

Brandschutztechnisch sichere hinterlüftete Holzfassaden – ist das möglich?

Dr.-Ing. Michael Merk
Technische Universität München,
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
München, Deutschland



Thomas Engel M.Sc.
Technische Universität München,
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
München, Deutschland



2 | Brandschutztechnisch sichere hinterlüftete Holzfassaden – ist das möglich? | M. Merk

Brandschutztechnisch sichere hinterlüftete Holzfassaden – ist das möglich?

1. Einleitung

Bei Gebäuden normaler Art und Nutzung der Gebäudeklasse 4 und 5 müssen nichttragende Außenwände und nichttragende Teile tragender Außenwände aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, oder, sofern sie aus brennbaren Baustoffen bestehen, als raumabschließende Bauteile feuerhemmend sein. An Öffnungen wie Fenster und Türen werden bauordnungsrechtlich keine Anforderungen gestellt. Daraus lässt sich schließen, dass eine Brandweiterleitung durch eine aus einer Öffnung schlagenden Flamme auf die Fassade bauordnungsrechtlich toleriert wird.

Das an Fassadenbauteile bzw. Außenwandbekleidungen bauordnungsrechtlich gestellte Schutzziel soll gebäudeaußenseitig eine zu schnell fortschreitende und damit über mehrere Geschosse reichende Brandausbreitung oberhalb und unterhalb der Brandausbruchsstelle verhindern. Unberührt von dieser Betrachtung bleibt die Brandübertragung von außen über die Geschosse durch nicht klassifizierte Öffnungen (Fenster), die sich je nach Intensität des Initialbrandes (Fensterausbrand, Sockel- bzw. Balkonbrand, etc.) unterschiedlich schnell entwickelt. Eine Flammenhöhe aus der Fensteröffnung des Primärbrandgeschosses lässt sich bauordnungsrechtlich nicht begrenzen. Es sind zwar für unterschiedliche Nutzungen statistische Annahmen für durchschnittliche Brandlastdichten bekannt, diese können jedoch von der realen Situation stark abweichen. Brände in Räumen verlaufen in der Regel zudem ventilationsgesteuert. Bei stark erhöhter Brandlast werden mehr brennbare Pyrolysegase nach außen transportiert und es entstehen folglich größere Flammenlängen an der Fassade.

Darüber hinaus müssen wirksame Löscharbeiten möglich sein und die Brandstellen für die Feuerwehr erreichbar sein (z.B. Brand in Hinterlüftungsspalt). Aus bauordnungsrechtlicher Sicht werden dementsprechend die Anforderungen zur Begrenzung der Brandausbreitung auf bzw. an der Fassade in § 28 MBO [1] für mehrgeschossige Gebäude wie folgt definiert:

- *Absatz 1: Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen und Schürzen sind so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist.»*
- *Absatz 3: Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein [...]*

Zusätzliche Anforderungen zur Ausbildung von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen können dem Anhang 6 zur Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen – MVVTB [2] entnommen werden. Diese haben jedoch ausschließlich für die bauordnungsrechtlich geregelten Außenwandbekleidungen aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen Gültigkeit, eine Übertragbarkeit der Regelungen auf brennbare Bekleidungen ist nicht gegeben.

Eine detaillierte Konkretisierung der zu Grunde liegenden Schutzziele kann bis dato weder aus der Bauordnung noch aus den Technischen Bestimmungen (MVVTB [2]) herausgelesen werden. Damit ist festzustellen, dass eine allgemeingültige bauordnungsrechtlich zitierbare Festlegung zu Schutzziele der Fassade bisher nicht existiert.

2. Schutzzieldiskussion: Höhe der Brandausbreitung

Zum aktuellen Zeitpunkt werden in Brandschutznachweisen vermehrt Abweichungsanträge für brennbare Außenwandbekleidungen (aus Holz) mit Verweis auf in Österreich oder in der Schweiz zugelassene Konstruktionen, die in den dortigen landesspezifisch gültigen Regelungen aufgeführt sind, formuliert. Diesen Lösungen liegen jedoch unterschiedliche

Schutzziele zu Grunde, die eine Anwendung in Deutschland nicht ohne genauere Bewertung zulassen.

Bei der Betrachtung der bestehenden Anforderungen an Außenwandbekleidungen hat sich gezeigt, dass die in § 14 MBO [1] (Brandschutz) geforderte Begrenzung der Brandausbreitung für den Bereich der Fassaden und Außenwandbekleidungen nicht eindeutig festgeschrieben ist. Selbst in der Literatur und in Expertenkreisen bestehen hierzu unterschiedliche Aussagen. Einerseits wird die maximale Brandausbreitung auf drei Geschosse, andererseits auf zwei Geschosse (jeweils inklusive des Brandgeschosses) bis zum Eintreffen der Feuerwehr begrenzt. Für Deutschland existiert, wie zuvor beschrieben, aktuell noch immer keine klare Definition der zu Grunde liegenden Schutzziele.

In den beiden Nachbarländern Österreich und Schweiz wurden entgegen bereits bauordnungsrechtlich zitierbare Schutzzielanforderungen definiert und in Österreich auch in das entsprechende Normenwerk implementiert.

In Österreich wurde das konkrete Schutzziel für Fassadenbrände in der OIB Richtlinie 2 (2015 Abschnitt 3.5.6) [3] festgeschrieben. Hierin wird konkretisiert:

«Bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 und 5¹ sind vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete Fassaden so auszuführen, dass

- eine Brandweiterleitung über die Fassade auf das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß, und*
- das Herabfallen großer Fassadenteile wirksam eingeschränkt wird.»*

Konkret bedeutet dies, dass die maximale Brandausbreitung auf 2 Geschosse einzugrenzen ist (vgl. Abbildung 1).

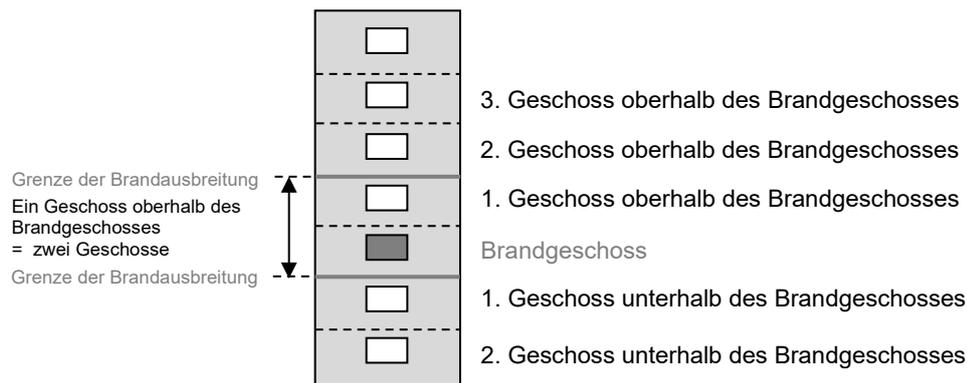


Abbildung 1: Darstellung des Schutzzieles für Fassaden nach (OIB) – «zwei Geschosse» [4]

Basierend auf Forschungsergebnissen der LIGNUM Gruppe wurde für die Schweiz folgendes Schutzziel formuliert [5]:

«Bei einem Brand der Gebäudeaußenwand darf es vor dem Löschangriff der Feuerwehr nicht zu einer Brandausbreitung über mehr als zwei Geschosse oberhalb des Brandgeschosses kommen.»

Hieraus ergibt sich eine Begrenzung der Brandausbreitung auf maximal 3 Geschosse (vgl. Abbildung 2).

¹ Gebäudeklassen der OIB-Richtlinie sind mit denen der MBO im Wesentlichen vergleichbar

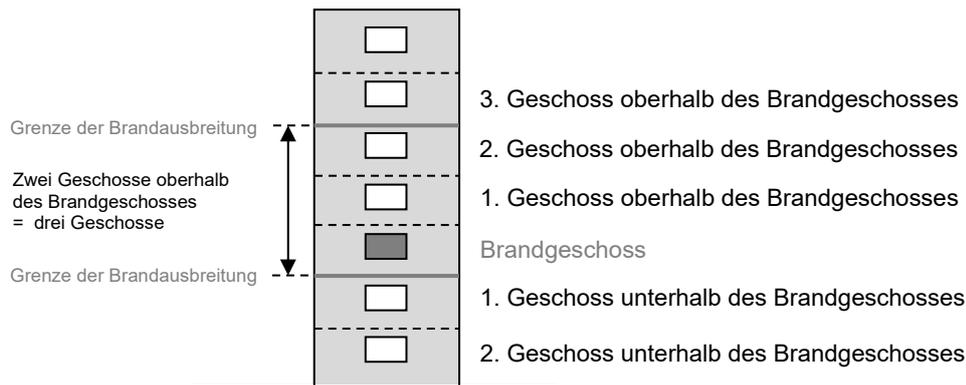


Abbildung 2: Darstellung «generelles Schutzziel für Fassaden» (Schweiz) – «drei Geschosse» [4]

Im Zuge des Forschungsvorhabens TIMpuls [6] wurde bereits begonnen, in Absprache mit der Bauaufsicht sowie anderen Forschungsstellen für Deutschland ein konkretes, künftig zitierbares Schutzziel für brennbare Fassaden aus Holz zu definieren. Endgültige Ergebnisse liegen bislang noch nicht vor, jedoch lässt sich der momentane Ansatz aus dem Forschungsprojekt für eine künftige Festlegung wie folgt darstellen [7]:

- Die Flammenhöhen des Primärbrandes aus der Fensteröffnung des Primärbrandes lassen sich über ein allgemeines Schutzziel nicht definieren oder begrenzen.
- Die vertikale Brandausbreitung über die Fassade soll begrenzt werden. Außerhalb der Flamme aus dem Primärbrandgeschoss bzw. des Sockelbrandes darf keine selbständige vertikale Brandausbreitung über die Geschosstrennung (i.d.R. Deckenebene) hinweg erfolgen.
- Die horizontale Brandausbreitung an der brennbaren Außenwandbekleidung darf sich nicht wesentlich außerhalb der Flammenbreite aus dem Primärgeschoss ausdehnen.
- Brandabschnittstrennungen dürfen nicht negativ beeinflusst werden.
- Wirksame Löscharbeiten müssen möglich sein.

3. Aktuelle Erkenntnisse auf Basis zuletzt durchgeführter Forschungsarbeiten für hinterlüftete Fassadenkonstruktionen in Holz

Untersucht man die in den Jahren 2003 und 2004 im Auftrag einer Schweizer Forschungsgruppe, unter dem Dach der LIGNUM, bei der MFPA Leipzig durchgeführten Brandversuche an Holzfassaden mit Blick auf das in Kapitel 2 von der Schweiz abweichende Schutzziel «maximale Brandausbreitung auf zwei Geschosse», so lassen sich trotzdem für den Einsatz in Deutschland ausreichend sichere Systeme ableiten.

Im Zuge einer am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München im Jahr 2018 durchgeführten Abschlussarbeit [4] wurden die vorhandenen Fassadenbrandversuche entsprechend ihrer Brandschutzmaßnahmen, in verschiedene Versuchsgruppen eingeteilt und in Hinblick auf das zuvor beschriebene veränderte Schutzziel neu bewertet. Anhand vorliegender Unterlagen, wie Foto- und Videoaufnahmen, Schadensaufnahmen, sowie Temperaturmessungen über die Höhe und Breite in verschiedenen Ebenen der Konstruktion wurden die Beobachtungen der einzelnen Brandverläufe analysiert.

Die Auswertung zeigte sowohl Konstruktionen, die die angepassten gestellten Anforderungen vollständig erfüllen, als auch Konstruktionen, die bereits innerhalb der 20 Minuten (definierter Zeitraum «bis zum Eintreffen der Feuerwehr» bzw. «Beginn der Löscharbeiten») eine Brandausbreitung in das dritte Geschoss über dem Brandgeschoss zuließen, oder bei denen es zum brennenden Abfallen von Bekleidungsteilen gekommen ist.

