

# **Leitdetails für Konstruktionen in Holzbauweise in den Gebäudeklassen 4 und 5 gemäß der LBO BW (HolzbauRLBW)**

Prof. Ludger Dederich  
Hochschule Rottenburg  
Rottenburg/Neckar, Deutschland

zusammen mit dem Hauptautor  
Patrick Sudhoff, HS Magdeburg Stendal/HS Rottenburg

sowie  
Elisabeth Suttner, TU München  
Prof. Dr.-Ing. Björn Kampmeier, HS Magdeburg Stendal  
Dr.-Ing. Norman Werther, TU München  
Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, TU München





# Leitdetails für Konstruktionen in Holzbauweise in den Gebäudeklassen 4 und 5 gemäß der LBO BW (HolzbauRLBW)

## 1. Einleitung

Mit dem aktuell laufenden und über das Land Baden-Württemberg sowie den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) geförderten Forschungsvorhaben «Entwicklung einer Richtlinie für Konstruktionen in Holzbauweise in den GK 4 und 5 gemäß der LBO BW (HolzbauRLBW)» wird unter anderem der Fragestellung zum Einfluss von Bauteil- und Elementfugen einschließlich Durchdringungen haustechnischer Installationen zum Feuerwiderstand von Holzbaukonstruktionen im mehrgeschossigen Bauen nachgegangen. Gemeinsam werden durch die Hochschule Rottenburg, die TU München und die HS Magdeburg-Stendal praxisübliche Bauteilanschlüsse hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit im Sinne der Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBO-BW) bewertet, ggf. weiterentwickelt und zu Ausführungsempfehlungen zusammengefasst. In dem Forschungsvorhaben werden hierzu nationale und internationale Forschungsergebnisse aus Brandversuchen ausgewertet sowie Konstruktionen und Anschlüsse analytisch und mittels Brandversuchen untersucht [1].

Durch die Herstellung z.T. ohnehin baupraktisch notwendiger, luftdichter Ebenen, der Dämmung von Hohlräumen und dem Verschluss von Fugen durch z.B. eine Verspachtelung, kann die Übertragung von Feuer und Rauchgasen in andere Nutzungseinheiten wirksam unterbunden werden, was sich aus experimentellen Untersuchungen ableiten lässt [2]. Für die Vermeidung von konvektiven Strömungen ist zudem sicherzustellen, dass die luftdichte Ebene im Brandfall entweder in einem thermisch nicht beanspruchten Bereich liegt oder eine ausreichend lange Beständigkeit gegenüber Temperaturbeanspruchungen aus dem Brandraum aufweist bzw. entsprechende Dämmschichten in Bauteilzwischenräumen einen ausreichenden Strömungswiderstand gegenüber konvektiven Strömungen besitzen. Der Fokus der Untersuchungen innerhalb des Forschungsvorhabens liegt auf der Übertragung und Einhaltung bereits vorhandener Prüf- und Beurteilungskriterien nach DIN EN 13501-2 und DIN 4102-2 zum Raumabschluss (E), Isolation (I) und Rauchdurchtritt von flächigen Bauteilen auf die Fuge.

Ergänzend zu den normativen Kriterien soll innerhalb des Projektes die Qualität der Bauteil- und Elementfugen auch im Hinblick auf den Durchtritt von Rauchgasen messtechnisch erfasst werden. Derzeit erfolgt dies innerhalb der Prüfmethodik nach DIN 4102-2 für die raumabschließende Funktion der Fläche rein optisch. Für die quantitative Beurteilung des Rauchdurchtritts in Form eines Leakagestroms oder einer Beurteilung der Toxizität, insbesondere durch die Anschlussfuge, liegen bereits unterschiedliche Ansätze im Rahmen von vorangegangenen Forschungsarbeiten vor. So wurden in [3] mittels eines Rauchauffangkastens und weiterer Analytik bereits erste Untersuchungen bzgl. des Rauchdurchtritts von Wand-Anschlüssen bekleideter Holztafelbauelemente durchgeführt. Die Ansätze zur Messung der optischen Dichte und Rauchgaskonzentration werden dabei nachfolgend um das Konzept einer direkten Volumenstrommessung erweitert und kombiniert.

Mittels dieser Ansätze können unterschiedliche Variationen von Bauteilfügungen in Holzbauweise mit mineralischen Bauweisen bezüglich der Anforderungen des kürzlich überarbeiteten § 26 (3) LBO-BW verglichen werden [4]. Die normativen Kriterien zum Nachweis der Anforderungen hinsichtlich einer Begrenzung des Durchtritts von Feuer und Rauch werden so ergänzend und die Fügungen weiterführend bewertet. Die Ergebnisse der Versuche fließen in einen im Rahmen des Projektes zu erstellenden Konstruktionsdetailkatalog ein, der Leitdetails zur Ausführung von Bauteil- und Elementfugen im Sinne der Landesbauordnung Baden-Württemberg enthält.

## 2. Bauordnungsrechtliche Grundlagen und Beurteilung von Leistungskriterien

Die allgemeinen brandschutztechnischen Anforderungen an bauliche Anlagen ergeben sich aus § 15 der LBO-BW [4] bzw. § 14 der Musterbauordnung [5]. Demnach sind bauliche Anlagen «so anzuordnen, zu erreichen, zu ändern und instand zu halten, dass

- der Entstehung eines Brandes und
- der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und
- bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren
- sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.»

Aus diesen Vorgaben ergeben sich unter anderem Anforderungen an die Brennbarkeit der Baustoffe, die Feuerwiderstandsdauer der Konstruktion, einschließlich der Begrenzung der Feuer- und Rauchausbreitung auf definierte Bereiche, die (Rauch-) Dichtigkeit und den Feuerwiderstand der Verschlüsse von Öffnungen sowie die Anordnung, Lage und Gestaltung von Rettungswegen.

Die Einteilung der konkreten Anforderung an die Feuerwiderstandsfähigkeit von tragenden und raumabschließenden Bauteilen resultiert in Deutschland im Wesentlichen aus der Gebäudehöhe sowie der Größe der Nutzungseinheiten. Gemäß der derzeitigen Musterbauordnung dürfen in Gebäudeklasse 4 (Gebäude mit einer Höhe bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m<sup>2</sup>) nur hochfeuerhemmende Bauteile aus im Wesentlichen nichtbrennbaren Baustoffen (F60-AB) oder brennbaren Baustoffen mit einer brandschutztechnischen Bekleidung (K<sub>2</sub>60) gemäß der aktuellen M-HFHHolzR verwendet werden [6]. Die Gebäudeklasse 5 erfordert gemäß LBO-BW bzw. MBO feuerbeständige Bauteile, «die im Wesentlichen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen (F90 AB) und die bei raumabschließenden Bauteilen zusätzlich eine in Bauteilebene durchgehende Schicht aus nichtbrennbaren Baustoffen haben müssen.» [4], [5]

Die ursprüngliche Formulierung der LBO-BW 2015, in der neben der Erfüllung der Feuerwiderstandsfähigkeit ein absoluter Ausschluss des Durchtritts von Feuer und Rauch gefordert wurde, führte aus technischer und juristischer Sichtweise zu einer schwierigen Interpretation, sodass eine Überarbeitung erforderlich wurde [7]. So lautet die neue Formulierung gemäß dem Gesetz zur Änderung der Landesbauordnung für Baden-Württemberg vom 18.07.2019:

«Abweichend [...] sind tragende oder aussteifende sowie raumabschließende Bauteile, die hochfeuerhemmend oder feuerbeständig sein müssen, aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn die hinsichtlich der Standsicherheit und des Raumabschlusses geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit nachgewiesen und die Bauteile und ihre Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sind.» [8]

Hiermit ergibt sich insbesondere eine Übertragbarkeit der raumabschließenden Anforderungen von flächigen Bauteilen gemäß § 27 LBO-BW auf die Element- und Bauteilfugen, womit ein Nachweis anhand bisherigen Prüfverfahren für die Einhaltung des Raumabschlusses möglich ist.

Die raumabschließende Funktion von Bauteilen kann in Kombination mit der Isolation als ein maßgebliches Kriterium zur Verhinderung des Durchtritts von Feuer und Rauch angesehen werden. So gibt es in Deutschland aktuell zwei zugelassene Prüfverfahren zur Beurteilung der Widerstandsfähigkeit von Bauteilen gegenüber Feuer und Rauch. Die DIN EN 13501-2 bzw. DIN EN 1363-1 sieht eine Beurteilung der Leistungsparameter Tragfähigkeit (R), Raumabschluss (E) und Isolation (I) vor. Weiterhin existieren unter anderem Prüfkriterien zur Fähigkeit, Stoßbeanspruchungen zu widerstehen (M) sowie eine Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (S) im Sinne von Rauchschutztüren bzw. Feuerschutzabschlüssen [9], [10]:

**Kriterium Tragfähigkeit (DIN EN: R Resistance):**

- tragende Bauteile dürfen unter der geforderten Prüflast nicht zusammenbrechen
- Einhaltung einer maximal zulässigen Verformung oder Verformungsgeschwindigkeit statisch bestimmt gelagerter Bauteile

**Kriterium Wärmedämmung (DIN EN: I Isolation):**

- Temperaturerhöhung max. 180 K je Einzelmessstelle / 140 K im Mittel

**Kriterium Raumabschluss (DIN EN: E Étanchéité):**

- Durchtritt unwesentlicher Mengen an Flammen oder heißer Gase, die nicht zur Ausbreitung des Brandes auf der vom Feuer abgewandten Seite beitragen
- Prüfung der Entzündung eines Wattebauschs durch Heißgase oder Flammenbildung
- Prüfung auf Spalte und Öffnungen, die über bestimmte Abmessungen hinausgehen (mittels Spaltlehren)

**Kriterium Rauchdichtheit (DIN EN: S -Smoke):**

- Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckagerate) bei Umgebungstemperatur und 200°C; als Prüfung bei Rauchschutztüren und als Zusatzanforderung auch bei Feuerschutzabschlüssen und Lüftungsleitungen einschließlich Klappen

Als Prüfkriterien werden gemäß DIN EN 13501-2 dabei die Versagensmerkmale «Spalt-/Rissbildung», «Entzündung eines Wattebauschs» bzw. dauernde Entflammung auf der feuerabgewandten Seite» verwendet. Hierbei soll festgestellt werden, ob Heißgase durch mögliche Einrisse im Prüfkörper auf der feuerabgewandten Seite in signifikanter Menge auftreten. Der Raumabschluss gilt als nicht mehr gewahrt, wenn entweder

- der Wattebausch entzündet wird, d.h. er entflammt oder glimmt, oder
- die 6 mm bzw. 25 mm-Spaltlehren in Spalten entlanggeführt werden bzw. durch Spalten bis in den Prüfofen hineingeführt werden können.
- eine andauernde Flammenbildung auf der feuerabgewandten Seite auftritt [9].

Mit den dargestellten Methoden werden die Beschädigungen des Bauteils infolge der Temperaturbeaufschlagung erfasst. Zudem lässt sich in Feuerwiderstandsprüfungen an raumabschließenden Bauteilen ein Rauchaustritt an der brandabgewandten Seite optisch registrieren. Jedoch fordert nur die Prüfung nach DIN 4102-2 eine Beobachtung und Bewertung des Maßes der Rauchentwicklungen während des Versuchs [11]. Eine quantitative Beurteilung des Rauchdurchtritts in Form eines Leakagestroms oder einer Messung der Leitkomponenten im Brandrauch sind derzeit kein Bestandteil der durchgeführten Prüfverfahren. Ausnahme bildet hier nur die Beurteilung des Leakagestroms, an Feuerschutzabschlüssen bei Umgebungstemperatur und bei 200°C, wie bereits oben aufgeführt.

Die zentrale Nachweisführung der innerhalb des Forschungsvorhabens HolzbauRLBW geplanten Brandversuche besteht darin, geeignete baupraktische Bauteilanschlüsse in Holzbauweise zusammenzustellen, welche die Anforderungen gemäß § 26 (3) LBO-BW erfüllen. Dabei sollen die Übertragbarkeit der bisherigen Anforderungen hinsichtlich des Raumabschluss und der Isolation vom Bauteil auf die Bauteilfuge nachgewiesen werden. Vor diesem Hintergrund soll im Folgenden ein erweitertes Analyseverfahren zur wissenschaftlichen Beurteilung des Leakagestroms vorgestellt werden, mit welchem eine vergleichende Beurteilung der bisherigen Prüfkriterien mit dem tatsächlichen Rauchdurchtritt der Fuge ermöglicht werden soll.

### 3. Stand der Forschung und Technik zur quantitativen Beurteilung des Rauchdurchtritts

Zur Prüfung des Durchtritts von Feuer und Rauch durch raumabschließende Bauteile und deren Anschlüsse existiert abseits von Türen/Abschlüssen derzeit kein standardisiertes Messverfahren. Bisherige Forschungsarbeiten lieferten unterschiedliche Beurteilungsansätze, die nachfolgend anhand ihrer Vor- und Nachteile kurz erläutert werden. Die Prüfung erfolgte hierbei an Bauteilanschlüssen z.B. Wand-Decken-Anschlüssen, die zeitgleich einer Brandbeanspruchung in einem Prüfofen unterzogen wurden.

HOSSER, KAMPMEIER et al. entwickelten ein Messprinzip, indem die entstehenden Rauchgase in einem Rauchauffangkasten (20 cm x 20 cm) gesammelt und zusammen mit einem Strom aus Frischluft durch ein Rohr mit einer Extinktionsmessstrecke geleitet werden (siehe Abbildung 1). Durch eine Transmissionsmessung wird die optische Dichte des Mediums festgestellt. Ausgehend von Absorption und Streuung der Lichtstrahlen im Medium verringert sich die Intensität am entgegengesetzten Messpunkt mit zunehmender Trübung auf Grundlage des Beer-Lambertschen-Gesetzes [3]. Als Messinstrument wurde hierzu das Rauchdichtemessgerät MAURER ME 82 verwendet, welches ein nach DIN 50055 genormtes Messgerät zur Bestimmung der Rauchdichte darstellt [12]. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der genormten Messtechnik sowie einer verhältnismäßig einfachen Konstruktion. So wurde das Messprinzip bereits erfolgreich angewandt, um eine grundsätzliche Aussage bezüglich eines Leakagestromes durch Bauteilfugen zu treffen. Ein Nachteil der Messtechnik liegt in der Verfälschung der Transmissionsmessung durch z.B. Wasserdampf, der quantitativ nicht von einer Trübung durch Rauchgase unterschieden werden kann. Weiterhin kann mit dem Messverfahren kein direkter Leakagestrom bestimmt werden, sodass nur eine qualitative Aussage möglich ist. Da die optische Dichte der Rauchgase ebenfalls variabel ist, hängt das Ergebnis zudem vom Verbrennungsvorgang im Brandraum ab [7].

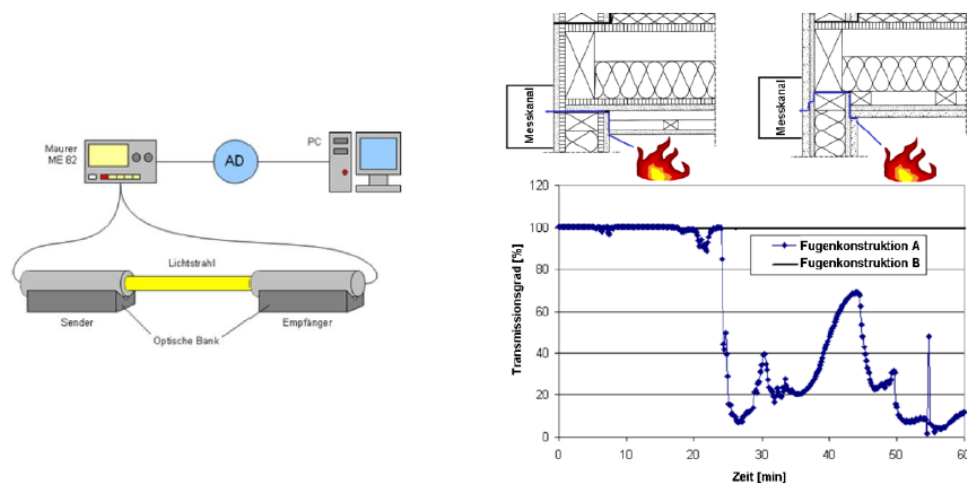


Abbildung 1: Prinzipskizze der Messtechnik sowie der Transmissionsmessung in einem an den Fugen angebrachten Messkanal [13], [3]

Ein anderes Messprinzip nach HOSSER et al., welches nach STEIN modifiziert wurde, basiert ebenfalls auf einem Rauchauffangkasten, der an der Bauteilfuge auf der feuerabgewandten Seite installiert wird (siehe Abbildung 2). Über eine Gasanalyse werden die Bestandteile der Brandgase im Ofen gemessen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Konzentration über den Fugenverlauf nicht ändert. Anschließend werden die austretenden Gase unter Zuführung einer definierten Frischluftmenge (100 l/min) über einen Rauchauffangkasten einer erneuten Gasanalyse zugeführt. Über die Änderung der Gaskonzentrationen wird unter Berücksichtigung der Frischluftzufuhr aus dem Volumenstrom des Abgases auf die Leakage rate geschlossen [2].

Als Messtechnik werden mehrere Gasanalysatoren für  $O_2$ , CO bzw.  $CO_2$  verwendet, die für den Einsatz im Brandofen eine ausreichende thermische Beständigkeit aufweisen müssen. Der Vorteil des Messprinzips liegt in der indirekten Messung des Leakage-

stroms, womit die Leckage indirekt anhand der Massenerhaltungsgleichung als Volumen pro Zeiteinheit quantifiziert werden kann. Auch dieses Messprinzip wurde bereits in mehreren Forschungsarbeiten verwendet, wobei eine Verfälschung der Ergebnisse durch Wasserdampf im Gegensatz zum vorherigen Messprinzip vermieden wird. Dennoch handelt es sich um ein fehleranfälliges Verfahren, da abhängig von verwendetem Brennstoff (Öl/Gas) kein direkter Vergleich möglich ist. Weiterhin kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Konzentration der aufgefundenen Gase durch Pyrolysevorgänge im Bauteil bzw. der Bauteilfuge verändert, womit die Massenerhaltungsgleichung nicht mehr erfüllt wäre.

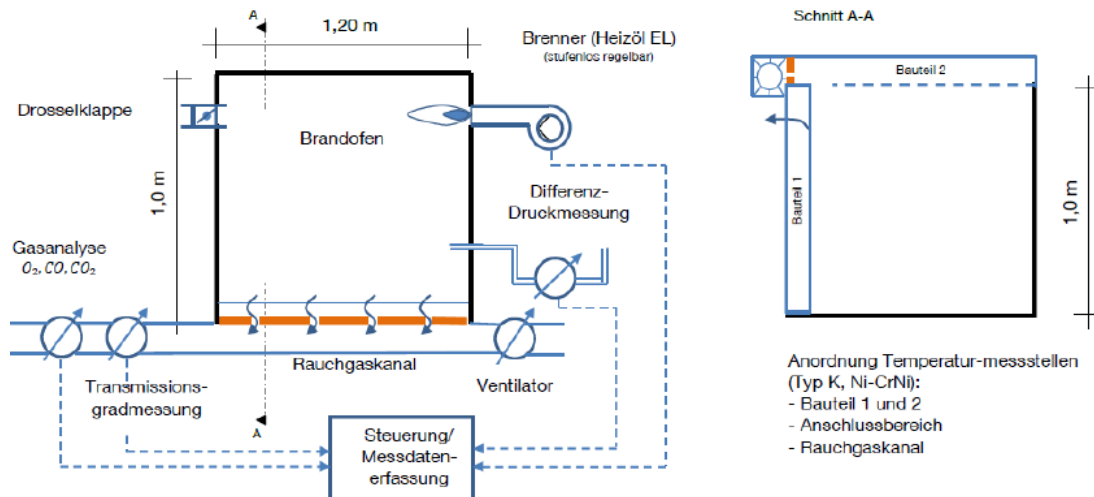


Abbildung 2: Prinzipskizze der Leckagestrombestimmung anhand Gasanalyse nach [2]

## 4. Messkonzept zur weiterführenden quantitativen Beurteilung des Lageastroms

Im Rahmen des Projektes HolzbauRLBW wurde ein weiterer Ansatz zur Beurteilung des Rauchdurchtritts durch Bauteilfugen entwickelt, der sich aus einer Optimierung bestehender Versuchsgrundlagen ergibt. Das Vorgehen besteht im Gegensatz zu den vorherigen Forschungsarbeiten in der direkten Bestimmung des Volumenstroms in Kombination mit einer Gasanalyse.

Für das Auffangen der Rauchgase wurde auf bereits bestehende Prinzipien zurückgegriffen. Ein Prototyp des Rauchauffangkastens (RAK) wurde zunächst aus Siebdruckplatten hergestellt, auf denen vorderseitig eine Plexiglasscheibe als Sichtfenster angebracht ist. Das Maß des Prototyps beträgt 200 mm x 200 mm x 950 mm. Die Siebdruckplatten sowie das Sichtfenster wurden untereinander mit hochtemperaturbeständigem Silikon abgedichtet. Die Dichtung zum Bauteilofen erfolgt über ein an der Innenseite angebrachtes Kamindichtband. Es ist vorgesehen den Prototyp nach erfolgreichen Testläufen durch eine geeignete Metallkonstruktion zu ersetzen. Zur Messung der normativen Kriterien werden Revisionsöffnungen vorgesehen, die während der gesamten Versuchsdauer einen Wattebauschttest an der Fuge ermöglichen.

An den RAK schließt sich ein Abzugsrohr mit variablem Nenndurchmesser DN an, in welchem die Rauchgase zunächst der Analytik zugeführt und anschließend über den Auslass abgeleitet werden. Für die Messung der Strömungsgeschwindigkeit und dem daraus resultierenden Volumenstrom ist eine Vor- und Nachlaufstrecke zur Ausbildung eines annähernd rotationssymmetrischen Strömungsprofils am Messpunkt erforderlich. Da für die Länge der Strecke keine allgemeingültigen Empfehlungen existieren, wurde zunächst ein Vorlauf gewählt, der dem 10-fachen (Rücklauf mind. 5-fachen) Rohrdurchmesser entspricht. Am Messpunkt werden Strömungsgeschwindigkeit sowie diverse Gasspezies mittels eines Kombimesegerätes bestimmt. Um einen etwaigen Überdruck im Messkanal zu registrieren, ist ein zusätzlicher piezoresistiver Drucksensor im RAK vorgesehen. Das Abzugsrohr wurde mit einem handelsüblichen Rauchrohr ausgeführt. In Abbildung 3 ist eine Zeichnung des derzeitigen Prototyps dargestellt.

Die Wahl der Rohrennenweite stellt aus strömungsmechanischen Gründen einen für die Messung signifikanten Parameter dar. Die messtechnisch sinnvollen Rohrennenweiten sollen daher im Folgenden auf Basis strömungsmechanischer Grundlagen bestimmt werden.

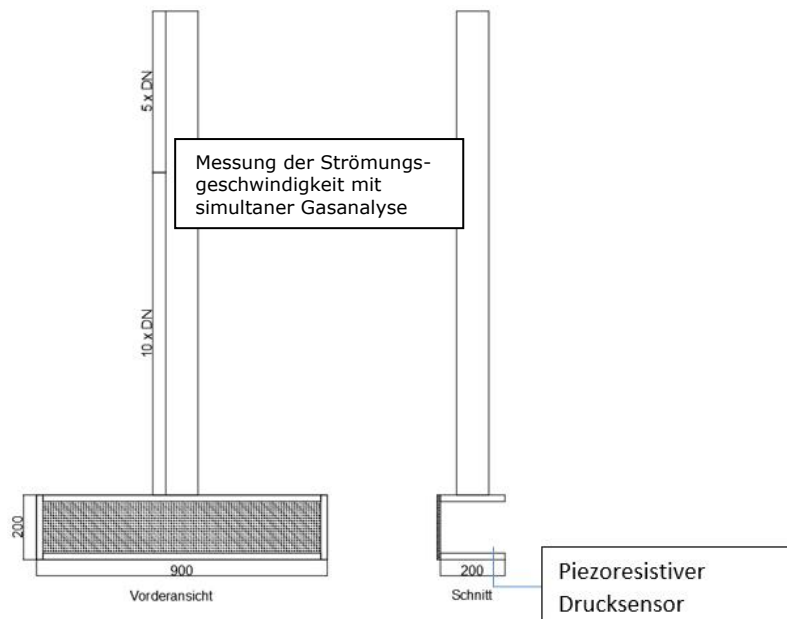


Abbildung 3: Detailzeichnung des RAK-Prototyps mit Position der Messtechnik

Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit basiert auf dem Gesetz von Bernoulli. Mithilfe einer Staudruck-(Prandtl-)Sonde werden der Gesamtdruck (entgegen der Strömungsrichtung) und der statische Druck (senkrecht zur Strömungsrichtung) im Abgasrohr gemessen, aus deren Differenz der dynamische Druck (Staudruck) resultiert. [13]

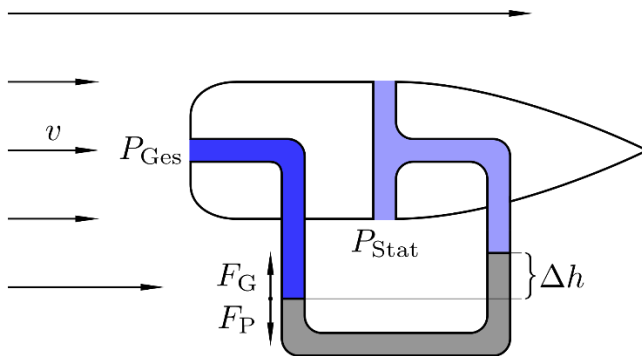


Abbildung 4: Schematische Darstellung einer Prandtl-Sonde [14]

Durch den RAK wird ein freies Abströmen der über die Fuge austretenden Gase vermindert, sodass ein Strömungswiderstand entsteht. Dabei muss ein Rückstau der aufgefangenen Gase möglichst ausgeschlossen werden, um die Leckagestrommessung nicht zu verfälschen. Maßgeblich für den Rückstau effekt im RAK und Abzugsrohr ist nicht der in Strömungsrichtung vorliegende dynamische Druck, sondern der Druckverlust  $\Delta p$  über die Rohrleitungslänge  $l$ . Die Strömung im Abzugsrohr resultiert einerseits auf dem Druckunterschied zwischen Ofen, RAK und Umgebung und andererseits auftriebsbehaftet aufgrund von Temperatur- bzw. Dichtegradienten. Im vorliegenden Fall liegt eine Expansionsströmung vor, deren Druck infolge von Reibungsverlusten in Strömungsrichtung abnimmt. Ist der Druckverlust zu hoch, so kommt es ggf. zu einer Druckerhöhung im Rauchauffangkasten, der die Leckrate signifikant beeinflusst. Der Messbereich sollte daher so gewählt werden, dass der Druckverlust im Rohr festzulegenden Überdruck gegenüber der Umgebung nicht überschreitet, da es ansonsten zu einem Rückstau effekt kommen kann. Gleichzeitig kann das Abgasrohr nicht beliebig vergrößert werden, da sonst keine signifikanten Strömungsgeschwindigkeiten auftreten.

Für die Erprobungsversuche werden zwei Durchmesser vorgesehen, um die bei einem tatsächlichen Brandversuch aufkommenden Leakageströme untersuchen zu können:

- Rohrdurchmesser  $d = 50$  mm, vorteilhaft aufgrund der niedrigen Mindestvolumenströme und geringem Messfehler, nachteilig aufgrund des möglicherweise schnellen Erreichens der oberen Messgrenze
- Rohrdurchmesser  $d = 80$  mm als Kompromiss mit höherem Mindestvolumenstrom jedoch größerem Messbereich

Geringere Rohrdurchmesser werden aufgrund des Platzbedarfs der Messtechnik sowie einer weiteren Reduzierung des maximalen Volumenstroms nicht empfohlen. Sofern trotz der genannten Maßnahmen ein signifikanter Überdruck auf der brandabgewandten Seite gemessen wird, besteht eine weitere Option in der manuellen Regelung des Ofendrucks in Abhängigkeit des Drucks im RAK. Da hiermit ein Eingriff in die Ofensteuerung erfolgt, ist dies jedoch keine primäre Option. Der Druck erhöht sich damit nicht nur auf die Fuge, sondern auf die gesamte Bauteiloberfläche.

Für die Bestimmung des Volumenstroms sowie der Gaskonzentrationen wird ein Kombi-messgerät aus der Emissionstechnik verwendet. Das Messgerät wird in vielen Bereichen bei Verbrennungsprozessen, sowie der Emissions- und Prozessgasüberwachung (u. a. von Schornsteinfegern) eingesetzt und ist durch die Filtertechnik und die Temperaturbeständigkeit bis  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  dementsprechend für Brandrauch deutlich besser geeignet als herkömmliche Multigas-Analysatoren [15]. In Rücksprache mit dem Hersteller ist ein Einsatz über zwei Stunden im Rahmen der Messbereiche ohne weiteres möglich, anschließend wird das Gerät mit Frischluft gespült um die Sensorik zu schonen. Als Leitkomponenten werden hierbei  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  mittels elektrochemischer Sensoren erfasst und parallel zum Leakagestrom aufgezeichnet. Somit können zum Leakagestrom einzelne Rauchgaskomponenten differenziert betrachtet werden. Zur Berücksichtigung der Abgasfeuchte ist ebenfalls ein Feuchtesensor vorgesehen. Neben der Gasanalytik ist das Gerät in der Lage, eine simultane Bestimmung des Volumenstroms über eine Kombi-Prandtl-Sonde durchzuführen. Die Sonde verfügt ebenfalls über ein Typ-K-Thermoelement, sodass der Volumenstrom unter Berücksichtigung der Abgasdichte bestimmt werden kann.

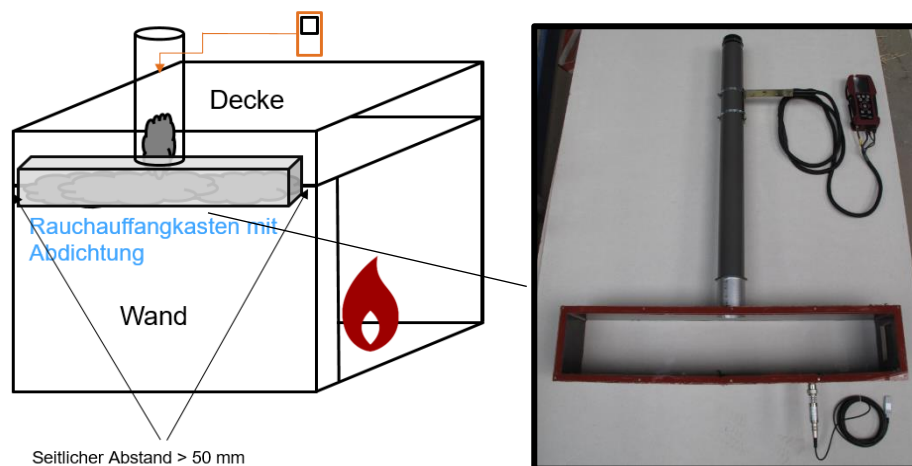


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus und aktueller Prototyp des RAK

In Abbildung 5 ist die schematische Darstellung der Anbringung des RAK am Bauteilofen sowie der derzeitige Prototyp abgebildet. Um Einflüsse im Randbereich des Probekörpers zu reduzieren, wurde ein seitlicher Abstand von 50 mm zum Rand des Bauteils auf jeder Seite eingehalten.

Für die Untersuchung der Feuerwiderstandsfähigkeit gemäß §26 (3) LBO-BW bzw. die Erbringung des Nachweises der Widerstandsfähigkeit gegen die Brandausbreitung im Hinblick auf Bauteil-, Element- und Installationsfugen sind im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes mehrere Brandversuche von mind.  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  großen Wand- und Deckenbauteilen geplant. Der Versuchskatalog enthält eine Reihe von Anschlussdetails praxisrelevanter Bauteilfugen in Holztafel- und Holzmassivbauweise auf Basis von

Verwendbarkeitsnachweisen bzw. technischen Regeln. Dabei werden sowohl bekleidete als auch unbekleidete Varianten betrachtet. Die Grundlage der Versuchsdurchführung bildet dabei die Reduzierung der Bauteilaufbauten auf die brandschutztechnisch notwendige Schicht, womit eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf eine Vielzahl von Variationen gewährleistet bleibt. Für die Ausbildung der Fügestellen werden unterschiedliche Dichtprinzipien wie Klebebänder/-schnüre, Schallschuttlager, Kompribänder oder Brandschutzmassen betrachtet. Durch den Versuchsaufbau ist davon auszugehen, dass die Brandversuche ein kritisches Szenario darstellen, da die relevante luft- bzw. rauchdichte Ebene im Vergleich zur späteren Ausführung näher an der brandzugewandten Seite liegt.

Der Nachweis gilt als erbracht, sofern der Anschluss selbst mindestens die Anforderungen der Feuerwiderstandsfähigkeit des flächigen Bauteils erfüllt [7]. Dabei sollen neben Holzbauteilen auch mineralische Bauweisen wie Stahlbeton- oder Trockenbauweisen vergleichend betrachtet werden. Der vorgestellte Rauchauffangkasten liefert hierfür in Kombination mit der Messtechnik eine quantitative Bestimmung des Leakagestroms, die in Kombination mit einer Gasanalytik eine direkte Bestimmung der Volumen- bzw. Massenströme relevanter Rauchgaskomponenten ermöglicht.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit fortschreitender Novellierung der Bauordnungen hinsichtlich einer Öffnung zugunsten des mehrgeschossigen Holzbaus besteht ein zunehmender Bedarf hinsichtlich bauordnungsrechtlich konformer Konstruktionsdetails, welche die präskriptiven Anforderungen, insbesondere die Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilanschlüssen, erfüllen. Mehrere Bundesländer haben wie Baden-Württemberg bereits ähnliche Änderungen in den Landesbauordnungen eingeführt, welche die flächendeckende Anwendbarkeit von Holz als Baustoff in den Gebäudeklassen 4 und 5 ermöglicht. So sieht bspw. der aktuelle Entwurf der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 – M-HolzbauRL eine Verwendung von Holzbauteilen aus Massivholz abseits der bisherigen brandschutztechnischen Bekleidung vor [16].

Trotz zügiger Novellierung der Bauordnungen fehlt es den Bauherren, Planern, Herstellern und Bauaufsichten weiterhin an praxisrelevanten Bauteilanschlüssen, welche die Anforderungen an Schall-, Wärme-, Feuchte- und Brandschutz erfüllen, sodass oftmals ressourcenintensive Einzelnachweise nötig sind. Durch die Versuchsdurchführung im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes soll daher eine Lücke zwischen den bauordnungsrechtlichen Vorgaben und der Umsetzung in der Praxis anhand eines entsprechenden Konstruktionskataloges geschlossen werden. Hierfür sollen relevante Anschlussarten jedoch zuvor mit anhand der Prüfkriterien sowie ergänzender Messtechnik hinsichtlich ihrer Verwendungsfähigkeit geprüft werden.

Mit dem vorliegenden Ansatz wird dabei ein neues Messkonzept vorgestellt, in dem strömungsdynamische Einflüsse auf die Messung selbst gezielt quantitativ betrachtet werden. Es kann damit rechnerisch nachgewiesen werden, dass der Rückstauereffekt durch einen Überdruck im Messsystem einen wichtigen Faktor darstellt, der bei der Auslegung der Messtechnik jedoch berücksichtigt werden kann. Dabei muss beachtet werden, dass es sich um ingenieurmäßige Überschlagsrechnungen handelt, die im Versuch bestätigt werden müssen. Die Messtechnik wird anhand von ausreichend Vorversuchen daher weiter optimiert, um eine zuverlässige Anwendbarkeit im Rahmen der Versuche zu gewährleisten [17].

Das Ziel der Versuchsplanung ist es, eine Vielzahl von relevanten Anschlusskonfigurationen bezüglich der Feuerwiderstandsfähigkeit zu untersuchen. Neben den erwähnten Prüfkriterien gemäß DIN EN 13501-2 bzw. DIN 4102-2 ist anhand des vorliegenden Messkonzeptes eine zusätzliche Messung der tatsächlichen Leckrate bei simultaner Bestimmung der Gaskonzentrationen im Rahmen der wissenschaftlichen Untersuchungen möglich. So können parallel zu den derzeitigen Prüfkriterien weitere Rückschlüsse auf das Verhalten der Bauteil- und Elementfugen im Hinblick auf den Durchtritt von Feuer und Rauch gezogen werden.

## 6. Literatur

- [1] Dederich, L., et. al.: Die Holzbaurichtlinie Baden-Württemberg – Auf dem Weg zu Standarddetails für den mehrgeschossigen Holzbau und andere ordnungsrechtliche Fragestellungen. Fachtagung Holzbau Baden-Württemberg, Stuttgart 2018.
- [2] Stein, R.: Zur Bewertung beeinflussender Faktoren auf Brandweiterleitungsmechanismen in Bauteilfugen vorgefertigter Holzbauelemente, Dissertation TU München 2015.
- [3] Hosser D., et. al.: Theoretische und experimentelle Grundlagen-untersuchungen zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise, Stufe 2 (Bauteilversuche) und Stufe 3 (Empfehlungen). Abschlussbericht zur Stufe 2, TU Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Braunschweig 2000.
- [4] Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBO BW) in der Fassung vom 05.03.2010, zuletzt geändert durch Gesetz vom 18.07.2019 (GBl. S. 313)
- [5] Musterbauordnung (MBO) in der Fassung November 2002, zuletzt geändert durch den Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016
- [6] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHolzR); Fassung 2004-07
- [7] Rüther, N.; Sudhoff, P.; Dederich, L.; Kammerer, E.; Werther, N.: Anforderung an die Rauchdichtigkeit von Holzbauteilen in den GK 4 und 5, Tagungsband 6. Magdeburger Brand und Explosionsschutztag 2019.
- [8] Landtag von Baden-Württemberg: Gesetz zur Änderung der Landesbauordnung für Baden-Württemberg, Drucksache 16/6592, 19.07.2019
- [9] DIN EN 13501-2:2016-12: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung.
- [10] DIN EN 1363-1:2012-10: Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung.
- [11] DIN 4102-4:2016-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.
- [12] DIN 50055:1989-03: Lichtmeßstrecke für Rauchentwicklungsprüfungen.
- [13] Surek D.; Stempin S.: Technische Strömungsmechanik (ISBN 978-3-658-06062-6). Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.
- [14] Mathmon ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prandtlisches\\_Staurohr.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prandtlisches_Staurohr.svg)), «Prandtlisches Staurohr», <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>; abgerufen am 31.07.2019
- [15] MRU Messgeräte für Rauchgase und Umweltschutz GmbH: MRU Optima 7 Multigas Analysator – Technisches Datenblatt, <https://www.mru.eu/fileadmin/medien/produkte/detailseite-pdf/DE-Prospekt-OPTIMA7.pdf>; abgerufen am 31.07.2019
- [16] Bauministerkonferenz (ARGEBAU), Fachkommission Bauaufsicht: Entwurf der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 – M-HolzBauRL (Stand: 23.05.2019).
- [17] Sudhoff, P.; Suttner, E.; Werther, N.; Kampmeier, B; Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilanschlüssen und Elementfugen im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes; Symposium 2019 Heißbemessung / Structural Fire Engineering, Braunschweig 2019.

Das Vorhaben HolzbauRLBW wird gefördert im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) – Innovation und Energiewende – Förderperiode 2014-2020 Programm in Baden-Württemberg 2014 -2020 im Rahmen der Verwaltungsvorschrift Holz Innovativ Programm – HIP 2014-2020 des Ministerium Ländlicher Raum und Verbraucherschutz

