

**Ausgabe 06/2022**

## **Bewertung des Feuerwiderstandes von Stahlkonstruktionen mit reaktiven Brandschutzsystemen unter Berücksichtigung des Alterungsverhaltens | AiF Nr.: 20470 N**

### **Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF Nr.: 20470 N**

Ziel des Forschungsvorhabens war es, einen Vorschlag für die Erweiterung der Prüfverfahren zur Bewertung des Alterungsverhaltens von RBS für eine Nutzungsdauer von mehr als 10 Jahren zu erarbeiten. Kurzzeitversuche sollten dafür die Grundlage bilden. Die Bewertung des Alterungsverhaltens setzt voraus, dass die Mechanismen der Alterung hinreichend bekannt sind. Darüber hinaus sollten mittels numerischer Simulationen die methodischen Voraussetzungen zur Berechnung des Erwärmungs- und Tragverhaltens von Stahlkonstruktionen mit gealterten RBS geschaffen werden.

In dem Forschungsprojekt wurden erstmals systematisch die Ergebnisse der Brandversuche von Zulassungsprüfungen von RBS analysiert. Dabei wurden Kurz- sowie Langzeitversuche an kommerziellen Produkten der vergangenen 30 Jahre ausgewertet. Anhand der vorliegenden Daten der Prüfberichte der Zulassungsprüfungen zur Dauerhaftigkeit der Brandschutzsysteme ist keine signifikante Degradation der Leistungsfähigkeit infolge von Alterungsphänomenen zu erkennen. Es ist kein Bezug zu einer zeitlichen Degradation erkennbar. Es ist jedoch anzumerken, dass es sich bei den ana-

lysierten Daten um Produkte handelt, die die Prüfungen bestanden und die Zulassung erhalten haben. Eine Einordnung der thermischen Schutzwirkung der Probekörper der Kurzzeitversuche bei einer Nutzungsdauer von zehn Jahren in die Ergebnisse der Langzeitversuche liefert für die vorliegenden Daten eine gute Übereinstimmung. Allerdings ist die Abschätzung, ob die künstliche Bewitterung innerhalb der Kurzzeitversuche wirklich eine Nutzungsdauer von zehn Jahre abbildet, auf Grund der geringen Datenmenge und der tendenziell unveränderten thermischen Schutzwirkung bei den gealterten Proben nicht möglich.

In dem durchgeführten Forschungsprojekt wurden experimentelle Untersuchungen an einer wasserbasierten sowie epoxidharzbasierten Richtrezeptur durchgeführt.

Zum einen wurden über die Reduktion von einzelnen funktionsrelevanten Bestandteilen Mangelrezepturen hergestellt und in Brandversuchen untersucht. Bei allen untersuchten Mangelrezepturen kam es trotz des Fehlens von einzelnen funktionsrelevanten Bestandteilen zu einer Reaktion des RBS zur Ausbildung einer thermisch wirksamen Schutzschicht.

Infolge der Reduktion der Substanzen APP, PER und MEL konnte bei beiden untersuchten Richtrezepturen eine Veränderung der Höhe der thermischen Schutzwirkung festgestellt werden. Die Unterschiede zwischen der Richtrezeptur und den verschiedenen Mangelrezepturen zeigten sich beim wasserbasierten RBS am deutlichsten. Beim epoxidharz-basierten RBS waren die Unterschiede in der thermischen Schutzwirkung wesentlich schwächer ausgeprägt. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Reduktion der funktionsrelevanten Bestandteile und der thermischen Schutzwirkung der RBS lässt sich insbesondere bei kleinen Temperaturunterschieden nicht eindeutig herstellen, da die Brandversuche gewissen Schwankungen und Toleranzen unterliegen. Die Ergebnisse der Brandversuche, TG-Analysen sowie der ATR-FTIR Messungen haben gezeigt, dass sich eine bei der Herstellung des RBS realisierte Konzentrationsänderung funktionsrelevanter Bestandteile auf das thermische Zersetzungsverhalten und die thermische Schutzwirkung auswirkt. Allerdings sind die funktionsrelevanten Bestandteile in den untersuchten RBS-Rezepturen wahrscheinlich anteilmäßig so umfassend vorhanden, dass sich im Brandfall selbst bei einer moderaten Reduktion der Konzentration immer noch eine stabile und thermisch wirksame Schutzschicht ausbilden kann. Darüber hinaus können die Mangelrezepturen ausschließlich chemische Veränderungen des RBS abbilden, nicht jedoch die aus einer Bewitterung resultierenden strukturellen Änderungen, wie z.B. Porenvergrößerung, Blasen- und Rissbildung oder eine Delamination der Beschichtung vom Stahlbau-

teil. Die strukturelle Degradation der Gefügestruktur des RBS ist jedoch ein wesentlicher Grund für die nachlassende Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit.

Zum anderen wurden mit den beiden Richtrezepturen beschichtete Probekörper den beschleunigten Bewitterungszyklen der EAD 350402-00-1106 (2017) unterzogen. Zur Bewertung des Langzeitalterungsverhaltens wurden die Prüfzyklen auch mehrfach wiederholt (3x und 6x) angewandt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Erhöhung der Bewitterungsdauer zu einer stärkeren Degradation (Blasen, Risse und Delamination) des untersuchten wasserbasierten RBS geführt hat. Insbesondere das aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit hervorgerufene Quellen und spätere Schwinden in der Trocknungsphase begünstigen die Rissbildung. Insgesamt konnte eine Zunahme der TSD mit zunehmender Bewitterung festgestellt werden. Neben den strukturellen Gefügeveränderungen hat die Kurzzeit-Bewitterung auch auf der chemischen Ebene des wasserbasierten RBS eine Änderung hervorgerufen. In den TG-Analysen sind Veränderungen im Bereich von 230 - 250 °C erkennbar. In diesem Temperaturbereich findet die Reaktion von APP und PER statt. Das Resultat dieser chemischen Reaktion ist auch anhand der Änderungen des Spektrums in den ATR-FTIR Messungen der bewitterten Proben feststellbar. In den DSC-Analysen sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Die Farbmessungen konnten keine signifikanten Unterschiede infolge der Bewit-

terung aufzeigen. Eine Korrelation der Veränderungen der thermoanalytischen Verfahren mit der thermischen Schutzwirkung konnte jedoch nicht hergestellt werden. Die Informationen dienen in erster Linie der Wiedererkennung der chemischen Zusammensetzung eines RBS.

In Brandversuchen mit der wasserbasierten Richtrezeptur konnte eine reduzierte thermische Schutzwirkung der bewitterten Proben festgestellt werden. Diese ist vermutlich auf eine Veränderung der Schaumstruktur zurückzuführen. Nach dem Brandversuch durchgeführte Untersuchungen zeigten bei den unbewitterten Proben einen feinporigen und homogenen Schaum. Im Gegensatz dazu sind bei den bewitterten Proben auch größere Blasen bzw. Hohlräume vorhanden. Bei der Beurteilung des Einflusses der Bewitterungsdauer ist zu beachten, dass sich das RBS nach der 6-fachen Bewitterung teilweise oder auch komplett von einzelnen Proben abgelöst hat, d.h. es ist keine ausreichende Haftfähigkeit mehr vorhanden. Infolge dessen wird die thermische Schutzwirkung des RBS stark reduziert oder geht ganz verloren. Sofern die mehrfache Bewitterung des RBS allerdings zu keiner Delamination führt, ist zwischen den unterschiedlich langen Bewitterungsdauern (1x, 3x und 6x Z1) kein wesentlicher Unterschied in der thermischen Schutzwirkung erkennbar. In der Expansionsanalyse sowie den Erwärmungsversuchen an der LUH im Elektroofen konnte eine Abnahme der Expansion mit zunehmender Bewitterungsdauer sowie eine unter an-

derem daraus folgende Abnahme der thermischen Schutzwirkung ermittelt werden. Aus den Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass die Veränderungen der Oberflächenstruktur im Zusammenhang mit der thermischen Schutzwirkung in den Brandversuchen stehen. Eine Schnittführung durch die Schaumstruktur der wasserbasierten RBS zeigt, dass die innere Struktur ebenfalls degradiert und mit zunehmender Bewitterungsdauer ein höherer Anteil von größeren Gaseinschlüssen aufweist.

Für das epoxidharzbasierte RBS lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die Erhöhung der Bewitterungsdauer, mit Ausnahme der Farbänderung, zu keiner signifikanten strukturellen oder chemischen Veränderung geführt hat. Dies ist insofern überraschend, da das getestete RBS zum einen ohne einen schützenden Decklack und zum anderen mit dem anspruchsvollsten Bewitterungsszenario nach EAD 350402-00-1106 (2017) (Typ X) getestet wurde. Die optische Farbveränderungen sowie mit der Bewitterungsdauer auftretende feine Netzzrisse sowie offene Poren bei dem epoxidharzbasierten RBS sind im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit im Brandfall als unproblematisch zu bewerten. Alles in allem konnte in den Brandversuchen als auch in den thermoanalytischen Verfahren keine Degradation der thermischen Schutzwirkung der epoxidharzbasierten Beschichtung festgestellt werden. Es bildet sich ein großer Hohlraum und keine feinporige Schaumstruktur wie bei dem wasserbasierten RBS.

Numerische Simulationen wurden im Projekt mit einem Simulationsansatz basierend auf einem 3D-Finite Element Modell, welches das Aufschäumverhalten des RBS in thermomechanisch gekoppelten Analysen explizit berücksichtigt, durchgeführt. Dafür werden die in den experimentellen Untersuchungen abgeleiteten Materialparameter der Dichte, der spezifischen Wärmekapazität sowie der Expansionsfaktor direkt in dem numerischen Modell berücksichtigt. In Abhängigkeit von den gemessenen Parametern sowie einem Ansatz für die beobachtete Degradation der Morphologie infolge der Bewitterung ist das Modell auch für gealterte RBS definiert worden. Die Simulationsmethode kann genutzt werden, um die Feuerwiderstandsdauer von Stahlbauteilen mit gealterten RBS zu bewerten. In dem Forschungsbericht wird beispielhaft eine Extrapolation der Ergebnisse auf I-Profile vorgenommen.

Basierend auf der Literaturrecherche sowie den Ergebnissen der experimentellen und numerischen Simulationen wurde ein Vorschlag für ein Prüfkonzept für den Nachweis einer Nutzungsdauer von RBS für mehr als 10 Jahren abgeleitet. Der Vorschlag basiert auf einem Katalog mit unterschiedlichen Kriterien, wovon mehrere erfüllt werden sollten.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages