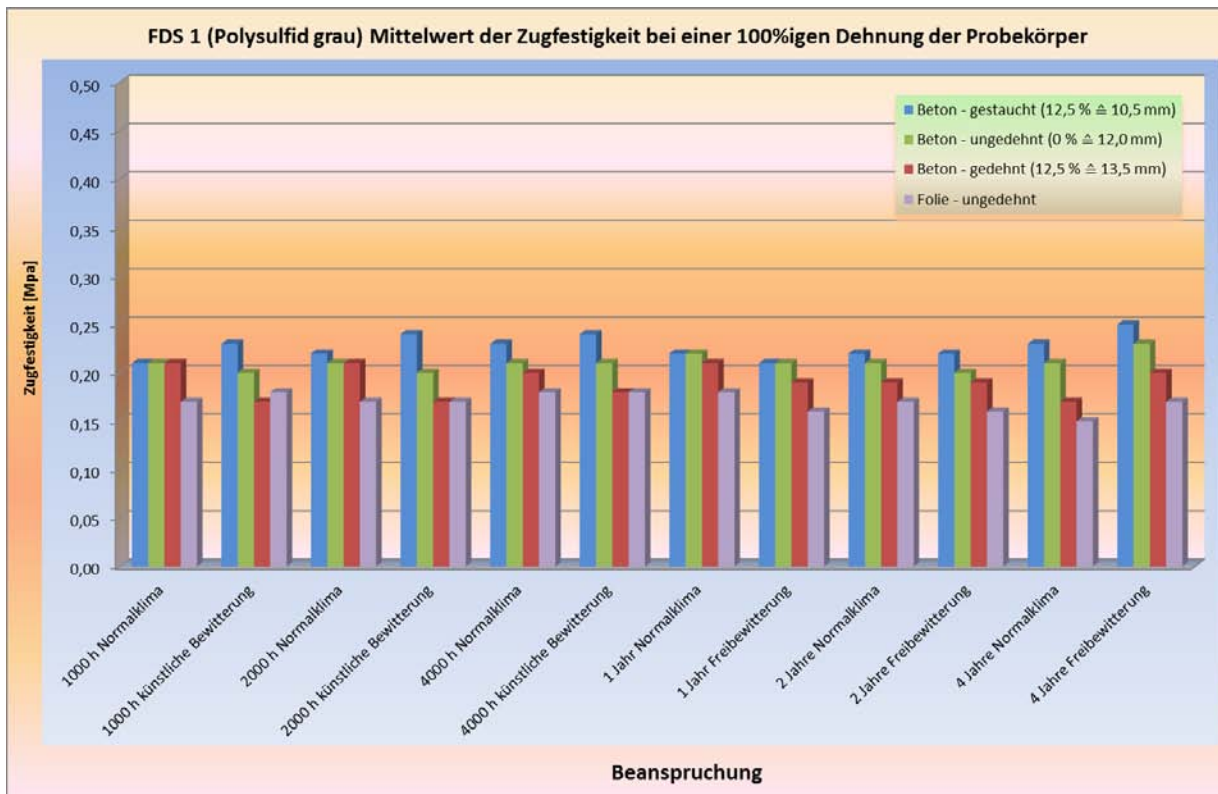


Bild 115: Fugendichtstoff 1 (Polysulfid grau)
Zugfestigkeit bei einer 100%igen Dehnung in Abhängigkeit der Beanspruchung

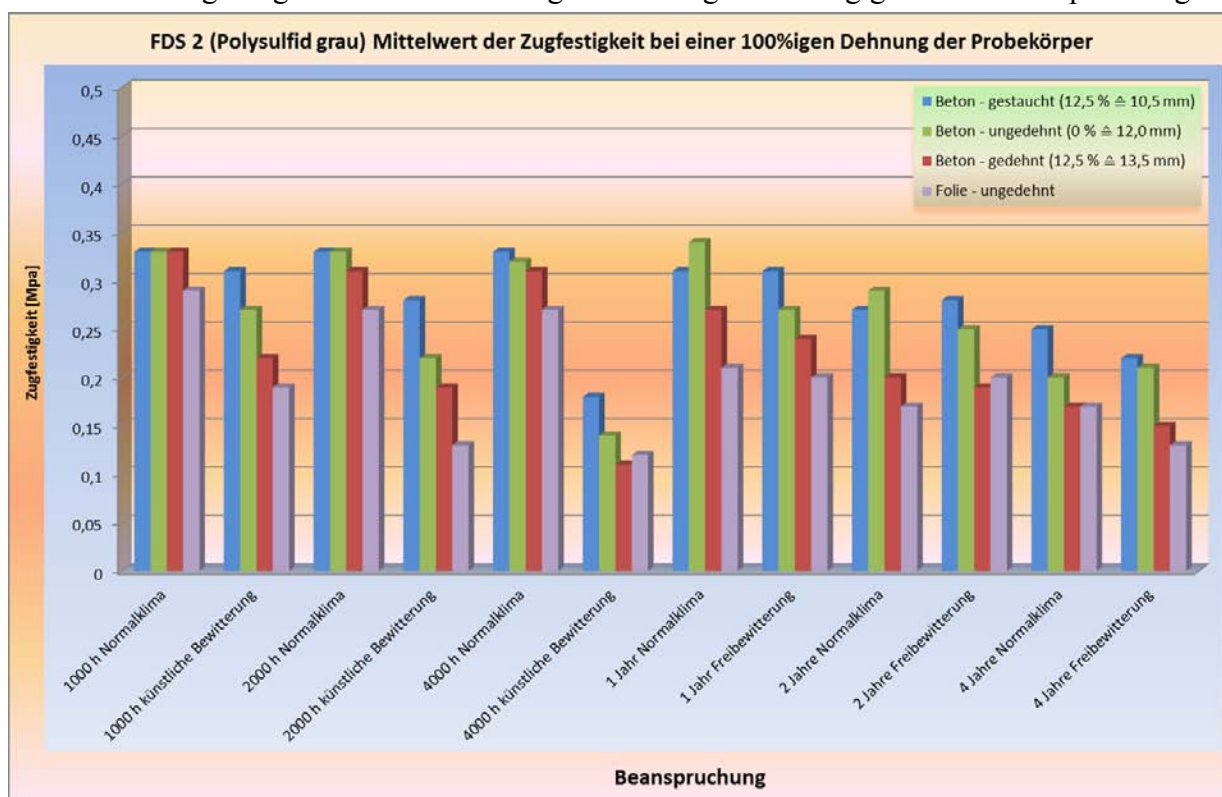


Bild 116: Fugendichtstoff 2 (Polysulfid grau)
Zugfestigkeit bei einer 100%igen Dehnung in Abhängigkeit der Beanspruchung

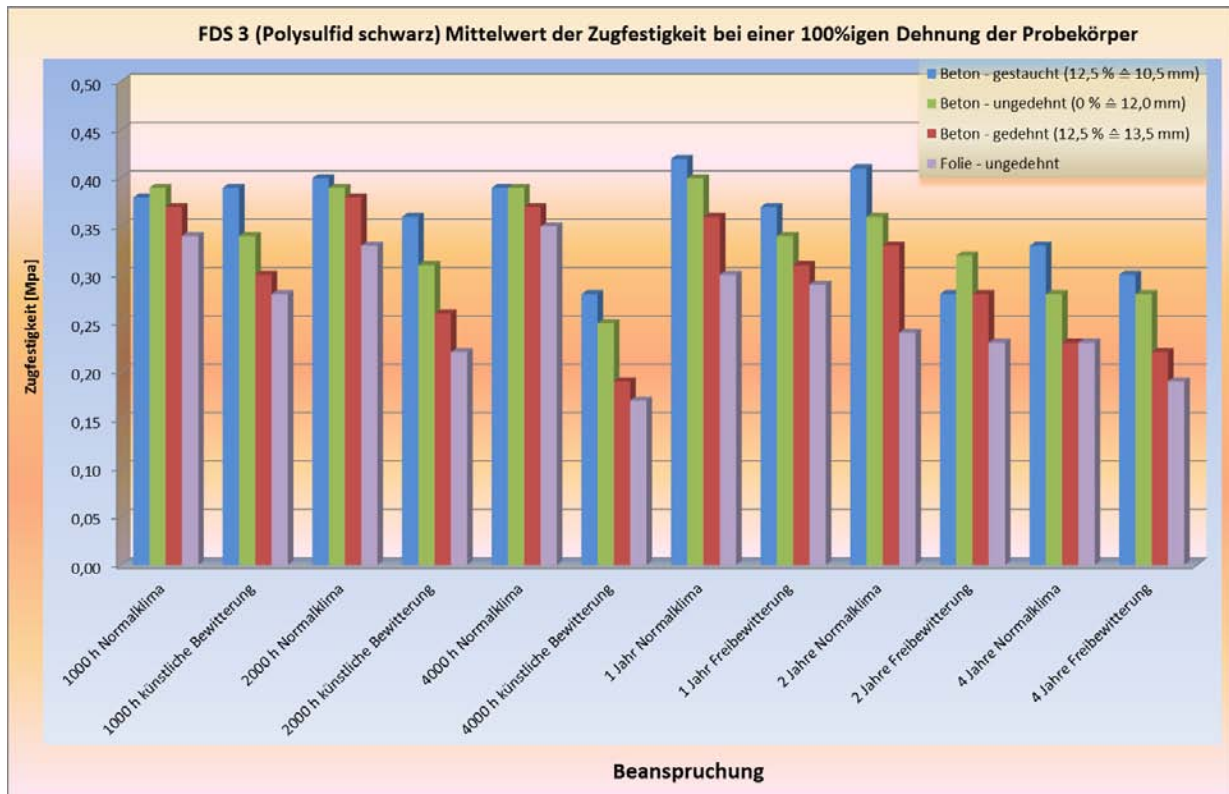


Bild 117: Fugendichtstoffe 3 (Polysulfid schwarz) Zugfestigkeit bei einer 100%igen Dehnung in Abhängigkeit der Beanspruchung

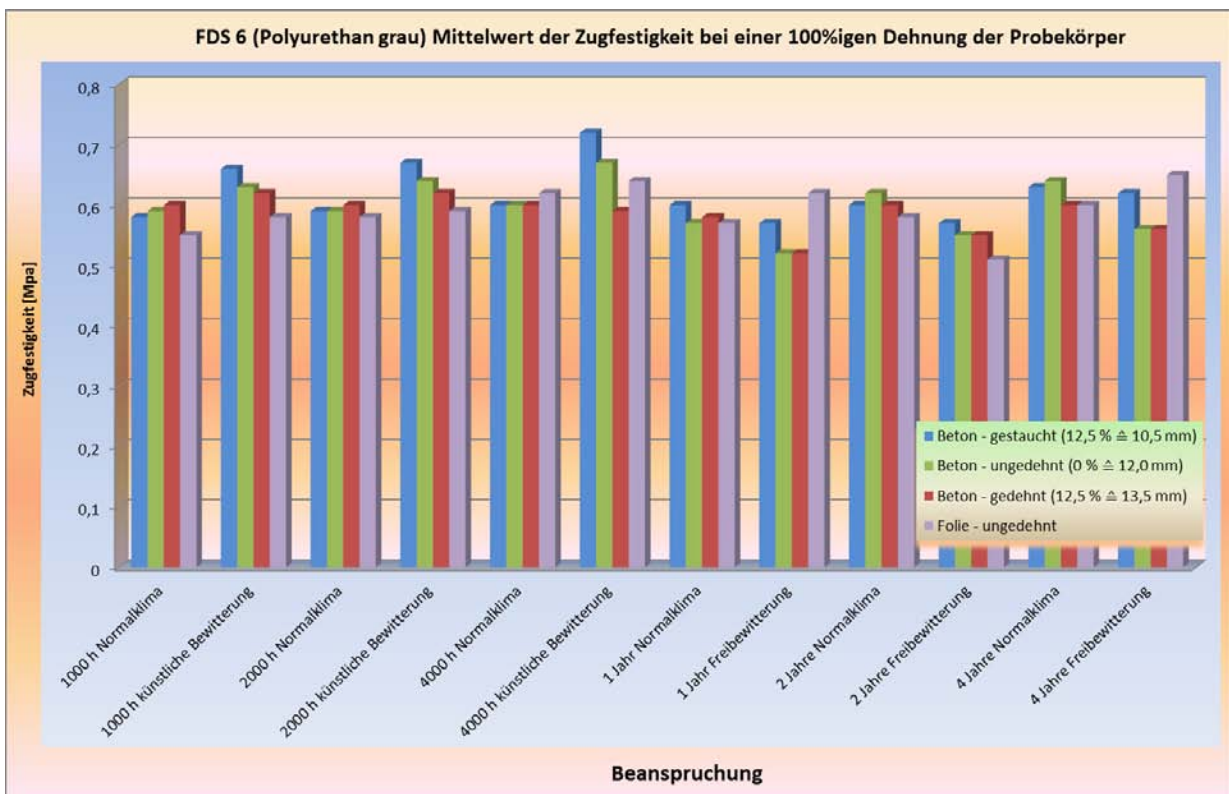


Bild 118: Fugendichtstoff 6 (Polyurethan grau) Zugfestigkeit bei einer 100%igen Dehnung in Abhängigkeit der Beanspruchung

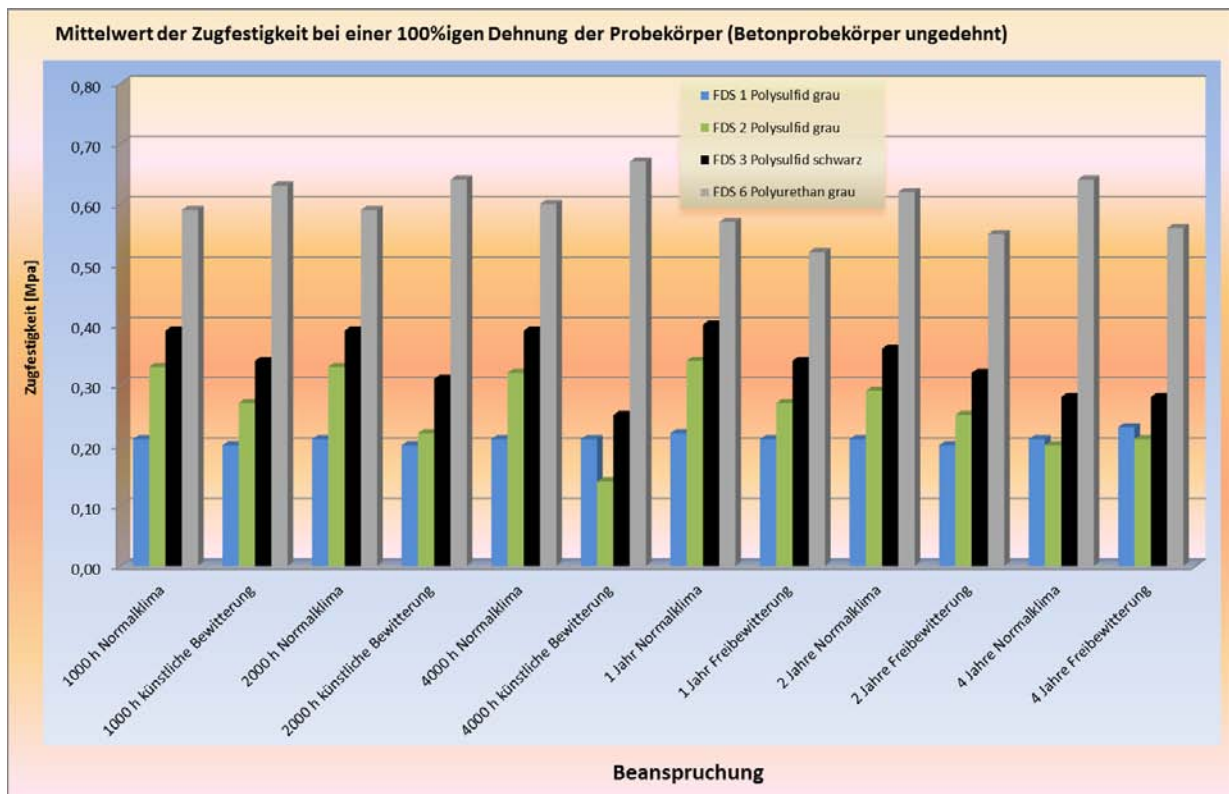


Bild 119: Fugendichtstoffe 1, 2, 3 und 6
Zugfestigkeit bei einer 100%igen Dehnung in Abhängigkeit der Beanspruchung

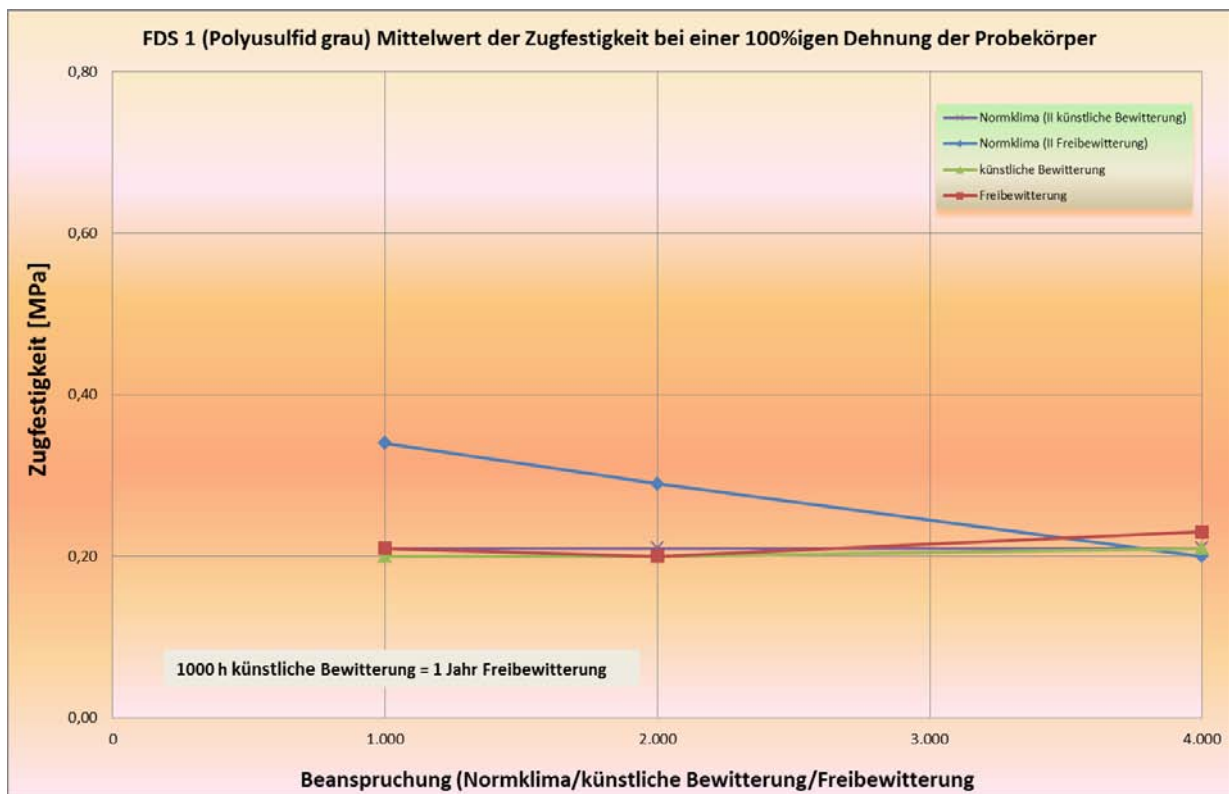


Bild 120: Fugendichtstoffe 1
Zugfestigkeit bei einer 100%igen Dehnung in Abhängigkeit der Art und Dauer der Beanspruchung

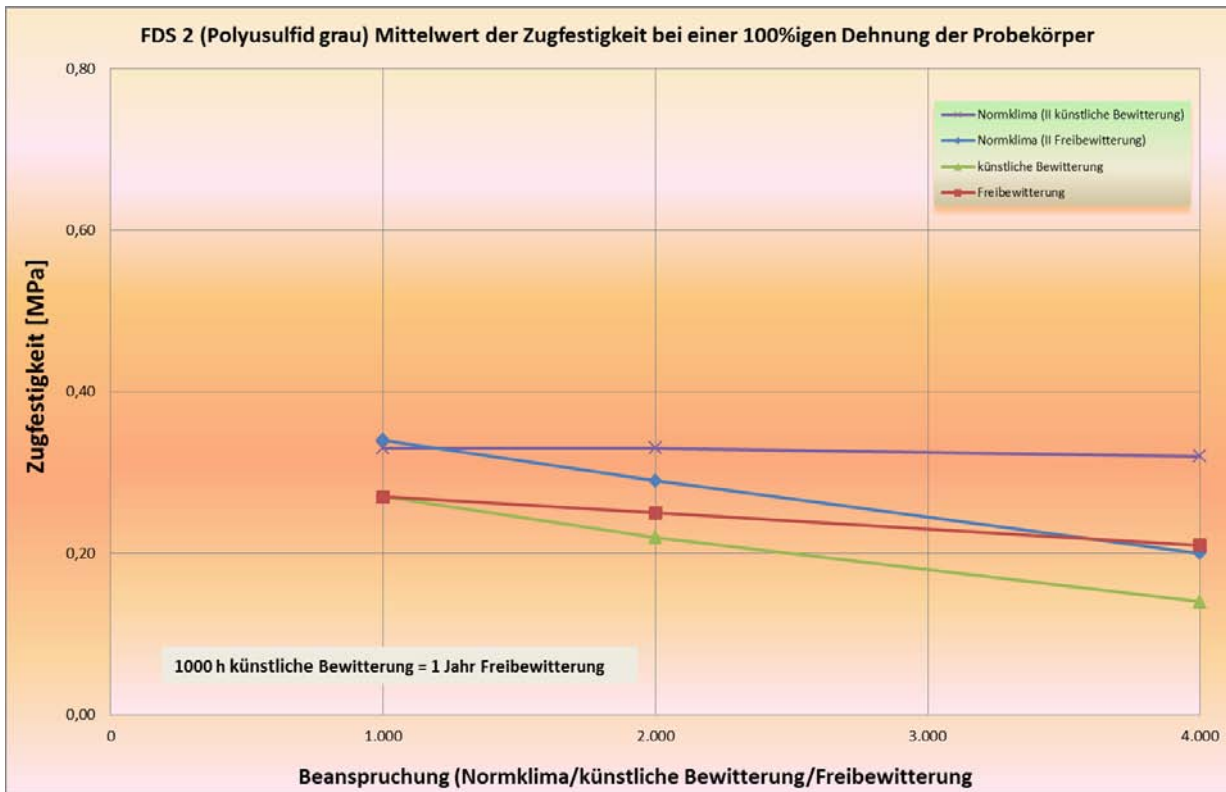


Bild 121: Fugendichtstoffe 2
Zugfestigkeit bei einer 100%igen Dehnung in Abhängigkeit der Art und Dauer der Beanspruchung

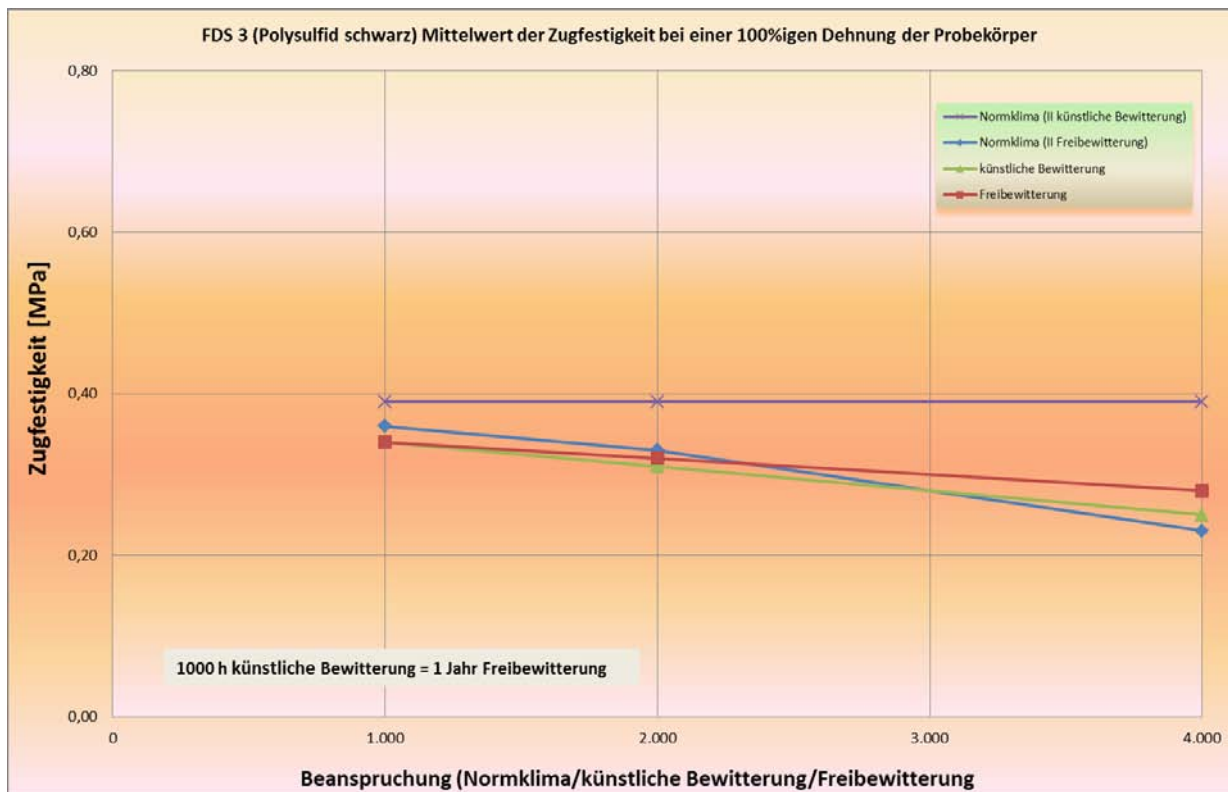


Bild 122: Fugendichtstoffe 3
Zugfestigkeit bei einer 100%igen Dehnung in Abhängigkeit der Art und Dauer der Beanspruchung

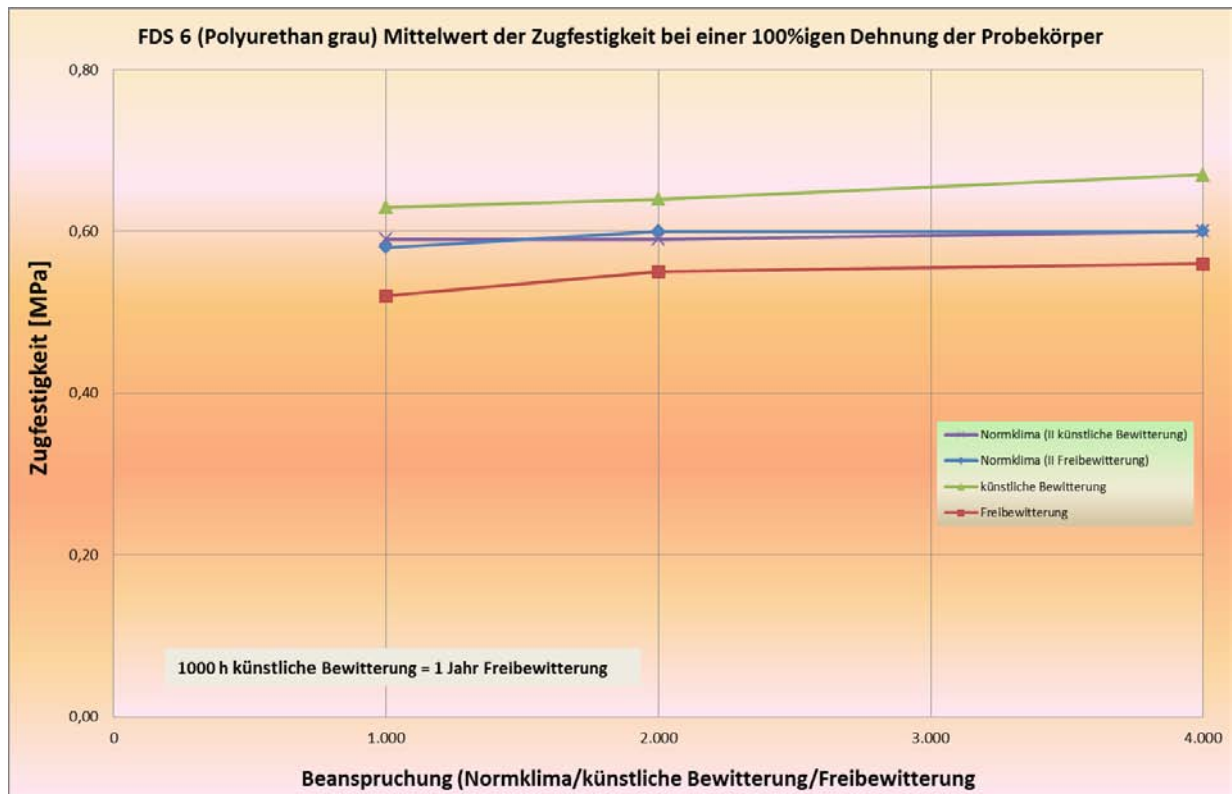


Bild 123: Fugendichtstoffe 6
Zugfestigkeit bei einer 100%igen Dehnung in Abhängigkeit der Art und Dauer der Beanspruchung

4.4 Shore A-Härte

Die Ergebnisse der Shore A-Härte-Messungen sind in der Tabelle 9, der Verlauf der Shore A-Härte in Abhängigkeit der Beanspruchungsart und -dauer in Bild 124 bis Bild 128 dargestellt.

Lagerungs- dauer [h]	Lagerung Beanspruchung	FDS 1	FDS 2	FDS 3	FDS 6
0	Ausgangswerte (ohne Beanspruchung)	18	20	24	31
1.000	Normalklima	12	20	23	33
	künstliche Bewitterung, bestrahlte Proben- seite	13	15	21	34
	künstliche Bewitterung, Probenrückseite (nicht bestrahlt)	14	15	21	32
2.000	Normalklima	12	19	23	32
	künstliche Bewitterung, bestrahlte Proben- seite	13	12	16	37
	künstliche Bewitterung, Probenrückseite (nicht bestrahlt)	13	11	17	34
4.000	Normalklima	12	17	24	33
	künstliche Bewitterung, bestrahlte Proben- seite	14	10	16	37
	künstliche Bewitterung, Probenrückseite (nicht bestrahlt)	14	7	11	34
1 Jahr	Normalklima	14	16	22	33
	Freibewitterung, bestrahlte Probenseite	13	16	21	34
	Freibewitterung, Probenrückseite (nicht bestrahlt)	13	15	22	34
2 Jahre	Normalklima	12	12	18	34
	Freibewitterung, bestrahlte Probenseite	11	12	15	28
	Freibewitterung, Probenrückseite (nicht bestrahlt)	12	11	16	32
4 Jahre	Normalklima	11	10	15	35
	Freibewitterung, bestrahlte Probenseite	12	9	12	34
	Freibewitterung, Probenrückseite (nicht bestrahlt)	14	8	13	33

Tabelle 9: Shore A-Härte in Abhängigkeit der Beanspruchung

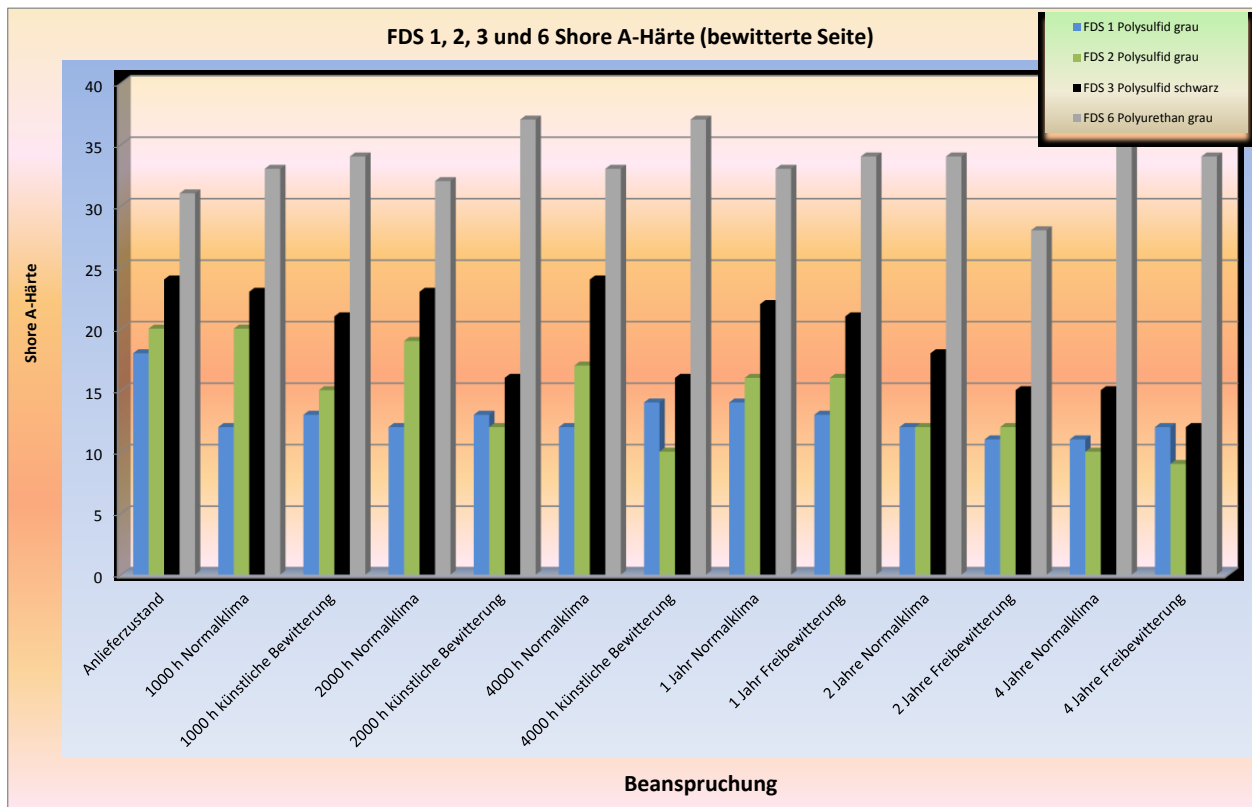


Bild 124: Fugendichtstoffe 1, 2, 3 und 6
Abhängigkeit der Shore A-Härte (auf der beanspruchten Oberfläche) von der Art und Dauer der Beanspruchung

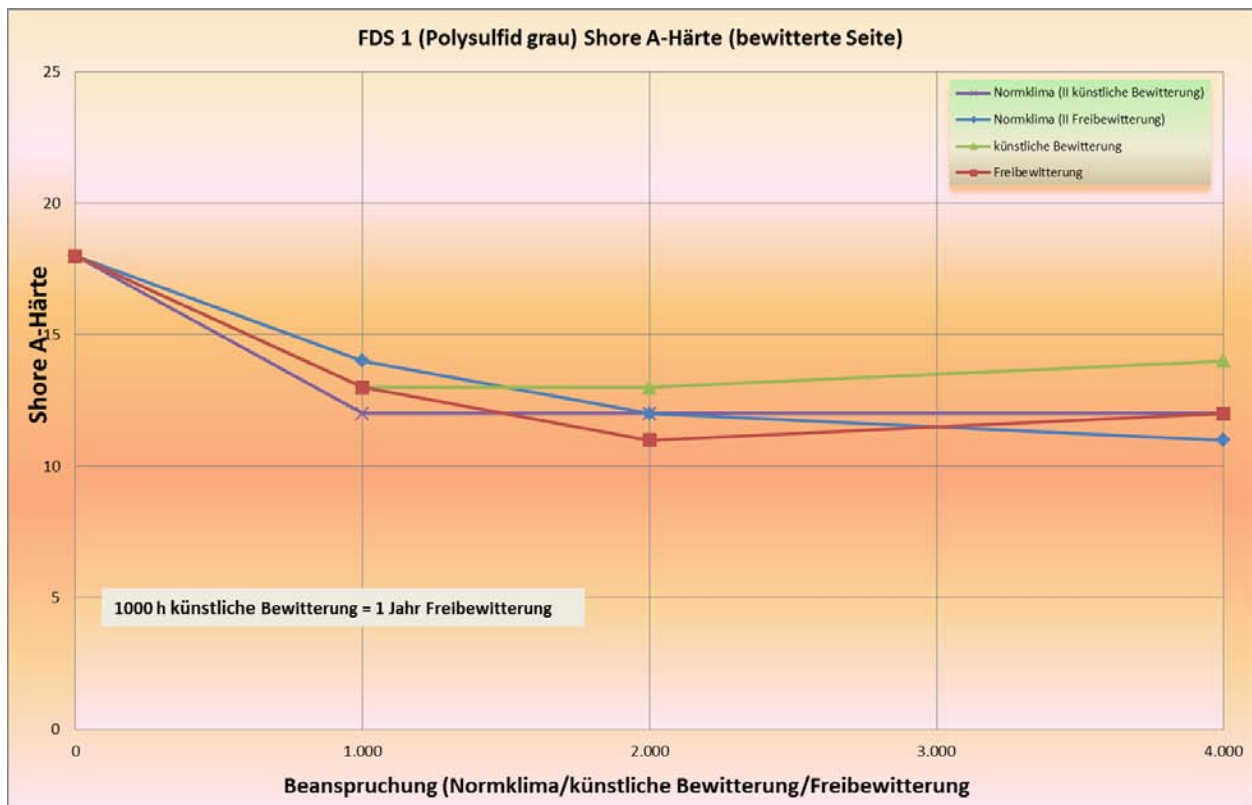


Bild 125: Fugendichtstoff 1
Abhängigkeit der Shore A-Härte (auf der beanspruchten Oberfläche) von der Art und Dauer der Beanspruchung

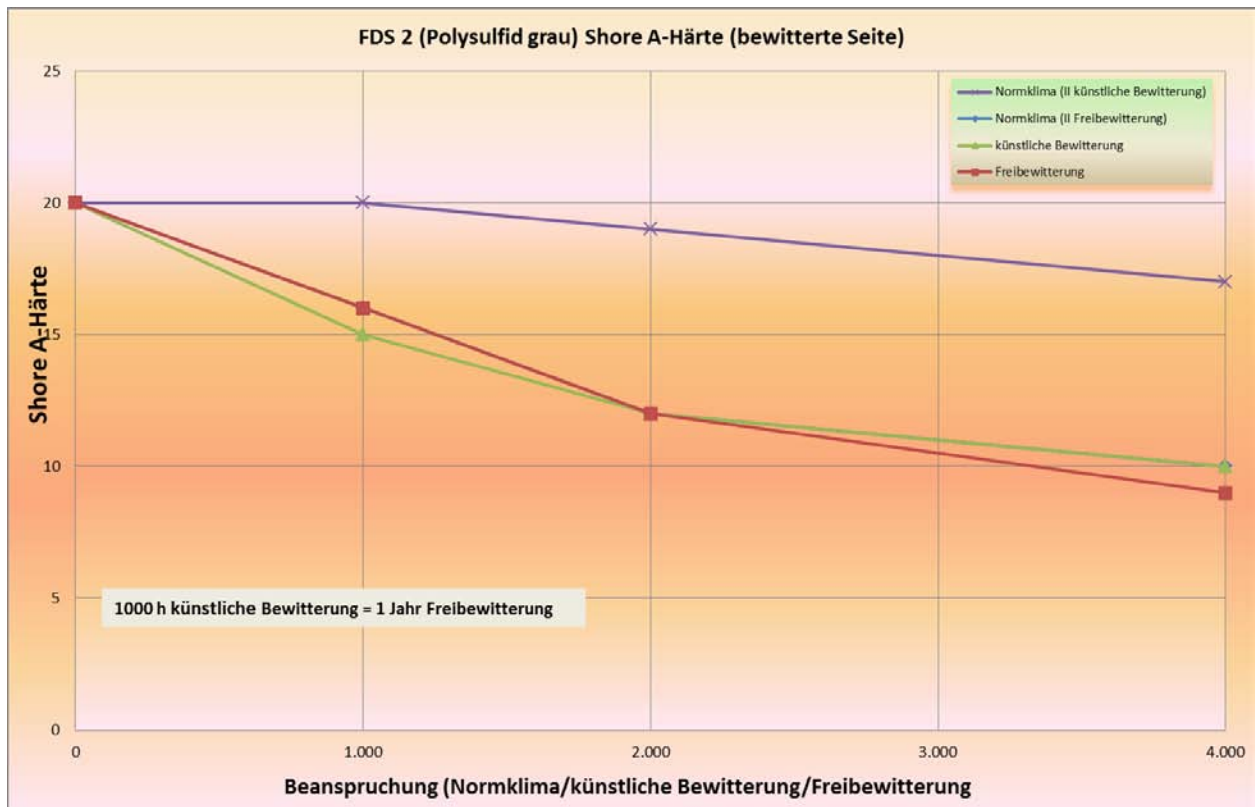


Bild 126: Fugendichtstoff 2
 Abhängigkeit der Shore A-Härte (auf der beanspruchten Oberfläche) von der Art und Dauer der Beanspruchung

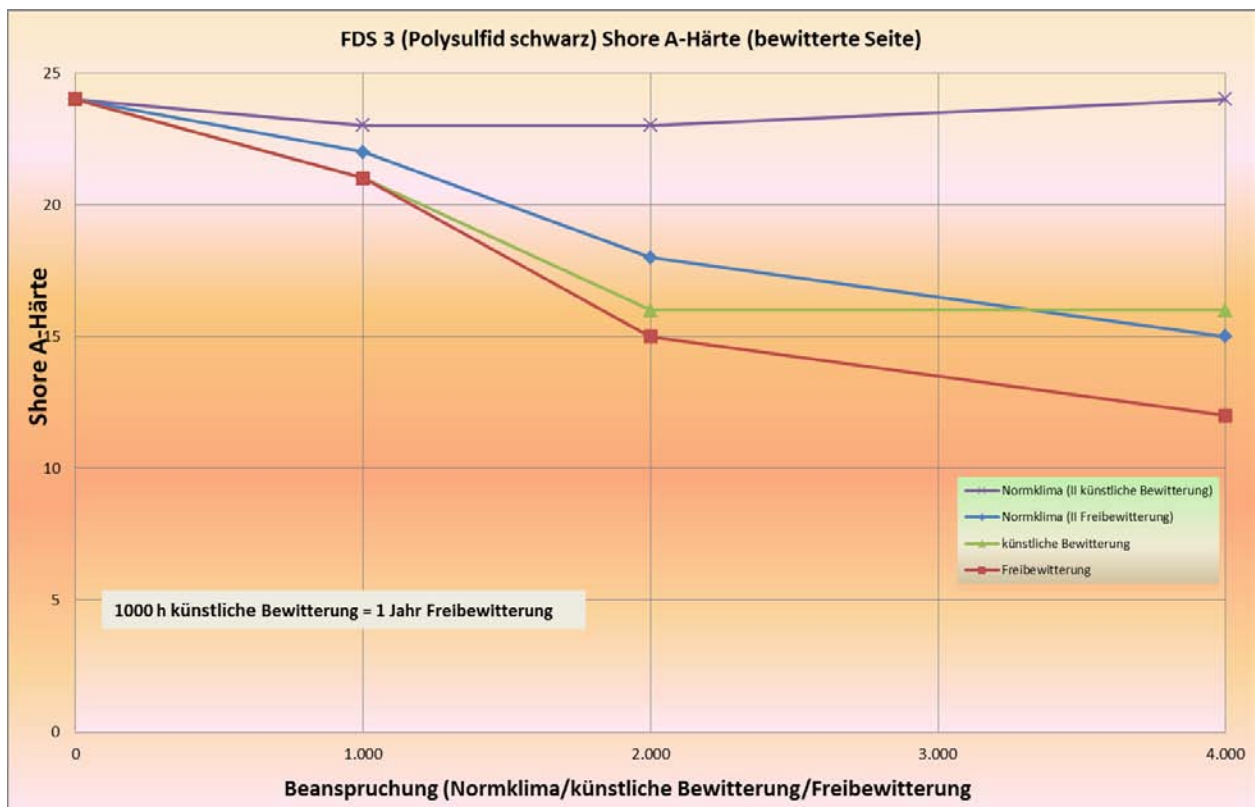


Bild 127: Fugendichtstoff 3
 Abhängigkeit der Shore A-Härte (auf der beanspruchten Oberfläche) von der Art und Dauer der Beanspruchung

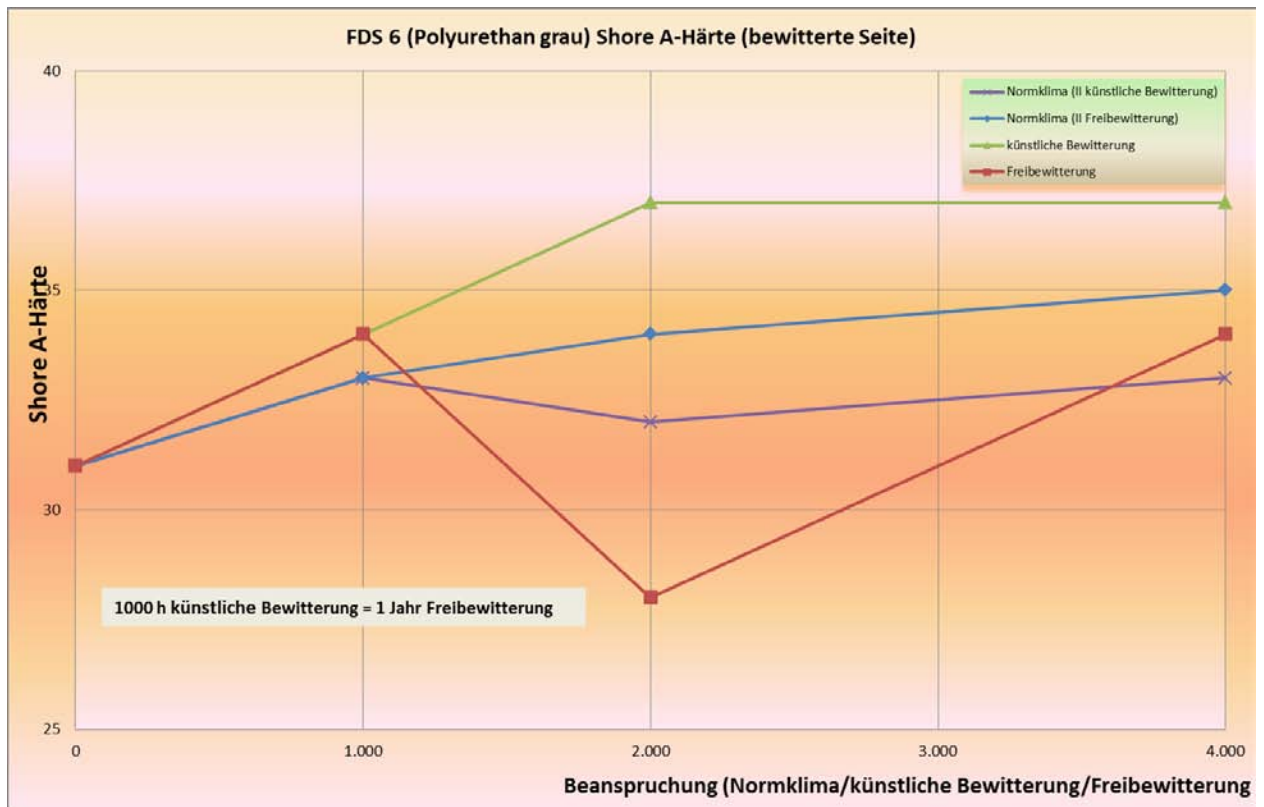


Bild 128: Fugendichtstoff 6

Abhängigkeit der Shore A-Härte (auf der beanspruchten Oberfläche) von der Art und Dauer der Beanspruchung

5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Laborprüfungen

Nach den durchgeführten künstlichen Bewitterungsversuchen bis zu einer Gesamtbestrahlung von 4.000 Stunden sowie der bis zu vierjährigen 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.

6 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“ [1] 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 [3] 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 [1] 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 Normalklima 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 [1] und in der CUAP [5] 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.

7 Literatur

- [1] Zulassungsgrundsätze "Fugenabdichtungssysteme in LAU-Anlagen; Teil 1 - Fugendichtstoffe; Fugenabdichtungssysteme in Anlagen aus Beton zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe (LAU-Anlagen)", Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Fassung Dezember 2003
- [2] DIN EN 14188-2:2005-03 "Fugeneinlagen und Fugenmassen - Teil 2: Anforderungen an kalt verarbeitbare Fugenmassen"
- [3] DIN EN ISO 11431:2003-01 "Hochbau - Fugendichtstoffe - Bestimmung des Haft- und Dehnverhaltens von Dichtstoffen nach Einwirkung von Wärme, Wasser und künstlichem Licht durch Glas"
- [4] EOTA Technical Report TR 010 "Exposure procedure for artificial weathering", Edition May 2004
- [5] CUAP "Fugendichtstoff-Abdichtungssysteme in Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Flüssigkeiten", ETA request No. 06.05/11
- [6] „Durability of Building Sealants“, State-of-the-Art Report 21 of RILEM Technical Committee 139-DBS „Durability of sealants“, Edited by A. T. Wolf, 1999 RILEM Publications S.A.R.L.
- [7] „Durability Testing of Sealants“, A. T. Wolf, Sealant Technology Conference, Oxford Brooks University, 13 October 2004
- [8] RILEM 2001, 'RILEM TC 139-DBS: „Durability of Building Sealants Durability test method - Determination of changes in adhesion, cohesion and appearance of elastic weatherproofing sealants for high movement façade joints after exposure to artificial weathering“
- [9] Recommendation of RILEM TC 190-SBJ: „Service-life prediction of sealed building and construction joints: Durability test method: determination of changes in adhesion, cohesion and appearance of elastic weatherproofing sealants after exposure of statically cured specimens to artificial weathering and mechanical cycling“, Materials and structures 2008, vol. 41, no. 9, pp. 1497-1508
- [10] Jones, T.G.B., Hutchinson, A.R. & Wolf, A.T. 2001, „Experimental results obtained with proposed RILEM durability test method for curtain wall sealants“, Materials and Structures, 34(5), pp. 332-341.
- [11] Miyauchi, H. et al „Artificial Weathering and Cyclic Movement Test Results Based on the RILEM TC139-dbs Durability Test Method for Construction Sealants“, Journal of ASTM International (JAI), Volume 1, Issue 7 (July/August 2004)
- [12] Miyauchi, H. et al „Development of an automated artificial ageing test apparatus for sealants and comparison with outdoor exposure testing“, 11th International Conference on the Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkey, May 11-14, 2008, pp. 1-10
- [13] Enrico Pozzi, Valerio Carcano, Antonio Ausilio, „AN ATTEMPT TO FIND A CORRELATION BETWEEN ENVIRONMENTAL AND ACCELERATED WEATHERING ACCORDING TO RILEM TC 139-DBS IN POLYURETHANES ONE COMPONENT SEALANTS APPLIED ON CONCRETE“, Third Symposium on Durability of Building Construction Sealants and Adhesives, June 25-26, 2008, Denver, CO
- [14] A. T. Wolf, H. Bolte and T. Böttger „ATTEMPTS AT CORRELATING ACCELERATED LABORATORY AND NATURAL OUTDOOR AGEING RESULTS“, in: Du-

- rability of Building Sealants, State-of-the-Art Report of RILEM Technical committee 139-DBS, Durability of Sealants, Report 21, A.T. Wolf, Ed., RILEM, Cachan, FR, pp. 181-202 [6]
- [15] ISO 13640:1999-12 " Building construction -- Jointing products -- Specifications for test substrates"
- [16] DIN EN ISO 527-3:2003-07 "Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln"
- [17] DIN EN ISO 291:2006-02 "Kunststoffe - Normalklimate für Konditionierung und Prüfung"
- [18] DIN EN ISO 4892-2:2006-06 "Kunststoffe - Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten - Teil 2: Xenonbogenlampen"
- [19] DIN EN ISO 105-B01:1999-10 "Textilien - Farbechtheitsprüfungen - Teil B01: Farbechtheit gegen Licht: Tageslicht"
- [20] ISO 5893:2002-07 "Prüfeinrichtungen für Elastomere und Kunststoffe - Zug-, Biege- und Druckprüfmaschinen mit konstanter Geschwindigkeit - Beschreibung"
- [21] DIN 53505:2000-08 "Prüfung von Kautschuk und Elastomeren - Härteprüfung nach Shore A und Shore D"