Einen Auszug der Untersuchung stellt nachfolgend aufgeführte Tabelle 1 dar. Diese stellt alle bestandenen Varianten bzgl. der Brandausbreitung dar. Weitere Typen und Anordnungsarten von Bekleidungen mit brennbaren Baustoffen existieren und können für die Erarbeitung allgemeingültiger Regelungen herangezogen werden.

Tabelle 1: Auszug Bewertung der LIGNUM-Versuche unter Berücksichtigung des angepassten Schutzziels [4]

Versuchsnr. (LIGNUM)	05	09	15	18	20	21	31
Horizontale Maßnahme	Holz	Holz	Holz	Stahl	Holz	Holz und Stahl	Stahl
Vertikale Maßnahme	–	–	Ein Gefach der Unterkonstruktion ist vollständig mit Steinwolle ausgelegt	–	–		
Konstruktion	Horizontal Nut-Feder-Schalung	Dreischichtplatten	Vertikal Boden-Deckel-Schalung	Horizontale Nut-Feder-Schalung	Vertikal Nut-Feder-Schalung	Vertikal Nut-Feder-Schalung	Horizontal Nut-Feder-Schalung
Tiefe Hinterlüftungsspalt	30 mm Unten offen	30 mm Oben und unten offen	90 mm Oben und unten offen	30 mm Oben und unten offen	60 mm* Unten offen	60 mm* Oben und unten offen	30 mm Oben und unten offen
Anzahl und Anordnung der Riegel	3 Riegel Geschossweise	3 Riegel Geschossweise	3 Riegel Geschossweise	3 Riegel Geschossweise	2 Riegel auf 4,40 und 8,40 m Höhe	2 Riegel auf 4,40 und 8,40 m Höhe	3 Riegel Geschossweise
Auskragung/ Maßnahme	Latte in Hinterlüftung 30 mm x 60 mm	20 mm Dicke: 27 mm	100 mm Dicke: 27 mm	15 mm Dicke: 1,5 mm	10 mm auskragend Dicke: 27 mm	100 mm Dicke Holz: 27 mm Dicke Stahl: 1,5 mm	15 mm Dicke: 1,5 mm
Brennendes / nicht brennendes Abfallen	–	Abfallen brennender Fassadenteile	Abfallen brennender Fassadenteile	Abfallen brennender Fassadenteile	Abfallen brennender Fassadenteile	Abfallen nicht brennender Fassadenteile	Abfallen brennender Fassadenteile
Brandausbreitung	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Ausbreitung über ersten Riegel in der 23. Prüfminute	Keine Brandausbreitung über zweiten Riegel	Ausbreitung über zweiten Riegel in der 23. Prüfminute
Löschen ab	21. Prüfmin.	26. Prüfmin.	21. Prüfmin.	21. Prüfmin.	21. und 23. Pm	21. Prüfmin.	31. Prüfmin.
Sonstiges/ Besonderheiten während des Brandgeschehens	Brennendes Abtropfen der HDPE-Folie ²⁾	Rauchaustritt aus Hinterlüftungsspalt Brennendes Abtropfen der HDPE-Folie ²⁾	Rauch- und Flammenaustritt aus Hinterlüftungsspalt Brennendes Abtropfen der HDPE-Folie ²⁾	Einsatz einer Beschichtung (Wasser-Dickschicht-Lasur)	Rauch- und Flammenaustritt aus der Hinterlüftung	–	Rauchaustritt aus der Hinterlüftung
Fett gedruckt: Versuch erfüllt die Anforderung «maximale Brandausbreitung auf 2 Geschosse» bzw. die weiter definierten Anforderungen							
Anforderungen eingehalten							
Anforderungen nicht eingehalten							
¹⁾ Eine Überschreitung der in Anlage 2.6/4 zur DIN 18516 empfohlenen Maximaltiefe von 50 mm von 10 mm wird als ausreichend repräsentativ angenommen. Wenn die Brandausbreitung im vorhandenen Hinterlüftungsspalt mit einer Tiefe von 60 mm und außerhalb dessen das Schutzziel für die gesamte Wand erfüllt, lässt dies die Vermutung zu, dass selbiges auch bei 50 mm der Fall ist.							
²⁾ Das brennende Abtropfen der HDPE-Folie wird hingegenommen. Hinzukommend handelt es sich hierbei um eine nahezu vernachlässigbare Menge, welche zur tragenden Außenwand gehört.							
³⁾ Auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Foto- und Video-Aufnahmen während der Versuchsdurchführungen sowie den Protokollen der Versuchsdurchführungen							

4. Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass auch auf Basis der aktuellen Schutzzieldiskussion entsprechend brandschutztechnisch sichere Holzfassaden für mehrgeschossige Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 ausführbar sind. Hierfür sind bei nicht hinterlüfteten, hinterlüfteten und belüfteten Außenwandbekleidungen aus Holz besondere Vorkehrungen gegen Brandausbreitung zu treffen. Nachfolgend können diese wie folgt zusammengefasst werden:

- Sämtliche im Fassadensystem verwendeten Baustoffe aus Holz oder Holzwerkstoffen müssen entsprechend ihrem Brandverhalten mindestens als D-s2, d0 entsprechend DIN EN 13501-1 oder als normalentflammbar (B2) nach DIN 4102-1 klassifiziert sein.
- Fassadenbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen können als eines der vier nachfolgenden Bekleidungstypen, horizontal oder vertikal angeordnet, ausgeführt werden:
 - flächiger Holzwerkstoff
 - formschlüssige Schalung (Nut- und Feder- bzw. Deckleistenschalung mit Profil)
 - kraftschlüssige Schalung (Schalung überfälzt, T-Leistenschalung) oder
 - offene Schalung (Leisten-, Deckel-, Stülpschalung, etc.)
 Die Art der Oberfläche (geschliffen, gehobelt, sägerau oder gebürstet) ist dabei für jeden Bekleidungstyp frei wählbar.
- Dämmstoffe in der Außendämmebene müssen mindestens in der Klasse A2-s1, d0 entsprechend DIN EN 13501-1 oder der Baustoffklasse A2 entsprechend DIN 4102-1 klassifiziert sein. Sie sind mit ausreichendem Übermaß gegen Abfallen in die Unterkonstruktion einzubauen und an ihren Fugen dicht zu stoßen.
- Sofern der Abschluss von Außenwänden/Kernwänden nicht aus mineralischen Baustoffen besteht, muss außenliegend zur Hinterlüftungsebene hin eine geeignete nicht brennbare Bekleidung aufgebracht werden. Geeignete Bekleidungen sind:
 - 2 x 12,5 mm bzw. 1 x 18 mm Gipsplatte Typ F nach EN 520 oder Gipsfaser nach EN 15283-2 bzw.
 - 1 x 12,5 mm Gipsplatte Typ F nach EN 520 oder Gipsfaser nach EN 15283-2 mit 40 mm davorliegendem Dämmstoff Klasse A2-s1, d0 entsprechend DIN EN 13501-1 oder der Baustoffklasse A2 entsprechend DIN 4102-1.
- Einlagige Abdeckungen mit folienartigen Fassadenbahnen sind zulässig.
- Eine Brandweiterleitung bei Holzfassaden kann durch auskragende, geschoßweise angeordnete Brandsperren (vgl. Abbildung 3) wirksam eingeschränkt werden. Durch diese Brandsperren wird die Brandausbreitung über mehrere Geschosse wirksam eingeschränkt. Mit dem Einsatz von konstruktiven Brandsperren werden die definierten Schutzziele erreicht.

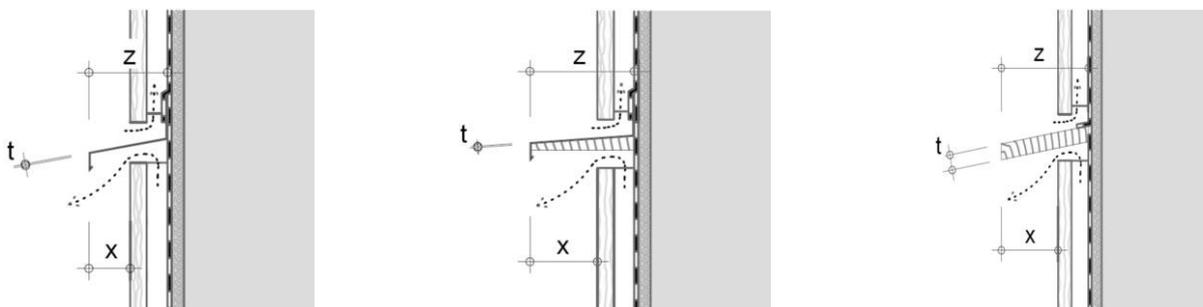
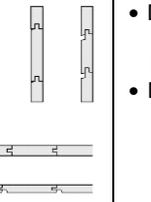
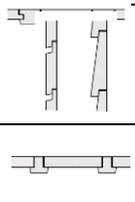
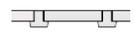
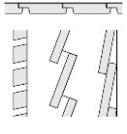
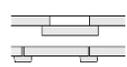


Abbildung 3: Beispiele für die Ausbildung geschosswiser Brandsperren

- Horizontale Brandsperren sind geschoßweise jeweils in Höhe des Geschosswechsels über die gesamte Fassadenbreite durchgehend auszuführen. Bei Fassaden mit über mehrere Geschosse durchgehenden Belichtungssäulen (vertikale Lichtbänder) sind die Brandsperren ebenfalls geschoßweise in Höhe des Geschosswechsels anzuordnen und jeweils bis zur Belichtungssäule bündig abschließend heranzuführen.

- Vertikale Brandsperrn sind zur Unterbrechung der Hinterlüftungsebene anzuordnen im Bereich von Brandwänden bzw. Wänden die anstelle von Brandwänden gemäß MBO §30 (3) Satz 2 Nr. 1 zulässig sind. Sie sind ebenfalls erforderlich im Bereich von Außenwandecken.
- Die geschoßweisen horizontalen Brandsperrn sind gemäß nachfolgender Tabelle 2 auszuführen. Das Maß X des horizontalen Überstandes der Brandsperrre über die Fassadenoberfläche ist entsprechend des eingesetzten Fassadentyps gemäß Tabelle 2 zu wählen. Es sind die gemäß Tabelle 2 angegebenen Mindesteigenschaften der Fassadenbekleidung zu berücksichtigen.
- Die Befestigung der horizontalen Brandsperrn ist bis auf die Konstruktionshölzer der Außenwand zu führen, ggf. sind zusätzliche Füllhölzer einzubauen. Abstand und Größe der Verbindungsmittel sind hierfür so zu wählen, dass im Brandfall auftretende thermische Beanspruchungen nicht zu Verformungen führen, die einen Verlust der Funktion der Brandsperrre für die Ableitung des Plume auf der Fassade als auch Abschottung der Hinterlüftungsebene zur Folge haben.

Tabelle 2: Mindestauskrugung der horizontalen Brandsperrre - Maß X

Bekleidungsstyp	Baustoff/ Bauteil	Schema-skizze	Ausführungsbeispiele	Ausrichtung	Maß X
Flächiger Holzwerkstoff	<ul style="list-style-type: none"> • Rohdichte $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ • Fläche geschlossen • Plattendicke $\geq 22 \text{ mm}$ • Kantenlänge $\geq 625 \text{ mm}$ • Plattenfläche $\geq 1,0 \text{ m}^2$ 		<ul style="list-style-type: none"> • Massivholzplatten • Brettsperrholz • Furniersperrholz • Furnierschichtholz 	horizontal / vertikal	$\geq 50 \text{ mm}$
Formschlüssige Schalung	<ul style="list-style-type: none"> • Rohdichte $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ • Beplankungsdicke $\geq 22 \text{ mm}$ • Brettbreite: kernfrei $\leq 160 \text{ mm}$ • Entlastungsnuten: <ul style="list-style-type: none"> - Restdicke $\geq 14 \text{ mm}$ - Breite $\leq 5 \text{ mm}$ - Achsabstand $\geq 30 \text{ mm}$ 		<ul style="list-style-type: none"> • Deckleistenschalung mit Profil • Nut und Feder 	horizontal / vertikal	$\geq 50 \text{ mm}$
Kraftschlüssige Schalung	<ul style="list-style-type: none"> • Rohdichte $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ • Beplankungsdicke $\geq 22 \text{ mm}$ • Brettbreite frei • Entlastungsnuten: <ul style="list-style-type: none"> - Restdicke $\geq 14 \text{ mm}$ - Breite $\leq 5 \text{ mm}$ - Achsabstand $\geq 30 \text{ mm}$ 		<ul style="list-style-type: none"> • Schalung überfält • Stülpschalung • T-Leistenschalung 	horizontal	$\geq 100 \text{ mm}$
				vertikal	$\geq 150 \text{ mm}$
Offene Schalungen	<ul style="list-style-type: none"> • Rohdichte $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ • Beplankungsdicke $\geq 22 \text{ mm}$ • Brettbreite frei • Brettquerschnittsfläche $\geq 1000 \text{ mm}^2$ • Brettrestdicke $\geq 14 \text{ mm}$ bei Entlastungsnuten • Dicke Abdeckleisten $\geq 14 \text{ mm}$ • Brettbreite frei 		<ul style="list-style-type: none"> • Offene Schalung • Leistenschalung • Deckelschalung • Stülpschalung • Deckleistenschalung 	horizontal	$\geq 200 \text{ mm}$
				vertikal	$\geq 250 \text{ mm}$

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Maßnahmen lassen sich brandschutztechnisch sicherer Fassadensysteme aus Holz im Rahmen bauordnungsrechtlicher Abweichungen definieren.

Sämtliche Erkenntnisse, beginnend mit dem Schweizer Forschungsprojekt der LIGNUM 2000 bis 2005 [8], dem darauf aufbauenden Projekt im Rahmen der HighTechOffensive Zukunft Bayern 2006 [9] und allen weiteren in Folge durchgeführten Untersuchungen, konnten jetzt dazu genutzt werden, einen konkreten Vorschlag für die bauordnungsrechtliche Verwendung von brennbaren Fassaden in Deutschland zu definieren. Dieser

Vorschlag wurde in dem Anfang Juni 2019 veröffentlichtem Entwurf zur «*Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 – M-HolzBauRL*» [10] bereits aufgenommen und soll damit künftig den Planern und Ausführenden mehrgeschossiger Holzfassaden als planungssichere Grundlage für ihre individuellen Projekte zur Verfügung stehen.

5. Literatur

- [1] Musterbauordnung – MBO –. Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016
- [2] Deutsches Institut für Bautechnik: Veröffentlichung der Muster – Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen Ausgabe 2017/1 mit Druckfehlerkorrektur vom 11. Dezember 2017
- [3] OIB-Richtlinie 2: OIB-330.2-011/15.
- [4] Ansel L. «Prinzipien zur Anwendbarkeit von brennbaren Außenwandbekleidungen in Deutschland.» Masters Thesis, Technische Universität München, 12.03.2018.
- [5] Arbeitsgruppe Brandschutz bei Holzfassaden, Grundsatzpapier für die Rahmenbedingungen von Originalbrandversuchen», Wiederkehr, Bart et al. März 2003
- [6] timpuls.tum.de: Forschungsprojekt TIMpuls; in: Webseite des Forschungsprojekt TIMpuls, URL: <http://www.timpuls.tum.de>, (abgerufen am: 06.08.2019).
- [7] Engel T., Heumann F. (2019) Deutsches Schutzziel im Hinblick auf eine Brandausbreitung über die Fassade für brennbare Außenwandbekleidungen, München
- [8] Schweizer Forschungsprojekt der LIGNUM 2000 bis 2005, diverse Forschungsberichte, -dokumentationen und Veröffentlichungen
- [9] HighTechOffensive Zukunft Bayern, Teilprojekt 2, Brandsicherheit mehrgeschossiger Holzbau, Merk 2008
- [10] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 – M-HolzBauRL. Stand: 23.05.19; (Anhörungsverfahren)