

Entwicklung eines vereinfachten rechnerischen Nachweisverfahrens zum Feuerwiderstandsverhalten von Ziegelmauerwerk

Kurzfassung zum Schlussbericht IGF-Vorhaben 21020 N

Essen, den 23. Januar 2024

1 HINTERGRUND

Die Anforderungen an einen Wohnungsneubau sind gestiegen. Dabei spielt die kostengünstige Bauweise sowie das zeitnahe Handeln der Bauindustrie und Baustoffhersteller eine wichtige Rolle. Dies gilt insbesondere für den Mauerwerksbau, da in Deutschland im Vergleich zu allen anderen Konstruktionsarten für Wohngebäude der Mauerwerksbau häufiger verwendet wird und die Anzahl der Neubauten durch Ziegelmauerwerk in den letzten Jahren gestiegen ist. Heute werden laut der Deutschen Gesellschaft für Mauerwerksbau (DGfM) 72% aller Wände für den Neubau von Wohngebäuden aus Ziegelmauerwerk errichtet. Aufgrund des erhöhten Bedarfs an kostengünstigem Wohnungsneubau und der stetig steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden muss die Ziegelindustrie durch entsprechende Optimierungsmaßnahmen bzw. Entwicklungsarbeiten auf diesen politisch geprägten Willen zeitnah mit marktgerechten Produkten reagieren. Besonders bei der Erstellung von Wohnraum in verdichteter mehrgeschossiger Bauweise spielt der bauliche Brandschutz durch die gegebene sichere Umsetzung im Mauerwerksbau eine bedeutende Rolle. Im Rahmen von allgemeinen Zulassungsverfahren müssen die neuen Produkte und ihre Eigenschaften geprüft werden, um sie für den Einsatz im Baubereich zu verwenden. Dazu gehören auch Prüfungen zur Standsicherheit, Wärmeschutz und Feuerwiderstandsfähigkeit. Im Eurocode 6 zum Brandschutz finden sich neben den Berechnungstabellen auch einfache rechnerische Nachweisverfahren, die bislang aufgrund unzureichender Materialkennwerte im Hochtemperaturbereich und ungesicherter Rechenmethoden bislang nicht realisierbar sind. Die Feuerwiderstandsfähigkeit von hochwärmedämmenden Ziegeln erfordert umfangreiche und kostenintensive Brandversuche an geschosshohen Wänden, die nach europäisch harmonisierten Normen DIN EN 1363-1, DIN EN 1365-1 und DIN EN 1365-2 durchgeführt werden müssen. Diese Versuche führen dann zur Einstufung in die Zulassung. Des Weiteren erfordern diese Prüfwände aufgrund der geometrischen Vorgaben hohen Material- und Fertigungstechnischen Aufwand. Vor allem bei einer Erfassung und Regelung von kurzfristigen Neuerungen bzw. Optimierungen der hochwärmedämmenden Ziegel wird ein kostengünstiger und somit auch ein zukunftssicherer Geschosswohnungsbau verzögert. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Materialeigenschaften von hochwärmedämmenden Ziegeln unter Hochtemperatur, sind nicht oder unzureichend vorhanden. Daher wird durch die Forschungsergebnisse welche im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erzielt wurden, ein vereinfachtes Rechenverfahren für die Bestimmung des Feuerwiderstandes von Mauerwerkbauteilen entwickelt, um für die aufgezählten Nachteile eine schnelle Lösung zu finden. Damit werden auch die im Eurocode 6 fehlenden Materialkennwerte ergänzt. Des Weiteren werden die Anwendungsmöglichkeiten dieser Baustoffe durch die Forschungsergebnisse erhöht, was zu einer Umsatzsteigerung für die kleinen und mittelständischen Ziegelhersteller führt. Gleichzeitig wird durch den reduzierten zeitlichen und finanziellen Aufwand für Feuerwiderstandsprüfungen eine zielgerichtete Produktentwicklung sowie -einführung gefördert, was die Wettbewerbsfähigkeit der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) steigert.

2 ZIELSETZUNG

Ziel des hier durchgeführten Forschungsvorhabens war das entwickeln des vereinfachtes Rechenverfahren für die Bestimmung des Feuerwiderstandes von Mauerwerkbauteilen, mit dem eine brandschutztechnische Bemessung von Mauerwerkswänden durchgeführt werden kann.

3 DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE

Nach der Auswahl der repräsentativen Baustoffe wurden hierfür experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Normeigenschaften durchgeführt. Zunächst wurden an diesen Baustoffen die Materialeigenschaften im Normaltemperaturbereich, anschließend die thermischen Materialeigenschaften für die späteren Feuerwiderstandsprüfungen untersucht. Nach der Auswahl der Lochstruktur des repräsentativen Hochlochziegels wurden zusätzliche Untersuchungen durchgeführt, um weitere Erkenntnisse über den Einfluss verschiedener Lochstrukturen zu bekommen. Hierfür wurden aus der identischen Betriebsmasse des ausgewählten Hochlochziegels, zwei verschiedene Modellziegeltypen mit gleichen Lochbildern hergestellt und von diesen an der TU Braunschweig die resultierenden Druckfestigkeiten bei Systemtemperaturen im normal und erhöhten Temperaturbereich bis ca. 1000 °C analysiert.

Anschließend wurden zum Einfluss der Lochgeometrie Untersuchungen an kleinen Mauerwerkskörpern ($H \times L = 0,75 \text{ m} \times 0,49 \text{ m}$) ohne Druckbeanspruchung mit einseitiger Brandbeanspruchung am Versuchsofen im IZF durchgeführt. Hierfür wurden die Mauerwerkskörper nach Kleinlochkammer und Großloch-kammer Ziegel unterschieden. An diesen wurden mehrere Thermoelemente in die Lagerfuge sowie Stoßfuge eingesetzt und die Temperaturen während der einseitigen Brandbeaufschlagung aufgenommen. Im Anschluss wurden die Schäden für beide Mauerwerkstypen untersucht und verglichen. In der nachfolgenden Abbildung sieht man die Schäden auf der Brandseite dieser Mauerwerkstypen (links Großkammerlochung, rechts Kleinkammerlochung) bei einer 90-minütigen einseitigen Brandbeanspruchung mittels der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK).



Abbildung 1: Brandseite der Mauerwerkskörper mit Großkammer Ziegel links und Kleinkammer Ziegel rechts nach 90 min ETK

Zur Generierung von Referenzwerten der späteren Branduntersuchungen wurde zudem die Druckfestigkeit von kleinformatigen Mauerwerksprüfkörpern ($H \times L = 1,25 \text{ m} \times 1 \text{ m}$), welche im Dünnbettverfahren hergestellt wurden, gemäß DIN EN 1052-1 bestimmt. Hierfür wurden die erstellten Prüfkörper vollflächig zentrisch mit einer Druckbelastung bis zum Versagen belastet. Hierbei handelt es sich um Mauerwerkskörper, mit Dämmung und weder auf der Brandseite noch auf der Kaltseite Putz aufgetragen wurde.

In Kaltversuchen wurden 4 Wände geprüft, aus denen 2 mit Großkammerlochung und 2 mit Kleinkammerlochung hergestellt worden sind. Des Weiteren wurden mit Hilfe von Wegaufnehmern die vertikalen Stauchungen aufgezeichnet und anschließend die Spannungs-Dehnungs-Diagramme erzeugt. Aus der nachfolgenden Tabelle sind die maximalen Kräfte, die beim Versagen der vier Wände entstanden sind, zu entnehmen.

Tabelle 1: Die Maximale Höchstlast der vier kalt geprüften Mauerwerkskörper

Wand	Ziegelart	Maximale Kraft [kN]
1	WSo8	2122
2	WSo8	1918
3	FZ7	1158
4	FZ7	1307

Für die Validierung der numerischen Simulationen, sowie des entwickelten vereinfachten Rechenverfahrens von der TU Braunschweig wurden anschließend eine Reihe von kleinformatischen Feuerwiderstandsprüfungen ($H \times L = 1,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$) mit einer kombinierten Druck- und Brandbeanspruchung in Anlehnung an DIN EN 1365-1 durchgeführt. Die Brandbeanspruchung folgte dabei den Temperaturen der sogenannten Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK). Ebenfalls wurden bei diesen Wänden Thermoelemente in die Stoß- und Lagerfugen eingesetzt und dabei die Temperaturen aufgezeichnet. Bei den durchgeführten Brandprüfungen wurden für zwei verschiedene Ziegeltypen unterschiedliche Zeit- und Belastungsstufen bestimmt. Insgesamt wurden 20 kleinformatische Mauerwerkskörper am IZF hergestellt und geprüft. Anschließend wurden diese mit den großen Mauerwerkskörpern ($H \times L = 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$), die an der TU Braunschweig hergestellt und mit dem gleichen Prüfplan geprüft wurden, verglichen. Die Verformung der Brandversuche wurden mit Hilfe eines optischen Messgeräts erfasst. Aus der nachfolgenden Abbildung ist der Prüfplan für diese Brandversuche zu entnehmen.

Versuch	Belastungsgrad in % der Druckfestigkeit bei Raumtemperatur	Prüflast in kN	Dauer der ETK-Brandbeanspruchung in min	Bemerkung
Mauerwerkskörper Großkammerziegel Typ A				Lastauftrag 72 kN/min, 15 min halten
A-1	Klemmlast	100	90	nach 90 min Wand weiter bis zum Versagen belasten
A-2	70	345,56	90	nach 90 min Prüfung beendet
A-3	50	246,83	90	nach 90 min Prüfung beendet
A-4	Klemmlast	100	90	nach 90 min Prüfung beendet
A-5	30	148,1	90	nach 90 min Prüfung beendet
A-6	70	345,56	90	nach 90 min Prüfung beendet
A-7	70	345,56	60	nach 60 min Prüfung beendet
A-8	70	345,56	45	nach 45 min Prüfung beendet
A-9	70	345,56	30	nach 30 min Prüfung beendet
A-10	70	345,56	45	nach 45 min Prüfung beendet
Mauerwerkskörper Ziegel mit Kleinkammerziegel Typ B				Lastauftrag 162 kN/min, 15 min halten
B-1	Klemmlast	100	90	nach 90 min Wand weiter bis zum Versagen belasten
B-2	70	633,67	90	nach 90 min Prüfung beendet
B-3	50	452,62	90	nach 90 min Prüfung beendet
B-4	Klemmlast	100	90	nach 90 min Prüfung beendet
B-5	70	633,67	60	Nach 60 min Prüfung beendet
B-6	70	633,67	90	Versagen nach 80 min
B-7	70	633,67	60	nach 60 min Prüfung beendet
B-8	70	633,67	45	nach 45 min Prüfung beendet
B-9	70	633,67	30	nach 30 min Prüfung beendet
B-10	70	633,67	45	nach 45 min Prüfung beendet

Abbildung 2: Definiertes Prüfschema der durchgeführten Brandprüfungen der einzelnen Mauerwerkskörper

Im Rahmen der Forschung wurde ein Rechenverfahren insbesondere für Großkammer Hochlochziegel erstellt, wodurch eine schnelle und einfache Klassifizierung für den Brandfall möglich ist. Für den Kleinloch-kammer Hochlochziegel ist das Rechenverfahren anhand der großen Streuungen in den Prüfergebnissen und die dazu im Verhältnis geringeren Versuchszahlen, teilweise entwickelt worden. Hierzu wird ein aktuelles Forschungsvorhaben mit der Vorhabenummer 22870 N und dem Titel „Material- und Bauteil-untersuchungen für die Entwicklung eines vereinfachten Rechenverfahrens zur Bestimmung des Feuerwiderstandes von verputztem Ziegelmauerwerk mit integrierter Wärmedämmung“ bearbeitet, wodurch das Rechenverfahren für die Kleinlochkammer Hochlochziegel abgeschlossen werden kann.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zudem thermische und thermomechanische Materialkennwerte von Planhochlochziegeln mit Hilfe von umfangreichen Material- bzw. Kleinkörperversuchen unter Normal- und Hochtemperaturbeanspruchung ermittelt. Die Ermittlung der Materialkennwerte im Hochtemperaturbereich erfolgte hierbei in beiden Fällen an unverputzten und ungedämmten Hochlochziegeln. Das Materialverhalten des Ziegelscherbens und die Modellierung des Wärmetransports innerhalb des Ziegels befanden sich dabei im Fokus der Untersuchungen. Hierbei wurde ein thermisches Modell für einen unverputzten, unverfüllten Planhochlochziegel auf Basis der (temperaturabhängigen) Wärmeleitfähigkeit λ und der spezifischen Wärmekapazität c_p entwickelt.

Die durchgeführten Modellierungen von Wärmeübertragungsmechanismen in einem unverputzten und unverfüllten Großkammerziegel zeigten gute Übereinstimmungen zwischen den Simulationen und den Messwerten aus den experimentellen Untersuchungen. Das erstellte Materialmodell des Großkammerziegels erwies sich als zielführend und wird eine Grundlage für die weiterführenden Untersuchungen zur Modellierung des Feuerwiderstandverhaltens von Gesamtmauerwerks sowie zur Ableitung eines vereinfachten Rechenverfahrens bilden.

Die in diesem Forschungsvorhaben gewonnene Erkenntnisse aus experimentellen und numerischen Untersuchungen bilden eine Grundlage für die Optimierung bzw. Erweiterung des in DIN EN 1996-1-2: 2011-04 im Anhang C aufgeführten vereinfachten Rechenverfahrens für das Ziegelmauerwerk aus hochwärmedämmenden Ziegeln.

Die Ergebnisse der stationären Versuche haben gezeigt, dass sich mit zunehmender Temperatur eine größere Steifigkeit und Festigkeit des Ziegelmaterials einstellt. Hierbei wird im Unterschied zu dem in DIN EN 1996-1-2: 2011-04 aufgeführten vereinfachten Rechenansatz keine Verminderung der Materialfestigkeit im Hochtemperaturbereich festgestellt. Im Zuge der Entwicklung des Bemessungsmodells wird daher im Rahmen der konservativen Annäherung von einer konstanten Materialfestigkeit im Hochtemperaturbereich ausgegangen.

Des Weiteren wurden zur Entwicklung des vereinfachten Rechenverfahrens die Ansätze mit sog. brandreduzierten Querschnitten untersucht. Für die Ermittlung der Temperaturgradienten bei denen ein Querschnittsverlust und ein damit verbundene Tragfähigkeitsverlust eintritt wurden die Schadensbilder (Rissbilder, Abplatzungen), Verformungsmessungen und Temperaturverläufe aus den Untersuchungen an

kleinformatischen Mauerwerkswänden ausgewertet. Da in dem vereinfachten Bemessungsmodell sowohl die Versagensmechanismen im Brandfall als auch die temperaturabhängigen Materialeigenschaften sowie die Effekte der thermischen Verformung und Dehnung berücksichtigt werden sollen, werden im weiteren Schritt die empirisch bestimmte Spannungs-Dehnungsbeziehungen als weitere Einflussparameter des Berechnungsmodells betrachtet.

Das Projekt ist eine Kooperation der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V.(FGZ), das vom Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF) und der Technischen Universität Braunschweig (TUB) durchgeführt wird. Das IGF-Vorhaben 21020 N der Forschungsvereinigung Ziegelindustrie wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klima aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages