

Dr. – Ing. Catherina Thiele

Paul-Ehrlich-Straße  
Gebäude 14, Zimmer 517  
67663 Kaiserslautern  
Phone (0631) 205 – 3833  
Fax (0631) 205 – 3555  
e-mail: [catherina.thiele@bauing.uni-kl.de](mailto:catherina.thiele@bauing.uni-kl.de)

Projekt: Feuerwiderstand von Befestigungen im Mauerwerk

Kontakt: Dipl. Ing. Marie Reichert  
[www.massivbau-kl.de](http://www.massivbau-kl.de)

Datum: 06/01/2018



---

Dr.-Ing. Catherina Thiele



Dipl.-Ing. Marie Reichert

## Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Informationen.....	3
2. Zusammenfassung und Ausblick.....	3
3. Vorschlag für die Bewertung des Feuerwiderstands von Befestigungen im Mauerwerk .....	5
3.1. Versuchsdurchführung .....	5
3.2. Versuchsprogramm .....	5
3.2.1. Vollsteine .....	5
3.2.2. Lochsteine .....	8
4. Literatur.....	9

## 1. Allgemeine Informationen

Das Forschungsprojekt „Feuerwiderstand von Befestigungen im Mauerwerk“ unterstützt und finanziert durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) wurde im Zeitraum von Januar 2016 bis Januar 2018 an der Technischen Universität Kaiserslautern bearbeitet.

## 2. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden auf experimenteller und theoretischer Basis die Grundlagen zur Bestimmung des Feuerwiderstands von Befestigungen im Mauerwerk untersucht.

Der aktuelle Regelungsstand zur Bewertung von Metallankern in Mauerwerk umfasst die Beurteilung des Feuerwiderstands nicht. Dennoch können experimentell bestimmte Feuerwiderstände in den technischen Daten der Hersteller angegeben werden. Für die Durchführung von Brandversuchen an Befestigungen im Mauerwerk wird sich an den Angaben im Technical Report TR020 orientiert.

Die Tragfähigkeit von chemischen Dübeln im Beton wird parallel im Rahmen einiger Forschungsprojekte untersucht. Insbesondere die Bewertung des Herausziehwidestands unterscheidet sich hier deutlich von mechanischen Befestigungsmitteln. Erste Forschungsergebnisse zeigen, dass eine hinreichend genaue Berechnung der Verbundtragfähigkeit eines Verbunddübels unter Brandbeanspruchung möglich ist. Hierbei wird auf die im Rahmen der Zulassung eines Verbundmörtels für die Anwendung als Bewehrungsanschluss ermittelte Verbundspannungs-Temperatur-Beziehung zurückgegriffen. Diese Informationen über die Verbundtragfähigkeit bei erhöhten Temperaturen liefern in Kombination mit in thermischen Simulationen ermittelten Temperaturprofilen entlang des Ankers Feuerwiderstände. Die Übertragung dieses Verfahrens auf Befestigungen in Vollsteinen konnte im Rahmen dieser Arbeit bestätigt werden.

Die Berechnung von Temperaturprofilen mithilfe von Simulationsprogrammen ist für Befestigungen in Mauerwerksuntergründen analog zu Beton möglich. Die Dämmeigenschaften des Untergrundmaterials haben dabei einen wesentlichen Einfluss auf das Temperaturprofil entlang der Befestigung bzw. im Verbundmörtel. Im Allgemeinen kann man festhalten, dass Steine mit guten Dämmeigenschaften zu höheren Temperaturen an der Verankerung führen und somit hier geringe Tragfähigkeiten erreicht werden können.

Bei der Durchführung von Brandversuchen an Befestigungen im Mauerwerk müssen im Vergleich zu Versuchen im Beton zusätzliche Randbedingungen, wie Orientierung der Lasteinleitungsvorrichtung, Belastung der Wand, Positionierung der Dübel. Es wird ein Versuchsstand vorgestellt der diese Faktoren berücksichtigt und flexibel für unterschiedliche Steinformate einsetzbar ist.

Die Vielzahl an den auf dem Markt befindlichen Steinmaterialien und Formaten erschwert eine allumfassende Bewertung des Feuerwiderstands. Anhand der durchgeführten Versuche können jedoch folgende Ergebnisse zusammengefasst werden. Aufgrund des stark reduzierten Widerstands gegenüber Herausziehen und Stahlversagen kann ein Steinversagen in der Regel ausgeschlossen werden. Der Widerstand gegenüber Verbundversagen kann analog zu Befestigungen im Beton für Vollsteine berechnet werden. Die Bestimmung des Herausziehwidestands für Steine mit Lochanteil muss experimentell bestimmt werden. Der Widerstand gegenüber Stahlversagen kann aus den bisherigen Forschungsergebnissen übernommen werden.

Aufgrund der, im Vergleich zu Beton, geringen Tragfähigkeit einiger Mauersteine kann ein Steinversagen auf Basis der vorliegenden Untersuchungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Insbesondere der Widerstand für Schrägzug- und Querszugbelastungen sollte im Hinblick auf die Versagensart Steinversagen weiter untersucht werden. Dazu muss der hier vorgestellte Versuchsstand weiter verbessert werden.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden um eine Vergleichbarkeit zu erzielen Anbauteile nach den in TR020 vorgeschriebenen Maßen verwendet. Im Hinblick auf die teilweise sehr geringen Lasten die im Mauerwerk verankert werden, ist diese Anbauteilgeometrie womöglich größer als in vielen Anwendungen. Da die Geometrie des Anbauteils erheblichen Einfluss auf den Temperaturverlauf entlang der Verankerungstiefe und somit auch auf den Feuerwiderstand hat, sollte eine Anbauteilgeometrie für Lasten kleiner 1 kN festgelegt werden.

Der Einfluss der Verwendung von Siebhülsen in Vollsteinen (wie es in der Regel zulässig ist) wurde im Rahmen dieses Forschungsprojekts nicht untersucht. Da die Siebhülsen meist aus wenig temperaturresistentem Kunststoff besteht muss geprüft werden ob der Feuerwiderstand eines Dübels im Vollstein mit und ohne Siebhülse gleichwertig ist.

### **3. Vorschlag für die Bewertung des Feuerwiderstands von Befestigungen im Mauerwerk**

Auf Basis der vorangegangenen simulations- und versuchstechnisch unterstützten Überlegungen wird im Folgenden ein Vorschlag für die Bewertung des Feuerwiderstands von Befestigungen im Mauerwerk beschrieben. Aufgrund der Vielzahl an am Markt befindlichen Produkten und Steintypen besteht die Möglichkeit eines vereinfachten Bemessungsverfahrens für Befestigungen im Mauerwerk nicht.

#### 3.1. Versuchsdurchführung

Analog zu Befestigungen im Beton sollen die Befestigungsmittel mit einer Dauerlast beaufschlagt werden und gleichzeitig mit der Einheits-Temperatur-Brandkurve belastet werden. Für die Versuchsdurchführung sollen die Anforderungen nach DIN EN 1363-1 und TR020 eingehalten werden.

Zusätzlich darf, wenn die Versuche an einer Mauerwerkswand durchgeführt werden, eine Auflast von 0,2 N/mm<sup>2</sup> aufgebracht werden.

#### 3.2. Versuchsprogramm

Für die Beschreibung des Versuchsprogramms wird in die Untersuchung von Befestigungen in Vollsteinen und Lochsteinen unterschieden.

##### 3.2.1. Vollsteine

Die im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführten Versuche konnten die Möglichkeit der Übertragung des Berechnungsverfahrens nach [1] bestätigen. Daher wird für diesen Fall das in [1] beschriebene Versuchsprogramm übernommen.

###### a. Feuerwiderstand gegenüber Stahlversagen

Der Widerstand gegenüber Stahlversagen, kann nach TR020 Abschnitt 2.3.1.1 bestimmt werden.

###### b. Feuerwiderstand gegenüber Steinversagen

Nach aktuellem Forschungsstand tritt kein Steinausbruch im Brandfall ein.

Ein Steinherausziehen kann nach aktuellem Forschungsstand nicht gänzlich ausgeschlossen werden und muss daher nach dem in Kapitel 7.1.1 des Abschlussberichts [2] beschriebenen Nachweisverfahren ausgeschlossen werden.

###### c. Feuerwiderstand gegenüber Verbundversagen für feste Einbindetiefen

Für chemische Dübelssysteme mit festen Verankerungstiefen sollen je Verankerungsdurchmesser fünf Versuche durchgeführt werden. Die Lasten sollen so gewählt werden, dass vier Ergebnisse größer gleich 60 min und ein Ergebnis kleiner 60 min resultieren.

###### d. Feuerwiderstand gegenüber Verbundversagen für feste oder flexible Verankerungstiefen

Zur Bestimmung des Feuerwiderstands gegenüber Verbundversagen von auf Zug belasteten Verbunddübeln soll eine Kombination aus Simulation und Brandversuch durchgeführt werden.

Folgendes Versuchsprogramm muss für ein Injektionssystem mit variabler Verankerungstiefe durchgeführt werden.

Tabelle 3-1: Versuchsprogramm

	Ziel der Versuche	Minimale Versuchsanzahl je Dübelgröße					Versuchsbeschreibung
		s	i	m	i	l	
	[-]						[-]
1	Versuch zur Bestätigung der Temperaturdaten aus Simulationen	-	-	3	-	-	Dübel mit Thermoelementen ohne Belastung
2	Versuche zur Bestätigung der Verbundspannungs-Temperatur-Beziehung mit Gewindestangen in Mauerwerksteinen	-	-	5	-	-	"fire test" nach EAD 330087-00-0601 mit Gewindestange
3	Optional: Versuche um höheren Temperaturbereich abzudecken, $\tau < 0,5 \text{ N/mm}^2$	-	-	1	-	-	"fire test" nach EAD 330087-00-0601 mit Gewindestange
5	Brandversuche zur Bestätigung der Berechnung	3	2	5	2	3	Brandversuch nach TR020 Abschnitt 2.3.1.1

#### Zu Zeile 1:

Zum Vergleich können durch thermische Simulation ermittelte Temperaturverläufe herangezogen werden. Das verwendete Anbauteil muss in der Simulation berücksichtigt werden. Grundsätzlich kann auf die Simulation des Mörtels verzichtet werden, wenn der Vergleichsversuch nach Zeile 1 die Simulationsdaten bestätigt. (D.h. ausgeschlossen werden kann, dass die Dämmeigenschaften des Mörtels so groß sind, dass sie die Temperaturen entlang des Dübels beeinflussen).

Die Vergleichsversuche nach Zeile 1 sollen die simulierten Temperaturdaten bestätigen. Es sollen drei Dübel mit mittlerem Ankerdurchmesser und minimaler Einbindetiefe verwendet werden, und mit Thermoelementen TC1 (10 mm), TC2 ( $0,5 \cdot h_{ef}$ ) und TC3 ( $h_{ef} - 10 \text{ mm}$ ) bestückt werden. Der Dübel soll anschließend nach Herstellerangaben gesetzt werden. Beim Vergleich der gemessenen Temperaturdaten mit den Simulationsergebnissen sollen folgende Bedingungen eingehalten sein:

- Der Temperaturverlauf über die Verankerungstiefe sowie die Temperaturentwicklung über die Zeit sollen einen ähnlichen Verlauf aufweisen
- Für jeden Einzelwert soll für das Verhältnis von Simulationsergebnis und Versuchsergebnis folgende Bedingung erfüllt sein

$$\frac{1}{1,5} < \frac{T_{sim}}{T_{test}} < 1,5$$

- Der Mittelwert der im Versuch ermittelten Temperaturen  $T_{test,m}$  soll kleiner als die simulierten Temperaturen  $T_{sim,m} + 10\%$  an der gleichen Stelle zur selben Zeit sein

$$T_{test,m} < T_{sim,m} \cdot 1,1$$

- Es dürfen beliebig viele zusätzliche Versuche durchgeführt werden.

#### Zu Zeile 2:

Versuche nach Zeile 2 werden durchgeführt um die Übertragbarkeit der Verbundspannung-Temperatur-Beziehung aus „fire tests“ nach EAD 330087-00-0601 auf Gewindestangen in Mauerwerkssteinen nachzuweisen. Es sollen fünf Versuche mit mittlerem Ankerdurchmesser in Anlehnung an Abschnitt 2.2.3 „resistance to fire“ des EAD 330087-00-0601 durchgeführt werden. Die Abweichungen zu EAD sind in Kapitel 7.1.2 des Abschlussberichts [2] dargestellt. Die Bohrlöcher sollen mit dem maßgebenden Bohrverfahren erstellt werden und mit dem maßgebenden Reinigungsverfahren gereinigt werden. Die fünf ausgewählten Belastungen sollen so gewählt werden, dass Ergebnisse über den gesamten Temperaturbereich verteilt, zu erwarten sind. Für die Berechnung darf die Verbundspannungs-Temperatur-Beziehung aus „fire tests“ nach EAD 330087-00-0601 herangezogen werden, wenn die Versuchsergebnisse folgende Bedingungen erfüllen:

- Die Einzelabweichung der Versuchsergebnisse soll 50 °C nicht überschreiten.
- Die aus den 5 neuen Versuchen gewonnene Trendlinie darf in keinem Punkt mehr als 20°C von der Trendlinie nach EAD abweichen. Bei größerer Abweichung muss die Temperatur-Verbundspannungsbeziehung für Gewindestangen neu ermittelt werden. D.h. es müssen 15 weitere Versuche durchgeführt werden, die die Vorgaben nach EAD 330087-00-0601 zur minimalen Temperatur- und Verbundspannungsdifferenz einhalten.

Um den Geltungsbereich der Verbundspannungs-Temperatur-Beziehung über die Grenzen nach EAD 330087-00-0601 (minimale Verbundspannung = 0,5 N/mm<sup>2</sup>) zu erweitern, können zusätzliche Versuche mit

- $0,2 \text{ N/mm}^2 < T_{\text{sust}} \leq 0,5 \text{ N/mm}^2$  (Zeile 3)

durchgeführt werden.

#### Zu Zeile 5:

Mithilfe der Temperaturen entlang der Verankerungstiefe aus der FE-Simulation und der Verbundspannungs-Temperatur-Beziehung aus den Zeilen 2-5 kann der Feuerwiderstand gegenüber Verbundversagen für alle Kombinationen aus Ankerdurchmesser und Verankerungstiefe und alle Brandkurven berechnet werden. Zur Bestätigung des Ergebnisses sollen Brandversuche nach TR020 Abschnitt 2.3.1.1 durchgeführt werden. Folgende Gesichtspunkte sollen bei der Wahl der Vergleichsversuche berücksichtigt werden.

- Es sollen mit jedem Ankerdurchmesser mindestens 2 Versuche durchgeführt werden (Für die Wahl der Belastung sollen die Berechnungsergebnisse nach 60 min und 90 min herangezogen werden).
- Die kleinste Verankerungstiefe muss geprüft werden.
- Mit der mittleren Größe sollen mindestens fünf Versuche durchgeführt werden. Die Versagenszeiten sollen für vier Versuche über 60 min liegen, einer der Versuche soll eine Versagenszeit kleiner 60 min erzielen.

Die Versuchsergebnisse nach Zeile 5 müssen größer als die Ergebnisse der Berechnung sein. Für den Vergleich dürfen die Berechnungsergebnisse zwischen 30 min, 60 min, 90 min und 120 min linear interpoliert werden. Ist dies nicht erfüllt muss die Berechnung der Feuerwiderstandswerte entsprechend angepasst werden.

Für die Verwendung weiterer Ankerstangentypen (z. B. unterschiedliche Materialien) und anderer Bohrverfahren sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- Für Edelstahl Ankerstangen können ohne die Durchführung von Brandversuchen die gleichen Lasten wie für C-Stahl verwendet werden
- Die Ergebnisse der Berechnung sind nicht direkt auf andere Verankerungselemente oder Bohrverfahren übertragbar.

Die sich aus den Versuchen ergebenden Feuerwiderstandswerte für die Versagensart Verbundversagen muss abschließend mit den anderen Versagensarten (Betonausbruch, Stahlversagen) verglichen werden und die maßgebende Versagensart bestimmt werden.

### 3.2.2. Lochsteine

Aufgrund mangelnder Grundlagen über das Tragverhalten insbesondere für die Versagensart Herausziehen muss bei Lochsteinen auf die experimentelle Bestimmung des Feuerwiderstands zurückgegriffen werden.

Es sollen Brandversuche nach TR020 und DIN EN 1363-1 unter den in Kapitel 6 des Abschlussberichts [2] beschriebenen Randbedingungen durchgeführt werden. Generell muss jede Ankergröße, Einbindetiefe und Setzposition geprüft werden. Es sind je fünf Versuche pro Konfiguration durchzuführen. Die Ergebnisse sollen analog zu TR020 Abschnitt 2.3.1.1 ausgewertet werden.

Für Voll- und Lochsteine dürfen die Widerstände gegenüber Zuglasten auf Querlasten übertragen werden.



#### **4. Literatur**

- [1] Thiele, C.; Reichert, M.; Patil, M.: Verbunddübel im Brandfall. FG Massivbau und Baukonstruktion, 2017.
- [2] Thiele, C.; Reichert, M.: Feuerwiderstand von Befestigungen im Mauerwerk. Abschlussbericht eines Forschungsvorhabens des DIBt. Technische Universität Kaiserslautern, 2017.