

Material-und Bauteiluntersuchungen für die Entwicklung eines vereinfachten Rechenverfahrens zur Bestimmung des Feuerwiderstandes von verputztem Ziegelmauerwerk mit integrierter Warmedämmung

Kurzfassung zum Schlussbericht IGF-Vorhaben 01IF22870 N

Essen, den 14. September 2026

1 HINTERGRUND

Verputztes Ziegelmauerwerk mit integrierter Wärmedämmung wird im modernen Wohnungs- und Geschossbau eingesetzt. Für die brandschutztechnische Bewertung solcher Konstruktionen bestehen jedoch besondere Herausforderungen. Moderne hochwärmedämmende Hochlochziegel weisen komplexe Querschnittsgeometrien auf und können mit integrierten Dämmstoffen kombiniert werden. Für diese Bauprodukte stehen in den bestehenden Bemessungstabellen des Eurocode 6 häufig keine unmittelbar anwendbaren Nachweise zur Verfügung. Für hochwärmedämmende Hochlochziegel standen bislang nicht ausreichend abgesicherte Materialkennwerte für hohe Temperaturen und validierte Rechenmodelle zur Verfügung. Bei vielen Konstruktionen muss der Feuerwiderstand deshalb über großmaßstäbliche Brandprüfungen an geschosshohen Wänden nachgewiesen werden. Diese Prüfungen sind zeit- und kostenintensiv und erschweren insbesondere die Entwicklung und Optimierung neuer Produkte. Das Forschungsvorhaben setzte an dieser Lücke an. Untersucht werden sollte, wie sich die einzelnen Baustoffe und die gesamte Wandkonstruktion unter Brandbeanspruchung verhalten und wie die dabei auftretenden thermischen und mechanischen Schädigungen rechnerisch beschrieben werden können.

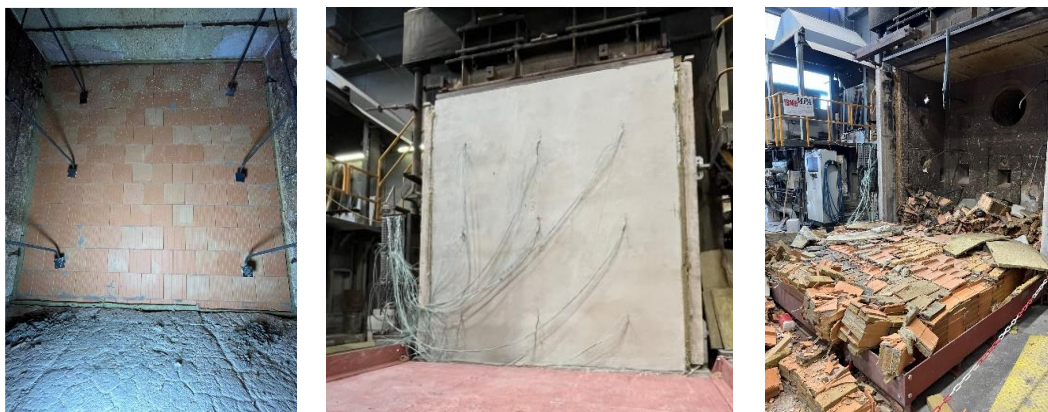


Abbildung 1: Großmaßstäbliche Brandprüfung einer verputzten Ziegelmauerwerkswand nach DIN EN 1365-1

2 ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines wissenschaftlich fundierten und praxisorientierten Nachweiskonzepts zur Prognose des Feuerwiderstands von verputztem Ziegelmauerwerk mit integrierter Wärmedämmung. Dazu sollten temperaturabhängige Materialkennwerte bestimmt, die maßgebenden Schädigungsmechanismen untersucht, ein numerisches thermisches Modell entwickelt und daraus ein vereinfachtes Rechenverfahren abgeleitet werden.

Das angestrebte Ergebnis war eine rechnerische Prognose des Feuerwiderstands vergleichbarer Wandkonstruktionen und damit eine wissenschaftlich abgesicherte Grundlage, den Bedarf an aufwendigen Großbrandversuchen bei der Produktentwicklung langfristig zu verringern.

3 DURCHFÜHRUNG UND WESENTLICHE ERGEBNISSE

Zunächst wurden die relevanten thermischen und mechanischen Eigenschaften von Ziegelscherben, Dünnbettmörtel, Putzsystemen und integrierten Dämmstofffüllungen im Normal- und Hochtemperaturbereich untersucht. Ergänzende kleinformative Brandversuche dienten insbesondere dazu, Temperaturverläufe und thermische Schädigungen im Mauerwerksquerschnitt zu erfassen. Wegen der abweichenden Geometrie, Schlankheit und Belastung waren sie nicht für eine direkte Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer geschosshoher Wände vorgesehen.

Für die Untersuchung des Schädigungsmechanismus wurden anschließend großmaßstäbliche Brandprüfungen ausgewertet. Dabei wurden zwei verputzte und mit Wärmedämmstoff verfüllte Wände aus dem im Projekt untersuchten hochwärmedämmenden Ziegeltyp C betrachtet.

Ergänzend wurde ein früherer Referenzversuch mit einer verputzten Hochlochziegelwand aus Ziegeltyp B und 93 Minuten Feuerwiderstandsdauer herangezogen. Im vollständigen Schlussbericht tragen diese Versuche die Kurzbezeichnungen C55, C58 und B93; für die Kurzfassung stehen jedoch Wandtyp und Versuchsdauer im Vordergrund.

Die Versuche zeigten, dass sich Putz- und Ziegelscherbenabplatzungen schrittweise von der Brandseite in Richtung Wandinneres fortsetzen. Dadurch wird der wirksame tragende Querschnitt der Wand während des Brandes zunehmend reduziert. Gleichzeitig verändern sich Schlankheit und Lastausmitte, sodass der Tragwiderstand mit zunehmender Schädigung abnimmt.

Aus den Versuchsergebnissen wurde ein Abplatzkriterium entwickelt. Der eingeführte Abplatzindex verknüpft die lokale Temperaturdifferenz mit den geometrischen Eigenschaften der jeweils betrachteten Scherbenreihe. Für die Referenzversuche wurden daraus kritische Abplatzindizes bestimmt und zu Referenz-Masterkurven zusammengeführt.

Diese bilden die Grundlage, die Schädigungsentwicklung auf weitere vergleichbare Ziegelgeometrien zu übertragen.

4 VOM VERSUCH ZUM VEREINFACHTEN RECHENVERFAHREN

Für die Entwicklung des vereinfachten Rechenverfahrens wurde die Datenbasis über kleinformatige Feuerwiderstandsprüfungen am IZF und über Großbrandversuche an verputzten, wärmedämmten Hochlochziegelwänden aufgebaut. So konnten Material-/Aufbauvarianten sowie der Zusammenhang zwischen Ziegelgeometrie, Belastung und Abplatzverhalten untersucht werden.

Kleinformatige Feuerwiderstandsprüfungen am IZF

Für die zwölf kleinformatigen Brandprüfungen am IZF wurde der im Projekt untersuchte Planhochlochziegel mit Kleinlochung des Typs C verwendet. Die Mauerwerksprüfkörper hatten etwa 1,0 m x 1,5 m; der Ziegel besitzt etwa 249 x 367 x 249 mm. Prüfaufbau und Lastaufbringung orientierten sich an DIN EN 1365-1, die Prüfkörperabmessungen lagen jedoch unterhalb der geschosshohen Normprüfung. Untersucht wurden die vier Konfigurationen mit unterschiedlichen Kombinationen aus Dämmstofffüllung sowie Innen- und Außenputz. Für die Temperaturerfassung wurden Thermoelemente in Fugen und innerhalb der Ziegel angeordnet; einzelne Messstellen erforderten Bohrungen bzw. leichte Schlitzte. Diese lokalen Eingriffe können die Tragfähigkeit beeinflussen und sind bei der Interpretation der gemessenen Feuerwiderstandsdauern zu berücksichtigen.

Tabelle 1: Prüfprotokoll der durchgeführten Feuerwiderstandsprüfungen im IZF

Prüfung	Datum	Dämmung	Putz Außen (20mm)	Putz Innen (15mm)	Aufgebrachte Last [kN]	Branddauer [min]	Standgehalten
1.	15.05.24	x	x	-	720 kN	90 min ETK	ja
2.	21.05.24	x	x	-	585 kN	90 min ETK	ja
3.	03.06.24	x	x	-	585 kN	90 min ETK	ja
4.	10.06.24	-	x	-	705 kN	74 min ETK	nein
5.	17.06.24	-	x	-	585 kN	90 min ETK	ja
6.	24.06.24	-	x	-	585 kN	90 min ETK	ja
7.	15.07.24	-	x	x	705 kN	90 min ETK	ja
8.	22.07.24	-	x	x	585 kN	90 min ETK	ja
9.	29.07.24	-	x	x	585 kN	90 min ETK	ja
10.	05.08.24	x	x	x	705 kN	90 min ETK	ja
11.	12.08.24	x	x	x	585 kN	90 min ETK	ja
12.	20.08.24	x	x	x	585 kN	90 min ETK	ja

Die kleinformatigen Prüfungen dienten vor allem der Erfassung des thermischen und bauphysikalischen Verhaltens. Für die direkte Übertragung auf die Tragfähigkeit großformatiger Wände sind sie wegen abweichender Geometrie, Schlankheit und Lastsituation nur eingeschränkt geeignet; sie bilden daher vor allem eine Grundlage für die thermische Modellierung.

Großbrandversuche als Grundlage für die Abplatzanalyse

Für die Abplatzanalyse wurden zwei aktuelle Großbrandversuche mit Planhochlochziegeln des Typs C an etwa 3,0 m × 3,20 m großen und 0,365 m dicken Wänden durchgeführt.

Die Großbrandversuche wurden unter Anwendung der Prüfbedingungen nach DIN EN 1365-1 in Verbindung mit DIN EN 1363-1/-2 durchgeführt. Ergänzend wurde eine umfangreiche interne Temperaturmessung im Ziegelquerschnitt installiert. Je Wand waren neun Ziegel mit jeweils 18 Thermoelementen ausgestattet. Die Messstellen lagen unter anderem in Fugen, an der brandseitigen Oberfläche sowie in Bohrungen innerhalb der Ziegelscherben; oberflächen-nahe Messstellen wurden teilweise über kleine Schlitzte angebracht. Diese zusätzlichen messtechnischen Eingriffe können den lokalen Querschnitt und damit das Tragverhalten beeinflussen und sind bei der Interpretation der Versuchsergebnisse zu berücksichtigen.

Ergänzend wurde der Großversuch B93 aus einem vorangegangenen Forschungsvorhaben mit dem Ziegeltyp B ausgewertet. Typ B und C besitzen eine vergleichbare Grundgeometrie, unterscheiden sich jedoch insbesondere in Stegstruktur und Lochanteil. C55 wurde mit rund 2000 kN bzw. $\alpha_{fi} = 0,67$ höher belastet als C58 (1729 kN; $\alpha_{fi} = 0,58$). Die höhere mechanische Beanspruchung kann Verformungen und Schädigungen begünstigen und damit zu einer verkürzten Feuerwiderstandsdauer beitragen.

Tabelle 2: Geometrische, materialtechnische und belastungsbezogene Kennwerte der untersuchten Großversuche C55, C58 und B93 (aus dem Schlussbericht, S. 67–68)

Großversuch	C55	C58	B93
Belastung / Tragwiderstand Brandfall [kN]	1997,8	1729,4	1752,8
Ausnutzungsgrad im Brandfall α_{fi} [-]	0,67	0,58	0,7
Mittelwert Druckfestigkeit f [N/mm ²]	14,6		13,0
Rohdichteklasse Ziegel (verfüllt) [-]	0,8		0,7
Scherbenrohddichte [kg/m ³]	1491		1445
Dicke Außenlängssteg [mm]	14,7		14,7
Dicke Außenquersteg [mm]	11,4		11,4
Dicke Innenlängssteg [mm]	7,0		5,4
Dicke Innenquersteg [mm]	6,5		5,9
Prozentualer Lochanteil [%]	47,7		54,1
Dicke Innenputz (brandzugewandte Seite) [cm]	1,5		1,5

Die Gegenüberstellung diente als Grundlage für die Analyse von Temperaturverteilung, Abplatzfortschritt und den daraus abgeleiteten Abplatzindizes. Aus den Versuchen wird anschließend das vereinfachte Rechenverfahren abgeleitet: Aus den Temperaturverläufen und der Geometrie werden für jede Scherbenreihe kritische Abplatzindizes bestimmt. Die daraus abgeleiteten Masterkurven liefern den maßgebenden Referenzwert für den Zeitpunkt, an dem eine Scherbenreihe rechnerisch abplatzt. Aus dem fortschreitenden Abtrag wird anschließend der zeitabhängige Restquerschnitt und damit der Tragwiderstand der Wand bestimmt.

5 ENTWICKLUNG DES VEREINFACHTEN RECHENVERFAHRENS

Auf Grundlage der experimentell ermittelten Abplatzcharakteristik und der numerischen Temperaturberechnungen wurde ein vereinfachtes Rechenverfahren zur Bestimmung des Feuerwiderstands entwickelt. Es verbindet die thermische Entwicklung im Ziegelquerschnitt mit dem fortschreitenden Abplatzen einzelner Scherbenreihen und der daraus resultierenden Verringerung des wirksamen Wandquerschnitts.

Grundprinzip des Verfahrens

Das Verfahren nutzt die aus den Referenzversuchen abgeleiteten Abplatzkriterien, um auf Grundlage der berechneten Temperaturentwicklung die zeitliche Abfolge der Scherbenabplatzungen abzuschätzen. Mit zunehmender Branddauer wird dadurch der verbleibende wirksame Querschnitt der Wand schrittweise bestimmt. Aus dem jeweils verbleibenden Querschnitt wird anschließend der zeitabhängige Tragwiderstand der Wand bewertet. Damit wird der Einfluss der thermischen Schädigung auf die Tragfähigkeit berücksichtigt, ohne die konkreten Berechnungsformeln und Rechenparameter des entwickelten Verfahrens offenzulegen.

Gültigkeitsbereich

Das Verfahren ist für Ziegel- und Wandkonfigurationen mit vergleichbaren geometrischen, thermischen und mechanischen Randbedingungen innerhalb des durch die Referenzuntersuchungen abgesicherten Bereichs vorgesehen. Für deutlich abweichende Ziegelgeometrien, Rohdichten, Wandkonfigurationen oder Belastungszustände sind zusätzliche Untersuchungen erforderlich. Die Übertragbarkeit des entwickelten Ansatzes wurde deshalb anschließend anhand zusätzlicher Großbrandversuche mit weiteren Ziegelgeometrien überprüft. Die nachfolgende Validierung prüft, ob sich der Ansatz auch auf weitere Ziegelgeometrien übertragen lässt.

6 ERGEBNIS, ANWENDUNGSBEREICH UND AUSBLICK

Nach der Entwicklung des vereinfachten Verfahrens wurde dessen Übertragbarkeit an zwei zusätzlichen Großbrandversuchen, D61 und D93, überprüft. Diese Versuche waren nicht Bestandteil der Entwicklung der Referenz-Masterkurven, sondern dienten als unabhängiger Validierungsdatensatz für weitere Ziegelgeometrien. Unabhängige Validierung Für D61 zeigt der Vergleich der aus der Master-Kurve abgeleiteten Abplatzindizes mit den numerisch bestimmten Werten eine gute Übereinstimmung. Die berechnete Feuerwiderstandsdauer lag mit etwa 56 Minuten nur rund fünf Minuten unter der im Versuch erreichten Feuerwiderstandsdauer von 61 Minuten.

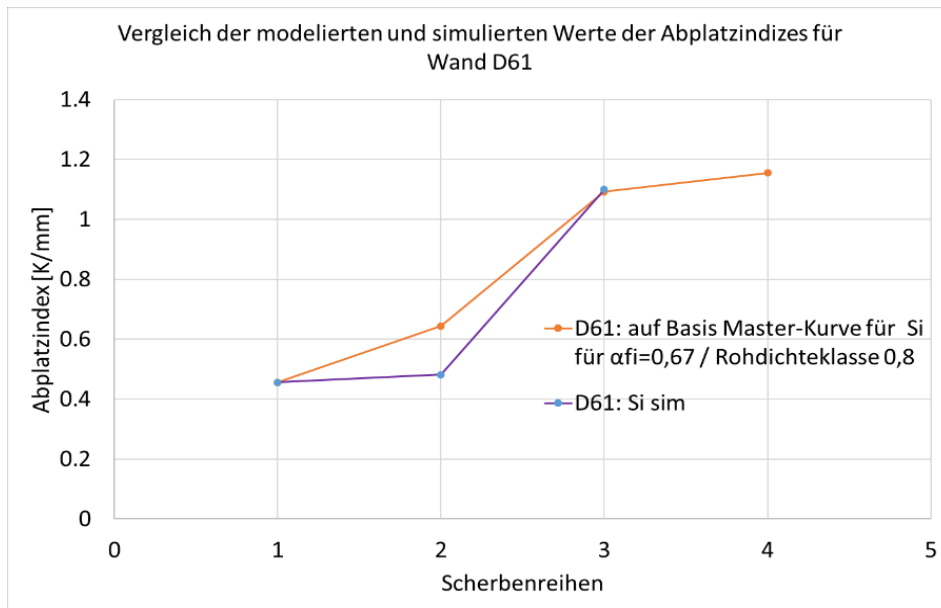


Abbildung 2: Vergleich der modellierten und numerisch bestimmten Abplatzindizes für die Wand D61

Für D93 zeigen die gemessenen und simulierten Abplatzzeitpunkte ebenfalls eine gute qualitative Übereinstimmung über die untersuchten Scherbenreihen. Da die Belastung während der Prüfung reduziert wurde, ist ein direkter Vergleich mit einer unter konstanter Last berechneten Versagenszeit nicht möglich.

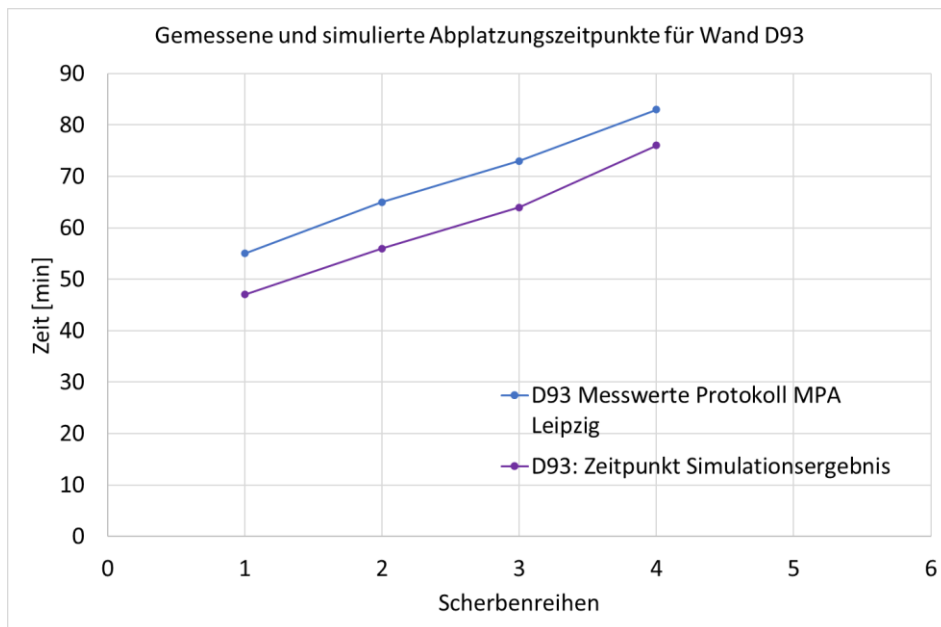


Abbildung 3: Vergleich der gemessenen und simulierten Abplatzzeitpunkte für die Wand D93 in Abhängigkeit von der Scherbenreihe

Projektergebnis

Die Validierung stützt die Übertragbarkeit der entwickelten Zusammenhänge auf weitere, vergleichbare hochwärmedämmende Ziegelgeometrien. Das wesentliche Ergebnis des Vorhabens ist ein durchgängiges Prüf- und Nachweiskonzept, das Materialcharakterisierung, thermische Berechnung, Abplatzprognose und Feuerwiderstandsbewertung miteinander verknüpft. Innerhalb des abgesicherten Anwendungsbereichs schafft der Ansatz die Grundlage

für eine rechnerische Prognose der Feuerwiderstandsdauer und kann den Bedarf an zusätzlichen großmaßstäblichen Brandversuchen bei vergleichbaren Bauarten verringern. Für deutlich abweichende Konfigurationen besteht weiterer Forschungsbedarf zur Erweiterung und Absicherung der Datenbasis.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages