

# Zur raumabschließenden Funktion von Holzbauteilen unter Brandbeanspruchung im Geschosswohnungsbau

Vortragender:

**MICHAEL RAUCH**

M.Sc.

Lehrstuhl für Holzbau und  
Baukonstruktion

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter  
Technische Universität München  
m.rauch@tum.de



Jahrgang 1984

Studium Bauingenieurwesen an der  
TU München

von 2010 bis 2015 als Bauingenieur im  
Bereich Bauleitung (Hochbau) tätig

seit Juni 2015 wissenschaftlicher  
Mitarbeiter am Lehrstuhl für Holzbau  
und Baukonstruktion der TU München  
im Bereich Brandschutz

Autor: Michael Rauch

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag befasst sich mit rechnerischen Nachweismethoden zur raumabschließenden Funktion von Holzbauteilen im Brandfall und stellt einen Zwischenstand der bisherigen Untersuchung dar. Mit stetig wachsender Anzahl werden mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise geplant und gebaut. Dabei werden Feuerwiderstände bis zu 90 Minuten erforderlich und sind für die Holzbauteile entsprechend nachzuweisen. Gegenwärtig basieren vorhandene Bauteilnachweise für mehr als 60 Minuten Feuerwiderstand auf durchgeführten Versuchen, die jeweils explizit nur für die geprüfte Konstruktion (Schichtenaufbau, verwendete Baustoffe) gültig sind. Bestehende Berechnungsverfahren sind hinsichtlich ihrer Anwendung bezüglich verwendbarer Baustoffe und nachweisbarer Konstruktionsaufbauten stark eingeschränkt und ermöglichen keinen rechnerischen Nachweis von mehr als 60 Minuten Feuerwiderstand.

Die Auswertung einer erstellten Versuchsdatenbank ergänzt durch experimentelle Bauteilprüfungen soll eine Grundlage für die geplante Forschungsarbeit liefern. Durch den Vergleich der im Versuch gemessenen Werte mit den Ergebnissen gegenwärtig vorhandener Rechenverfahren wird eine mögliche Erweiterung bzw. Modifikation über den derzeitigen zulässigen Anwendungsbereich hinaus untersucht. Die vorgestellten Ergebnisse bilden die Grundlage einer zielgerechten Entwicklung von rechnerischen Nachweismethoden für den Raumabschluss hinsichtlich der seitens der Baupraxis geforderten Anwendungsbereiche.

## 1. Einleitung

Mehrgeschossiger Holzbau als ressourcenschonende, leichte und leistungsfähige Bauweise bietet die Möglichkeit, urbane Verdichtungsstrategien und ökologische Entwicklungsziele zu vereinen. Dies führt vermehrt zu dem Wunsch vieler öffentlicher sowie privater Bauherren, mehrgeschossige Gebäude als Holz- oder Holzhybridbau zu realisieren. Bei diesen Gebäuden stellt der bauliche Brandschutz aufgrund der Brennbarkeit des Konstruktionsmaterials die Kernproblematik und ein großes Hemmnis [1] dar, das es bei der Planung und Realisierung zu lösen gilt. Pilotprojekte und eine Vielzahl an Forschungsvorhaben [2–4] bestätigen die Verwendung des Baustoffes Holz bis zur Hochhausgrenze unter Einhaltung des erforderlichen Sicherheitsniveaus, stehen aber im Widerspruch zu den deskriptiven Anforderungen der Musterbauordnung (MBO) sowie der möglichen rechnerischen Nachweisverfahren. Die geplante Arbeit greift die Problematik der fehlenden bzw. begrenzten Nachweismethoden hinsichtlich raumabschließender Anforderungen auf und behandelt die Fragestellung der Entwicklung rechnerischer Nachweismöglichkeiten bis zu 90 Minuten Brandbeanspruchung.

## 2. Grundlagen zur Berechnung des Raumabschlusses (EI)

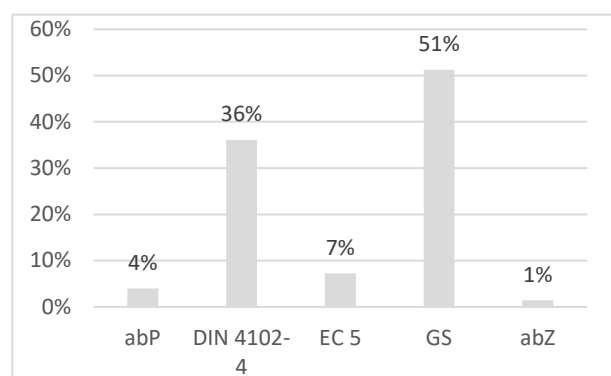
### 2.1 Anforderungen an den Raumabschluss

Die Anforderung Raumabschluss leitet sich aus den Schutzziele der Bauordnung mit den Forderungen zur Bildung von Nutzungseinheiten, Abtrennung von Rettungswegen sowie Brandabschnittstrennungen ab. Entsprechende Klassifizierungen können nach DIN EN 13501-2 [5] vorgenommen werden. Die gegenwärtig gültige Musterbauordnung (MBO) [6] in Deutschland unterscheidet in Art. 26 Abs. 2 Satz 1 zwischen feuerbeständigen, hochfeuerhemmenden sowie feuerhemmenden Bauteilen, denen der Feuerwiderstand 90, 60 bzw. 30 Minuten zugeordnet wird. Die dort angegebene Feuerwiderstandsfähigkeit muss im Brandfall hinsichtlich der Standfestigkeit R (Résistance) für tragende und/oder aussteifende Bauteile sowie der Brandausbreitung E (Étanchéité) und I (Isolation) für raumabschließende Bauteile nachgewiesen werden. Dabei bedeutet E, dass im geforderten Zeitraum kein Feuer durch die Konstruktion (z.B. durch Spalte oder Risse) durchtreten darf, I beschränkt die Temperatur auf der feuerabgewandten Seite, dass sich dort weder Oberfläche noch in der Nähe liegende Materialien entzünden können. Raumabschließende Bauteile können z.B. Trennwände zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten, Geschossdecken oder Wände zu notwendigen Treppenträumen oder Fluren sein.

### 2.2 Baurechtliche Situation in Deutschland

Die gegenwärtig gültige Musterbauordnung (MBO) in Deutschland begrenzt den Einsatz von brennbaren Baustoffen in tragenden und/oder aussteifenden Elementen zunächst auf Gebäude bis zu einer Höhe von sieben Metern des obersten Geschossfußbodens (Gebäudeklasse 3). In Kombination mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung (Kapselung) entsprechend der „Muster Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise“ (M-HFH HolzR) [7] wird der Einsatzbereich auf bis zu 13 m Höhe (Gebäudeklasse 4) erweitert. Höhere Gebäude in Holzbauweise sind möglich, bedürfen aber Sonderkonzepten mit objektspezifischen Abweichungen und einer Freigabe durch einen Prüfsachverständigen für Brandschutz bzw. die Bauaufsicht. Durch die kürzlich vorgenommene Novellierung der Bauordnung in Baden-Württemberg und die Möglichkeit, Holz als Konstruktionsbaustoff für Gebäude bis 22 m (Hochhausgrenze) zu verwenden, wurde versucht, die Diskrepanz zwischen baurechtlich ohne Abweichung zulässiger und seitens der Praxis geforderter Gebäude anzugleichen. In anderen Bundesländern wie beispielsweise Hamburg oder Nordrhein-Westfalen wird eine Änderung der Bauordnung ebenfalls auf eine erweiterte Anwendung des Holzbaus bis zur Hochhausgrenze diskutiert.

Die in der DIN 1995-1-2 Anhang E (EC5) [8] für den Holzbau vorhandenen rechnerischen Nachweismethoden für den Raumabschluss sind stark eingeschränkt und decken nur Feuerwiderstandsdauern bis zu 60 Minuten ab. An 277 Bauteilkonfigurationen wurde hierzu untersucht, welche Möglichkeiten eines Nachweises bestehen. Das Ergebnis ist in **Abb. 1** dargestellt. Lediglich 7% der Konstruktionen konnten mittels des Rechenverfahrens im EC5 nachgewiesen werden.



**Abb. 1:** Ergebnis der untersuchten Nachweismöglichkeiten von 277 Konstruktionen

Neben tabellierten Aufbauten der DIN 4102-4 [9] kann der Großteil der Konstruktionen nur über einen Verwendbarkeitsnachweis wie z.B. über allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse (abP) oder Zulassungen (abZ) nachgewiesen werden. Um den im abP eingeschränkten Konstruktionsumfang zu erweitern, werden häufig zusätzliche gutachterliche Stellungnahmen (GS) mit herangezogen, um für den objektspezifischen Nachweis eine nicht wesentliche Abweichung vom Verwendbarkeitsnachweis zu erklären. Diese Verwendbarkeitsnachweise in Kombination mit gutachterlichen Stellungnahmen sind in der Regel herstellerabhängig und bedingen immer eine kosten- und zeitintensive Bauteilprüfung als Grundlage. Trotzdem haben die gutachterlichen Stellungnahmen nach dem Ergebnis der Untersuchung den größten Anteil.

Ursprünglich über tabellierte Werte nach DIN 4102-4 abgedeckt, wird inzwischen der Nachweis der Tragfähigkeit (R) für massive Holzbauteile rechnerisch unter Berücksichtigung des effektiven Restquerschnitts nach DIN EN 1995-1-2 erbracht. Diese Tendenz kann ebenfalls auf die raumabschließende Funktion übertragen werden. Allerdings sind die hier vorliegenden Verfahren stark begrenzt. Speziell im Holzrahmenbau müssen unterschiedliche Materialien mit den entsprechenden Hochtemperatureigenschaften sowie deren Kombinationen mit den dazugehörigen gegenseitigen Einflussparametern berücksichtigt werden.

In den Nachbarländern Österreich und Schweiz wurden hierzu bereits Verfahren eingeführt, welche auf dem in der Schweiz entwickelten Modell nach Schleifer [10] beruhen und ein deutlich erweitertes Nachweisspektrum ermöglichen. Die Verfahren sind jedoch auf eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten begrenzt.

### 2.3 Grundlagen zu bestehenden rechnerischen Nachweisverfahren

#### Ein rechnerischer Nachweis beruht auf folgendem Vorgehen:

- Identifikation der brandbeanspruchten Seite, für welche die Feuerwiderstandsdauer berechnet wird. Bei asymmetrischen Aufbauten mit beidseitiger Anforderung müssen beide Richtungen betrachtet werden.
- Berechnung der Schutzzeiten von Einzelschichten.
- Gesamtschutzzeit ergibt sich aus der Summe der Einzelschutzzeiten.
- Berechnete Schutzzeit muss größer oder gleich der geforderten Feuerwiderstandsdauer sein.

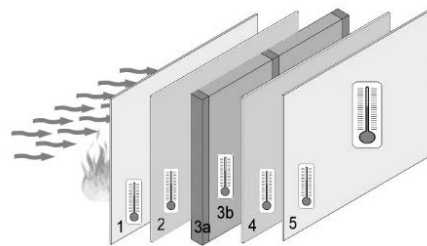


Abb. 2: Systematischer Wandaufbau

Grundsätzlich basieren die in nachfolgender Tabelle (**Tab. 1**) verglichenen Rechenverfahren nach EC5 und Schleifer auf den versuchstechnisch oder durch numerische Simulation ermittelten Schutzzeiten der Einzelschichten. Mittels der rechnerischen Verfahren kann nur das Kriterium Wärmedämmung (I) nachgewiesen werden. Entsprechend EC5 Anhang E kann damit auch das Kriterium des Raumabschlusses (E) als erfüllt angesehen werden. Die im Rechenverfahren relevanten Einflussgrößen zeigen, dass die Bauteilkonfiguration, z.B. die davor bzw. dahinterliegende Schicht einen maßgeblichen Einfluss auf die Schutzzeit der betrachteten Schicht ausübt. Im Gegensatz zum Verfahren nach EC5, welches für definierte Aufbauten den Positionsbeiwert angibt, werden im Schweizer Rechenverfahren nach Lignum [11] (basierend auf Schleifer) diese Faktoren abhängig von der angrenzenden Schicht davor bzw. dahinter getrennt. Somit ist eine flexiblere Beurteilung von Bauteilen möglich. Gegenwärtig durchgeführte Forschungsarbeiten z.B. zu biogenen Dämmstoffen oder der Untersuchung von Gipsplatten und Materialkennwerten [12] [13] beziehen sich auf dieses Rechenverfahren, sodass es auch die Grundlage für die Erweiterung der Rechenmethoden im Rahmen dieser Forschungsarbeit darstellt.

**Tab. 1:** Verfahren nach DIN EN 1995-1-2 Anhang E [8] und Verfahren nach Lignum [11]

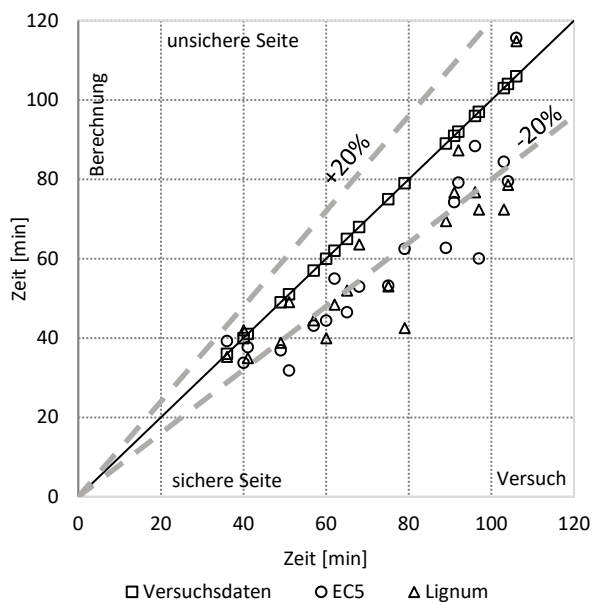
DIN EN 1995-1-2 Anhang E	Erweitertes Verfahren nach Lignum basierend auf Schleifer
Berechnung der Schutzzeit $t_{ins}$ [min] (Temperaturanstieg 140 K auf der feuerabgewandten Oberfläche) jeder Schicht und Addition der Schutzzeiten	Berechnung der schützenden Wirkung jeder Schicht $t_{prot}$ [min] für die darauffolgende Lage (Temperaturanstieg 250 K auf der feuerabgewandten Oberfläche) und Berechnung der Wärmedämmung (Kriterium I – Temperaturanstieg 140 K) für die letzte Schicht
$t_{ins,i} = \sum_{i=1}^{i=n} t_{ins,i} \quad (1)$	$t_{ins} = \sum_{i=1}^{i=n-1} t_{prot,i} + t_{ins,n} \quad (3)$
$t_{ins,i} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos,i} \cdot k_{j,i} \quad (2)$	$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i} \quad (4)$
	$t_{ins,n} = (t_{ins,0,n} \cdot k_{pos,exp,n} + \Delta t_n) \cdot k_{j,n} \quad (5)$
$t_{ins,i}$ Schutzzeit einer Schicht	$t_{prot,i}$ Schutzzeit der zu untersuchenden Schicht i
$t_{ins,0,i}$ Grundwert der Wärmedämmung der Schicht „i“	$t_{prot,0,i}$ Grundschutzzeit der zu untersuchenden Schicht i
$k_{pos,i}$ Positionsbeiwert	$k_{pos,exp,i} / k_{pos,exp,n}$ Positionsbeiwert der zu untersuchenden Schicht i / n basierend auf den davorliegenden Schichten (brandzugewandte Seite)
$k_{j,i}$ Fugenbeiwert	$k_{pos,unexp,i}$ Positionsbeiwert der zu untersuchenden Schicht i basierend auf der dahinterliegenden Schicht (brandabgewandte Seite)
	$\Delta t_i$ Zeitdifferenz für die zu untersuchende Schicht i, welche den Einfluss einer davorliegenden Gipsplatte Typ F oder Gipsfaserplatte berücksichtigt
	$k_{j,i} / k_{j,n}$ Fugenbeiwert für die zu untersuchende Schicht i

## 2.4 Untersuchung der raumabschließenden Funktion von Holzbauteilen über 60 Minuten

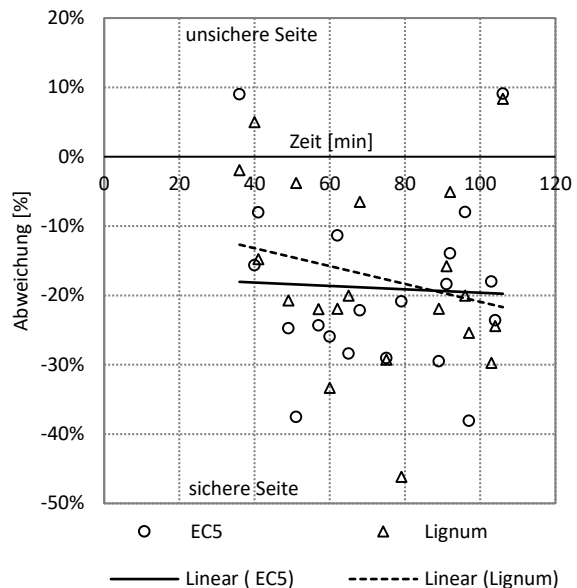
### 2.4.1 Analytische Untersuchung der bestehenden Berechnungsverfahren

Die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Rechenverfahren nach EC5 bzw. Lignum bieten eine Grundlage zur Untersuchung für eine Erweiterung bis zu 90 Minuten Feuerwiderstand. Zur Identifikation der maßgeblichen Einflussparameter, werden diese Berechnungsverfahren hinsichtlich der Anwendung außerhalb der vorgegebenen Grenzen untersucht. Um die analysierten Konstruktionen mit dem EC5 Verfahren nachweisen zu können, wurden teilweise über den Anwendungsbereich hinaus Annahmen zur Berechnung getroffen. Da die innerhalb von Brandversuchen untersuchten Konstruktionen nicht alle auf Raumabschluss (EI) sondern teilweise auch auf Tragfähigkeit (R) versagt haben, wird der tatsächliche Feuerwiderstand für den Raumabschluss einiger Konstruktionen über dem im Versuch angegebenen Versagen liegen. **Abb. 4** stellt Berechnungs- und Versuchsergebnisse gegenüber und zeigt, dass mit zunehmendem Feuerwiderstand die Streuung und Abweichung der Rechenergebnisse zunehmen. Die Ergebnisse liegen aber weiterhin auf der sicheren Seite (obwohl teilweise ein Traglastversagen (R) vorliegt). Die Ausnahme bilden zwei Konstruktionen, bei der ersten (ca. 40 min) ist die Versagensart nicht bekannt, die zweite (ca. 105 min) hat als einzige eine dreilagige Bekleidung aus zwei Lagen mit mineralischer Bekleidungsschicht (GKF) und einer Spanplatte. Diese hat im Versuch auf Tragfähigkeit versagt. Eine Bewertung hinsichtlich des Raumabschlusses kann hier nur anhand der gemessenen Temperaturen in den Einzelschichten erfolgen.

**Abb. 5** zeigt die prozentualen Abweichungen und die Ausgleichsgeraden, die auch die in der Literatur [10] aufgestellte These, dass die Sicherheit des Modells mit zunehmender Versuchsdauer größer wird, bestätigt. Bauteilkonfigurationen mit mehr als zwei Bekleidungslagen sind noch genauer zu untersuchen.



**Abb. 3:** Vergleich zwischen Berechnungsverfahren nach EC 5 bzw. Lignum (basierend auf Schleifer)



**Abb. 4:** Prozentuale Abweichung abhängig von der Beanspruchungsdauer

### 2.4.2 Untersuchung von Einzelschichten zur Beurteilung der Bauteile

Um das oben gezeigte Ergebnis der analytischen Untersuchung bewerten zu können, ist es erforderlich, die Einzelschichten mit deren Einfluss in Bezug auf den Feuerwiderstand der Gesamtkonstruktion zu betrachten. Hierfür werden die Versagenszeiten der Einzelschichten berechnet und mit den Temperaturverläufen vorliegender Versuche verglichen. Die Qualität der Rechenergebnisse hängt von der Anzahl der Lagen, der Materialität der Einzelschicht sowie der Kombinationsreihenfolge der Schichten ab. Ein Beispiel hierfür ist das Ergebnis, dass die dem Feuer zugewandte mineralische Bekleidung, z.B. aus GKF-Platten, die Feuerwiderstandsdauer der Gesamtkonstruktion am stärksten beeinflusst. Eine detaillierte Analyse des Beitrages der unterschiedlichen Bauteilschichten und Materialien wurde in [14] durchgeführt.

### 2.5 Experimentelle Untersuchung von Bauteilen unter Brandbeanspruchung

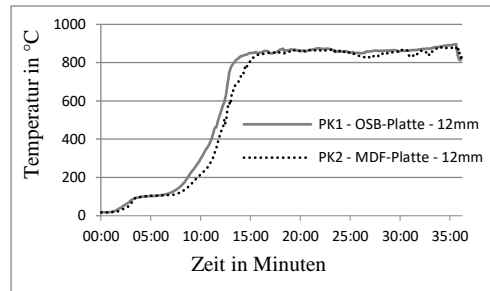
Um das Verhalten von Einzelschichten unterschiedlicher Baustoffe experimentell zu untersuchen, werden Versuche im Kleinbrandofen durchgeführt und ausgewertet. So kann der Temperaturdurchgang durch die Bauteilschicht ermittelt werden. Neben bestehenden Baustoffen werden auch vergleichende Untersuchungen zu bisher nicht oder nur unzureichend untersuchten Materialien wie z.B. der MDF-Platte durchgeführt, die später als zusätzliche Materialien im Modell mit aufgenommen werden.



(a) Kleinbrandversuch  
OSB / MDF  
feuerzugewandt



(b) Kleinbrandversuch  
OSB / MDF  
feuerabgewandt



(c) Vergleich der Temperaturentwicklung hinter einer OSB / MDF Platte mit einer Dicke von 12 mm

**Abb. 5:** Experimentelle Versuche im Kleinbrandofen

Da die Ergebnisse der Kleinbrandversuche keine repräsentativen Aussagen zum Riss- und Abfallverhalten von Bekleidungslagen liefern können, ist hier im Anschluss ein Abgleich mit den Ergebnissen aus Großbrandversuchen notwendig.

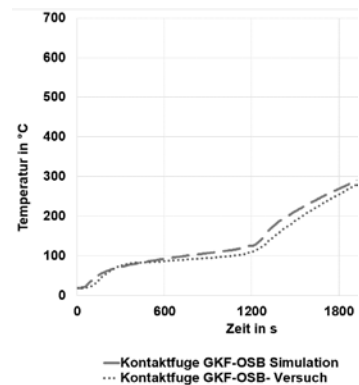
## 2.6 Numerische Simulationsmodelle zur Modelluntersuchung

Als Zwischenschritt zur Entwicklung von rechnerischen Ansätzen dient eine numerische Simulation.

Mittels einer Parameterstudie können unterschiedliche Bauteilkonfigurationen betrachtet werden. Das dargestellte Beispiel in **Abb. 6** soll exemplarisch, anhand einer einfachen Bauteilkonfiguration (GKF 15 mm und OSB 19 mm) das Simulationsergebnis vergleichend zu einem Versuch darstellen.

### Vergleichsuntersuchung:

GKF 15 mm  
OSB: 19 mm  
Temperaturverlauf  
in der Kontaktfuge  
GKF - OSB



**Abb. 6:** Beispieldarstellung numerischer Simulation einer Bekleidungslage

Zur Beschreibung der Pyrolysevorgänge sowie der Wärmeübertragungsmechanismen im Simulationsmodell

sind sehr viele Faktoren, wie poröse Holzkohleschichten, Rissbildung oder Änderungen im Materialgefüge, die nicht über die Fouriersche Wärmeleitgleichung beschrieben werden können, notwendig. Daher werden implizite Modellansätze verwendet, die auf effektiven Materialparametern basieren. Dies bedeutet, dass physikalisch und mathematisch schwer beschreibbare Effekte durch Variation der temperaturabhängigen Materialparametern Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) sowie spezifischen Wärmekapazität ( $c_p$ ) abgebildet werden. Diese werden modifiziert, bis das entsprechende Simulationsmodell mit den Versuchsergebnissen übereinstimmt. Auf diese Weise lassen sich geringe Abweichungen (vgl. **Abb. 6**) im Simulationsmodell nachbilden. Dieses Vorgehen hat jedoch den Nachteil, dass die Materialparameter abhängig vom Simulationsmodell sind und eine Übertragbarkeit von Materialparametern auf neue Simulationsmodelle, die z.B. den Abfall von Bauteilschichten berücksichtigen, nicht möglich ist. Somit muss im Rahmen der Arbeit eine Parameterstudie zur Ermittlung von rechnerisch einsetzbaren Materialparametern erfolgen, welche für explizite Ansätze in der numerischen Simulation zur Beurteilung von Effekten wie z.B. des Abfallens von Bekleidungen oder des Abbrandes von Holz über entsprechende Sub-Modelle herangezogen und implementiert werden können.

## 2.7 Schlussfolgerung

Eine rechnerische Beurteilung der raumabschließenden Leistungsfähigkeit von Holzrahmen- und Holzmassivkonstruktionen bis zur baurechtlich geforderten Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten ist von hoher praktischer Relevanz. Die gegenwärtig eingesetzten Nachweismethoden nach EC5 bzw. auf Basis des Modells von Schleifer bieten hierfür eine Grundlage, können jedoch nicht ohne weitere Untersuchungen auf höhere Feuerwiderstandsdauern als 60 Minuten übertragen werden. Durch den deutlich erweiterten Anwendungsbereich und die Tatsache, dass sich die Nachweismethode nach Schleifer in den Nachbarländern und der Wissenschaft etabliert haben, bietet dieses Verfahren ein größeres Potential zur Weiterentwicklung als das eingeführte Nachweisverfahren des EC5. Der vorliegende Beitrag stellt einen Zwischenstand der geplanten Gesamtuntersuchung dar. Die geplante Methodik zur Erweiterung brandschutztechnischer Nachweisverfahren werden beschrieben sowie die die Notwendigkeit des Handlungsbedarfes bei der Erweiterung der rechnerischen Nachweise für den Raumabschluss von Holzbauteilen im Brandfall zur Abdeckung der baurechtlich geforderten Feuerwiderstandsdauern unterstrichen.

## 3. Literaturverzeichnis

- [1] HAFNER, A.; RÜTER, S.; EBERT, S.; SCHÄFER, S.; KÖNIG, H.; CRISOFARO L.; DIEDERICH, S.; KLEINHENZ, M.; KRECHEL, M.: *Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden - Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau)*. Bochum, 2017
- [2] GRÄFE, M.; MERK, M.; WERTHER, N.; FÜLLE, C.; LEOPOLD, N.; SPRINZ, D.; BUSCH, M.; BRUNN, M.: *Regeldetailkatalog für den mehrgeschossigen Holzbau in Gebäudeklasse 4*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2015 (Bauforschung für die Praxis 111)
- [3] MERK, M.: *Sicherheit mehrgeschossiger Holzgebäude im Brandfall : Eine Risikoanalyse unter stochastischer Abbildung realer Ereignisverläufe im Brandfall*. München : Universitätsbibliothek der TU München. Dissertation. 2015
- [4] HAFNER, A.; SCHÄFER, S.; KRAUSE, K.; RAUCH, M.; MERK, M.; WERTHER, N.; OPITSCH, W.: *Methodenentwicklung zur Beschreibung von Zielwerten zum Primärenergieaufwand und CO<sub>2</sub>-Äquivalent von Baukonstruktionen zur Verknüpfung mit Grundstücksvergaben und Qualitätssicherung bis zur Entwurfsplanung*. Bochum, 2016
- [5] DIN EN 13501-2:2016-12: Deutsche Norm. 12/2016. *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung EN 13501-2:2016*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2016-12
- [6] ARGEBAU BAUMINISTERKONFERENZ, KONFERENZ DER FÜR STÄDTEBAU, BAU- UND WOHNUNGSWESEN ZUSTÄNDIGEN MINISTER UND SENATOREN DER LÄNDER: *Musterbauordnung* (idF v. 11.2002)
- [7] ARGEBAU BAUMINISTERKONFERENZ, KONFERENZ DER FÜR STÄDTEBAU, BAU- UND WOHNUNGSWESEN ZUSTÄNDIGEN MINISTER UND SENATOREN DER LÄNDER: *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise* (idF v. 07.2004)
- [8] DIN EN 1995-1-2. 2010-12. *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2010-12

- [9] DIN 4102-4. 2016-05. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 2010-12
- [10] SCHLEIFER, V.: *Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall*. Zürich : vdf, Hochsch.-Verl. AG an der ETH, 2009 (Bericht / Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich Nr. 313)
- [11] FRANGI, A.; BRÜHWILER, I.; STUDHALTER, J.; WIEDERKEHR, R.: *Lignum Dokumentation Brandschutz 3.1 Feuerwiderstandsbemessung - Bauteile und Verbindungen*. 1. Auflage. Zürich, 2011
- [12] NELE, K.: *Implementation of new materials to the component additive method for fire design of timber structures*. Tallinn, Tallinn University of Technology. Master's Thesis. 2016
- [13] JUST, Alar: *Structural Fire Design of Timber Frame Assemblies Insulated by Glass Wool and Covered by Gypsum Plasterboards*. Tallinn, Tallinn University of Technology. Dissertation. 2010
- [14] HOFSTÄTTER, Michael: *Analyse der Übertragbarkeit von Berechnungsverfahren zum Nachweis der raumabschließenden Wirkung von Holzbauteilen auf eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten*. München, Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion. Master's Thesis. 2017