

Postfach, D-52056 Aachen
Schinkelstraße 3, D-52062 Aachen

Telefon:

Vermittlung (02 41) 80-9 51 00

Durchwahl (02 41) 80-9 51 35

Telefax (02 41) 80-9 21 39

eMail:

schmidt@ibac.rwth-aachen.de

www.ibac.rwth-aachen.de

Datum 14.01.2004

US/Fk-F 778

(f-778-kb-us.doc)

KURZBERICHT

F 778

DAUERHAFTIGKEIT VON INSTANDSETZUNGSSYSTEMEN FÜR GERISSENE AUSSENPUTZE

1 ZIELSETZUNG

Eine Putzfassade ist die schützende Außenhaut des Gebäudes. Relativ häufig entstehen – vor allem in Außenputzen – breitere, und damit schädliche Risse. Die auftretenden Rissarten und ihre Ursachen sind vielfältig. Zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit einer gerissenen Putzfassade, wird eine Vielzahl von Putzinstandsetzungssystemen angeboten. Die Leistungsfähigkeit solcher Systeme ist jedoch bislang, wenn überhaupt, nur in unzureichendem Maße beurteilbar. In einer früheren, am Institut für Bauforschung, durchgeführten Forschungsarbeit wurden durch Entwicklung einer praxisgerechten Laborprüfmethode wesentliche Grundlagen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit, i. W. der Rissüberbrückungsfähigkeit, erarbeitet und einige marktübliche Instandsetzungssysteme untersucht.

Die langzeitige Leistungsfähigkeit der Putzinstandsetzungssysteme wird durch klimatische Beanspruchung und durch den zeitabhängigen inneren Spannungsabbau (Relaxation) wesentlich beeinflusst. Diese Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit sind weitgehend unbekannt. Insbesondere kunststoffmodifizierte Baustoffe sind einem Alterungsprozess durch Umwelteinflüsse, besonders durch UV-Strahlung, ausgesetzt, wodurch wichtige Stoffeigenschaften, wie vor allem die Rissüberbrückungsfähigkeit, erheblich verschlechtert werden können.

Ziele der Forschungsarbeit waren die Untersuchung der Einflüsse der Dauerhaftigkeit unter klimatischer Beanspruchung sowie des Relaxationsverhaltens auf die Leistungsfähigkeit von Putzinstandsetzungssystemen und die Erarbeitung eines Berechnungskonzeptes für die Leistungsfähigkeit der Instandsetzungssysteme unter Einbezug aller wichtigen Einflüsse in Form eines einfach zu handhabenden rechnerischen Nachweises, so dass bezogen auf den jeweiligen Rissfall das optimal geeignete Instandsetzungssystem ausgewählt werden kann.

2 LÖSUNGSWEG

In verschiedenen Veröffentlichungen werden zur Bemessung von rissüberbrückenden Beschichtungen (i. d. R. Oberflächenschutzsysteme für Betonbauteile) Berechnungsansätze hergeleitet. Wesentliche Einflussgrößen auf die Leistungsfähigkeit der Beschichtungssysteme sind die zulässige Dehnung der Beschichtung, die Schichtdicke der Systeme und der Elastizitäts- bzw. Schubmodul der Beschichtungen. Die mechanischen Eigenschaften sind i. d. R. hierbei an der Beschichtung selbst, d. h. beispielsweise durch Versuche am freien Film, zu bestimmen.

Eine Anwendung der dargestellten Berechnungsansätze auf Putzinstandsetzungssysteme ist generell denkbar. Die Bestimmung der wesentlichen Eigenschaften muss – auch in Abhängigkeit des verwendeten Systems - mit unterschiedlichen, teilweise noch zu entwickelnden Prüfverfahren erfolgen. Jeder Einzelkennwert unterliegt einem Streubereich, so dass eine rechnerische Abschätzung der Rissüberbrückungsfähigkeit durch einen Bemessungsansatz zum einen von der Streuung der Versuchsparameter, zum anderen von der Genauigkeit des Berechnungsansatzes abhängt. Des Weiteren würde bei dieser Vorgehensweise ein möglicher Einfluss des zu beschichtenden Putzes auf das Instandsetzungssystem und dessen mechanische Eigenschaften unberücksichtigt bleiben.

Die o. g. Überlegungen führten dazu, die Baustoffkenngrößen der Putzinstandsetzungssysteme im Rahmen dieses Forschungsprojektes im applizierten Zustand zu ermitteln, so dass die Leistungsfähigkeit der Systeme direkt durch eine Prüfung bestimmt werden kann. Ein rechnerischer Ansatz ist hierdurch nicht zwingend erforderlich. Bei der Bestimmung der Zugfestigkeit und der Zugbruchverformung im Kurzzeitversuch sowie des Relaxations- bzw. Kriechverhaltens vor und nach künstlicher oder natürlicher Bewitterung, können diese Ergebnisse mit Langzeituntersuchungen zur Rissüberbrückung verglichen werden. Durch die Entwicklung einer praxisgerechten Prüfmethode ist eine direkte Aussage über die Leistungsfähigkeit der Systeme auch unter Berücksichtigung des Relaxationsverhaltens und der Dauerhaftigkeit möglich.

3 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Allgemeines

Im dieser Forschungsarbeit wurden die folgenden 4, in der Baupraxis zur Putzinstandsetzung angewendeten, vom Schichtaufbau, ihrer Zusammensetzung und/oder von ihren mechanischen Eigenschaften grundlegend unterschiedlichen Systeme untersucht:

- Faserbewehrter Leichtputz (System A),
- Textilglasfaserbewehrung mit mineralischem, organisch modifiziertem Armierungsputz (System B),
- Organischer Putz mit einer Beschichtungsdicke von rd. 500 μm (System C),
- Anstrichsystem (System D).

An den verschiedenen Systemen wurden das Zugkraft-Verformungsverhalten unter Kurzzeitbeanspruchung, das Relaxationsverhalten und die Rissüberbrückungsfähigkeit im applizierten Zustand bestimmt - unter Anwendung eines neu entwickelten Prüfverfahrens und dafür besonders geeigneten, ebenfalls neu entwickelten Prüfkörpern. Die für den Anwendungsfall bedeutende Beanspruchung einer Rissbreitenänderung unter Berücksichtigung von Relaxationseinflüssen (Rissüberbrückungsfähigkeit) wurde durch eine stetige, langsame Rissaufweitung simuliert. Eine zyklische Beanspruchung, die eine ausreichende Relaxationszeit berücksichtigt, konnte wegen der zeitlichen Begrenzung der Forschungsarbeit nicht durchgeführt werden. Ob ein Zusammenhang zwischen dem versuchstechnisch einfacher bestimmbar Kriechverhalten und dem Relaxationsverhalten besteht, wurde durch punktuelle Vergleichsuntersuchungen überprüft.

Zur Untersuchung des Einflusses des Alterungsprozesses auf die langzeitige Leistungsfähigkeit der Putzsysteme wurden die o. g. mechanischen Eigenschaften der Systeme auch nach einer künstlichen Bewitterung und einer Freibewitterung bestimmt. Die Referenzprüfkörper lagerten bis zum Tag ihrer Prüfung bei konstantem Normalklima 20/65 in demselben Klimaraum in dem sie auch hergestellt wurden. Die künstliche Bewitterung der Proben erfolgte in einer Klimakammer Die Bewitterungsbeanspruchung entsprach Verfahren 2 nach DIN EN ISO 4892-3; bei permanenter UV-Bestrahlung folgte alle 5h ein 1stündiger Befeuchtungsabschnitt (Besprühen). Die Freibewitterung der Proben wurde auf dem Gelände des Instituts für Bauforschung, Aachen, durchgeführt.

3.2 Entwicklung eines Prüfverfahrens

Das Prüfprinzip entspricht i. W. dem eines in einer früheren Arbeit im Institut für Bauforschung, Aachen (ibac) entwickelten Prüfstandes. Die Versuchseinrichtung, die Steuerung der Prüfstände und die Regel- und Messeinrichtungen mussten jedoch u. a. aufgrund deutlich erhöhter Genauigkeitsanforderungen - insbesondere für die Relaxationsversuche - ganz wesentlich weiterentwickelt werden. Um eine Auslagerung der Prüfkörper zur Bewitterung zu ermöglichen, mussten Prüfkörper konzipiert werden, die nach dem Beschichten transportierbar sind. Das Bild 1 zeigt den schematischen Aufbau dieser Prüfkörper. Der Prüfkörper besteht aus einem Grundprüfkörper aus Putz PIII und dem Instandsetzungssystem, das über einen plan-

mäßig erzeugten Riss an der Sollbruchstelle, in der Mitte des Grundprüfkörpers, appliziert wird. Zur Fixierung des Risses werden die beiden Prüfkörperhälften vor dem Beschichten mit Hilfe einer kunststoffummantelten Gewindestange in Prüfkörpermitte verspannt. Teilweise wurden die Grundprüfkörper unter Verwendung von speziell angefertigten „Bewehrungskörben“ aus nichtrostenden Bewehrungsstäben bewehrt, um eine ausreichende Festigkeit des Grundprüfkörpers zu gewährleisten.

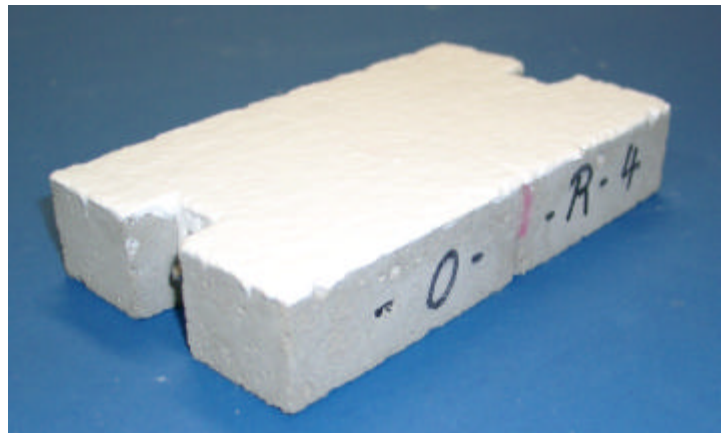
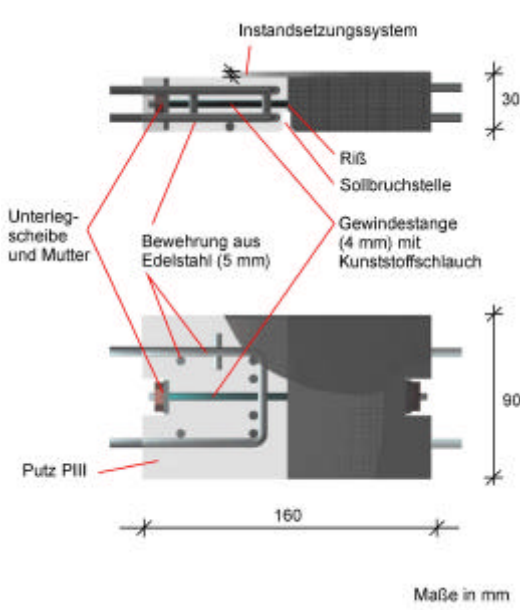


Bild 1: Schematischer Aufbau eines Prüfkörpers mit Bewehrungskorb (links) und Prüfkörper mit appliziertem System D (ohne Bewehrungskorb, rechts)

Die neu entwickelten Prüfkörper werden auf eine Lasteinleitungsvorrichtung, bestehend aus einer horizontal verschieblichen und einer fest installierten Stahlplatte, aufgeklebt. Der Riss im Grundprüfkörper befindet sich unmittelbar über der Stosstelle der Stahlplatten. Die Lasteinleitung erfolgt über ein Hebelarmsystem, wodurch die maximal aufbringbare Last sowie die Belastungsgeschwindigkeit variiert werden können. Der untere Hebelarm ist gelenkig und vertikal verschieblich an die horizontal bewegliche Stahlplatte angeschlossen. Die Lasteinleitung erfolgt in der Mitte des applizierten Instandsetzungssystems und ist höhenverstellbar, so dass infolge der Lasteinleitung keine Vertikalkräfte und Momente in die Beschichtung am Riss eingeleitet werden. Auf beiden Seiten des oberen Hebelarms sind über Drahtseile und Umlenkrollen Wasserbehälter angehängt. Das Aufbringen der Belastung erfolgt durch Veränderung der Wasserstände mittels Präzisionsventilen, wodurch die verschiebliche Lasteinleitungsplatte in horizontaler Richtung bewegt wird. Die Verformung (Aufweitung des Risses) wird mittels induktiven Wegaufnehmern gemessen. Die für die Aufweitung in die Stahlplatten eingeleiteten Kräfte werden über Kraftmessdosen oberhalb der Wasserbehälter bestimmt. Die Kräfte und Verformungen werden über einen Messrechner erfasst, der auch je nach Beanspruchungsart bzw. Prüfgröße (Zugfestigkeit, Relaxationsverhalten, Kriechverhalten oder Rissüberbrückung) die Pumpen zur Veränderung der Wasserstände steuert. Bild 2 zeigt den Aufbau der neu entwickelten Versuchsanordnungen. Insgesamt wurden 6 solcher Versuchsanordnungen konstruiert.

Durch die neu programmierte Software ist es möglich, mit den entwickelten Prüfständen die Zugkraft-Verformungslinien, das Kriechverhalten und das Relaxationsverhalten von Putzinstandsetzungssystemen im applizierten Zustand zu untersuchen.

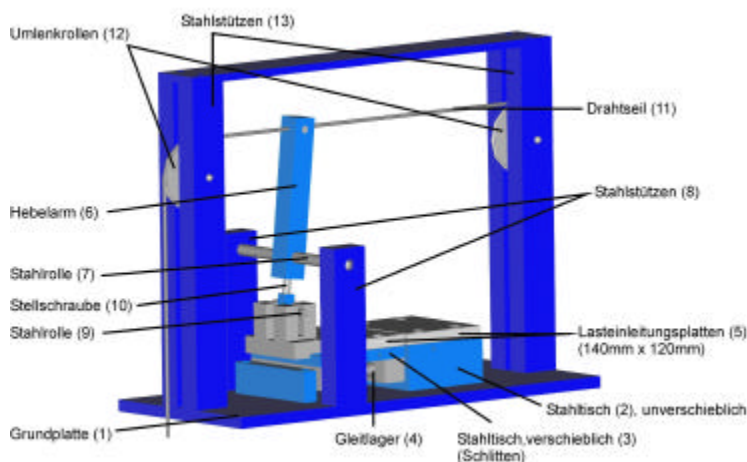


Bild B6: Schematischer Versuchsaufbau (links) und Versuchsstände zur Bestimmung des Zug-Verformungs-, Kriech- und Relaxationsverhaltens und der Rissüberbrückungsfähigkeit von Putzinstandsetzungssystemen (rechts)

Des Weiteren kann durch Vorgabe von beliebigen, zeitabhängigen Rissweitenöffnungen das Verformungsverhalten sowohl unter Kurzzeit- sowie Langzeitbeanspruchung mit stetiger oder zyklischer Belastung untersucht werden.

3.3 Versuchsergebnisse

Nach der künstlichen Bewitterung wiesen die Probekörper der Versuchsserien A und B eine deutlich veränderte Oberflächenstruktur auf. Beim Instandsetzungssystem A waren die Zuschlagkörner des Putzes zu erkennen, bei der Versuchsserie B an einigen Stellen das eingelegte Gewebe. Vermutlich führte die Beregnung der Probekörper zum Auswaschen der Bindemittelmatrix. Die Probekörper der Versuchsserie C hatten gelbliche Färbungen auf der Oberfläche. Die Probekörper, die natürlich bewittert wurden, zeigten ein ähnliches, jedoch nicht so ausgeprägtes Erscheinungsbild. An den freibewitterten Prüfkörpern wurde zunächst nur das Zugkraft-Verformungsverhalten bestimmt. Da sich noch keine wesentlichen Unterschiede zu den unbewitterten bzw. künstlich bewitterten Prüfkörpern gezeigt haben, wurden die weiteren Untersuchungen bislang nicht durchgeführt. Die Prüfkörper lagern derzeit weiterhin auf dem Institutsgelände. Die Untersuchungen werden zu einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt, wenn von einer Auswirkung der natürlichen Bewitterung auf die mechanischen Eigenschaften der

Systeme ausgegangen werden kann. Es ist geplant, die Ergebnisse der fortgeführten Untersuchungen in entsprechenden Fachveröffentlichungen darzustellen. Das System D wurde nachträglich in das Versuchsprogramm aufgenommen. Die Prüfkörper konnten aufgrund der zeitlichen Beschränkung des Forschungsvorhabens vor der Prüfung nicht mehr einer künstlichen bzw. natürlichen Bewitterung ausgesetzt werden.

Die künstliche und natürliche Bewitterung der Prüfkörper des Systems A führte bei den Zugversuchen zu höheren Bruchlasten und höheren Bruchverformungen und zu einem höheren Spannungsabbau bei den Relaxationsversuchen. Dieses Verhalten wurde auf einen geringeren Haftverbund der bewitterten Prüfkörper und damit auf ein Ablösen des Systems an den Rissflanken zurückgeführt. Prinzipiell wirkt sich das Ablösen der Beschichtung von den Rissflanken günstig auf die Verformungseigenschaften aus. Inwiefern der geringere Haftverbund in der Praxis jedoch zu einem vollständigen Verlust des Haftvermögens und zur Schalenbildung führt, kann auf Grundlage dieser Versuchsergebnisse nicht beurteilt werden. Die Unterschiede der Materialeigenschaften zwischen den bewitterten und den unbewitterten Prüfkörpern zeigten sich auch in den Rissüberbrückungsversuchen, durch größere Maximallasten und größere Rissbreitenänderungen bei Erreichen der Maximallast bei den bewitterten Prüfkörpern. Dies trifft in analoger Weise auch für die Relaxationsversuche zu. Nach augenscheinlicher Begutachtung waren keine Unterschiede zwischen bewitterten und unbewitterten Prüfkörpern hinsichtlich des Zeitpunktes für die erste Rissbildung in der Beschichtung zu erkennen. Die fortschreitende Rissbildung – zunehmender Lastabfall bei den Rissüberbrückungsversuchen – findet in Bereichen von 10 bis 20 μm statt. Rissbreiten dieser Größenordnung sind bei strukturierten Oberflächen nicht zu erkennen.

Für die Versuchkörper des Systems B ließen sich bis auf eine leichte Erhöhung der Steifigkeit und Festigkeit bei natürlicher Bewitterung keine nennenswerten Einflüsse der Bewitterung auf die mechanischen Eigenschaften feststellen. Bei diesem System bildeten sich bei den Zugversuchen und den Rissüberbrückungsversuchen bereits vor Erreichen der Maximallast erhebliche Risse. Eine Beurteilung dieses Systems ist derzeit nur augenscheinlich möglich. Die Aussagekraft ist daher sehr eingeschränkt.

Beim System C wurde eine Versprödung infolge der Bewitterungsbeanspruchung festgestellt. Diese zeigt sich sowohl bei den Zugversuchen als auch bei den Relaxationsversuchen. Analog zur Versuchsserie A können die Kraft-Verformungsverläufe bei den Rissüberbrückungsversuchen zumindest qualitativ mit den Ergebnissen der Zug- und Relaxationsversuchen erklärt werden. Der zunehmende Lastabfall bei den Rissüberbrückungsversuchen kann als Versagenskriterium angesehen werden, bei weiterer Rissbreitenänderung sind Risse zu erwarten.

Beim System D zeigte sich deutlich der Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit auf die mechanischen Eigenschaften des Systems und deren Auswirkung auf die Beurteilung der Leistungsfähigkeit. Bei den Kurzzeitversuchen waren deutlich höhere Bruchverformungen bestimmt worden, als bei den Rissüberbrückungsversuchen. Bei Ansatz der in den Versuchen bestimmten hohen Relaxation und Berücksichtigung der großen Bruchverformungen in den Kurzzeitversuchen wären die rissüberbrückenden Eigenschaften dieses Systems überschätzt worden. Der zunehmende Lastabfall bei den Rissüberbrückungsversuchen stimmt sehr gut mit dem beobachteten Versagen der Beschichtung überein und kann auch für dieses System als Versagenskriterium angesehen werden. Das günstige Relaxationsverhalten dieses Systems steht in Einklang mit dem ausgeprägten horizontalen Verlauf der Kraft-Verformungslinie.

Bei den Versuchen zur Rissüberbrückungsfähigkeit kann als Kriterium für Versagen und beginnende Rissbildung für Systeme *ohne Armierungsgewebe* der zunehmende Lastabfall der Kraft-Verformungslinien angesehen werden. Bei der augenscheinlichen Begutachtung der Proben waren bei den Systemen ohne Armierungsgewebe vor dem zunehmenden Lastabfall in den Kraftverformungslinien keine Risse in den Beschichtungen zu erkennen. Der Einfluß der Relaxation und der Verformungsfähigkeit des Systems zeigte sich in dem Verlauf der Kurven nach Erreichen der Maximallast. Bei Systemen mit hohem Relaxationskennwert (unbewitterte Prüfkörper der Systeme C und D) ergab sich ein ausgeprägter horizontaler Kurvenverlauf. Bei System A sowie den bewitterten Prüfkörper des Systems C trat ein steilerer Abfall der Kurven auf. Zu beachten ist jedoch, dass die Prüfgeschwindigkeit auch einen erheblichen Einfluss auf die bestimmten Kennwerte hat. Die Belastungsgeschwindigkeit muss so gewählt werden, dass eine ausreichende Relaxationszeit gewährleistet ist, jedoch die in der Baupraxis auftretenden „Verformungsgeschwindigkeiten“ nicht unterschritten werden, um die Leistungsfähigkeit der Systeme nicht zu überschätzen. Ein wesentlicher Teil der Spannungen ist i. d. R. nach 1 bis 12 h abgebaut. Die zeitabhängigen Kennwerte veränderten sich bei den Kriechversuchen langsamer als bei den Relaxationsversuchen. Mit den aus den Kriechversuchen bestimmten Relaxationszahlen werden diejenigen aus den Relaxationsversuchen überschätzt, bei System D unterschätzt.

Bei den Systemen *mit Armierungsgewebe* kann bei den Rissüberbrückungsversuchen das o.g. Kriterium nicht als Versagenskriterium angesehen werden, da bereits vor Erreichen der Maximallast deutlich Risse, die auch in der Baupraxis als schadhaft einzustufen sind (Rissbreite >0,2 mm) zu erkennen sind.

Die Beurteilung der Rissentstehung erfolgt – insbesondere bei System B - derzeit noch durch augenscheinliche Begutachtung. Zum einen ist diese Verfahrensweise subjektiv, speziell bei Versuchen mit geringeren Verformungen, zum anderen kann aufgrund der teilweise sehr langen Versuchszeiten der Zeitpunkt der ersten Rissbildung i. d. R. nicht genau bestimmt werden. Es besteht deshalb Bedarf für ein objektives Verfahren zur Bestimmung des quantitativen Zeitpunktes der Erstrissbildung in der Beschichtung bzw. der Rissbreitenänderung im Grundprüfkörper. Ggf. kann dieses Ziel durch Videovermessung erreicht werden.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden das Zug-Verformungs-, Kriech- bzw. Relaxationsverhalten sowie die Rissüberbrückungsfähigkeit von Instandsetzungssystemen im applizierten Zustand ohne Bewitterung, nach künstlicher Bewitterung und nach Freibewitterung mit einem neu entwickelten Prüfverfahren an unterschiedlichen Putzinstandsetzungssystemen untersucht. Die für den Anwendungsfall bedeutende Beanspruchung einer Rissbreitenänderung unter Berücksichtigung von Relaxationseinflüssen (Rissüberbrückungsfähigkeit) wurde durch eine stetige, langsame Rissaufweitung simuliert und mit Zugversuchen (Kurzzeitbeanspruchung), Relaxations- und Kriechversuchen verglichen. Eine zyklische Beanspruchung, die eine ausreichende Relaxationszeit berücksichtigt, ist mit dem entwickelten Prüfverfahren möglich, konnte wegen der zeitlichen Begrenzung der Forschungsarbeit jedoch nicht durchgeführt werden.

Bei den Instandsetzungssystemen ohne Armierungsgewebe sind die dünn-schichtigen, organischen Systeme C und D ausgeprägt verformungsfähig – insbesondere beim System D wurden hohe Bruchdehnungen und große Relaxationszahlen bestimmt, die im Einklang mit der hohen Rissüberbrückungsfähigkeit des Systems stehen. Die Bewitterung bewirkte eine Versprödung des Systems C, die Prüfkörper des Systems D wurden nur unbewittert geprüft. Nach dem bisherigen Erkenntnisstand sind die rissüberbrückenden Eigenschaften des dickschichtigen, mineralischen Systems A als wenig ausgeprägt einzustufen. Infolge der Bewitterung wurde ein Ablösen des Systems von den Rissflanken beobachtet, das sich günstig auf die Verformungseigenschaften auswirkt. Die Bewitterung des Instandsetzungssystems B mit Armierungsgewebe ergab bisher keinen nennenswerten Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften. Im Gegensatz zu den unbewehrten Systemen sind nach Erstrissbildung noch deutliche Laststeigerungen möglich. Eine Bewertung der rissüberbrückenden Eigenschaften konnte aufgrund eines fehlenden Versagenskriteriums bislang nicht erfolgen.

Um abgesicherte Aussagen zur Leistungsfähigkeit der Putzinstandsetzungssysteme treffen zu können, sind noch weitere Untersuchungen - auch unter zyklischer Beanspruchung - und die Fortsetzung der Untersuchungen nach natürlicher Bewitterung, empfehlenswert.