

PRINZIPIEN FÜR BRANDSCHUTZTECHNISCH SICHERE GRÜNFASSADEN

Thomas Engel

Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München

EINLEITUNG

Begrünte Fassaden werden zunehmend populärer. Gründe hierfür sind u. a., dass durch begrünte Fassaden in urbanen Räumen die Luftqualität und die thermische Leistung des Gebäudes verbessert, der Wärmeinseleffekt verringert und Lärm durch Absorption reduziert werden sollen [1], [2]. Der Begriff begrünte Fassaden ist ein Überbegriff für sehr unterschiedliche konstruktive Ausführungen von Fassadenbegrünungen. Bild 1 zeigt die verschiedenen Arten von Fassadenbegrünungen. Prinzipiell zu unterscheiden sind eine direkte bodengebundene Begrünung an der Außenwand durch Kletterpflanzen, eine indirekte bodengebundene Begrünung durch von der Außenwand abgesetzte Kletterhilfen und begrünte Wandsysteme mit Bepflanzung in Gefäßen oder an flächigen vertikalen Vegetationsflächen (Living Wall). Auch Mischformen sind möglich. [3][4][5]

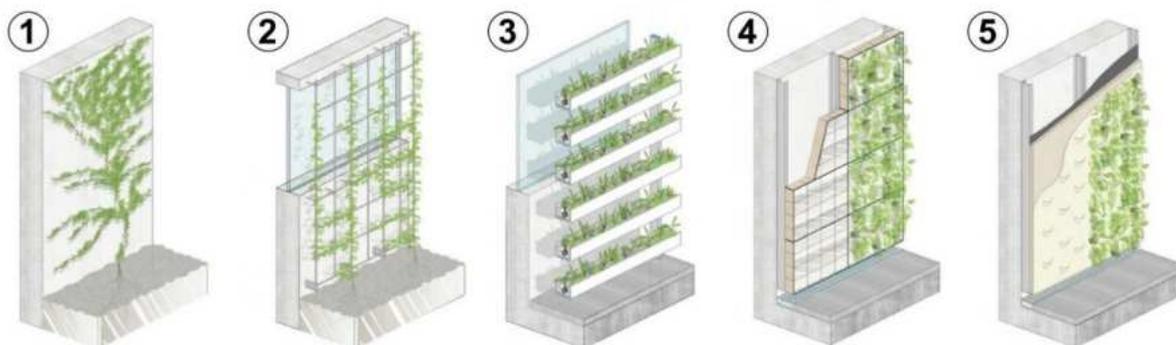


Bild 1: Ausbildungsförmungen von Fassadenbegrünungen. 1) Direktbewuchs mit Selbstklimmern, bodengebunden, 2) leitbarer Bewuchs an Kletterhilfen, bodengebunden, 3) Pflanzgefäße, horizontale Vegetationsflächen, wandgebunden, 4) modulares System (Living Wall), vertikale Vegetationsflächen, wandgebunden, 5) flächiges System (Living Wall), vertikale Vegetationsflächen, wandgebunden; basierend auf Bildquelle [5]

Für bodengebundene Begrünungen an Kletterhilfen haben sich je nach Dickenwuchs (Wüchsigkeit) Wandabstände von 50 bis 200 mm zur Kletterhilfe etabliert [4], [5]. Ein ausreichender Abstand ist neben der Wüchsigkeit der Pflanze auch aufgrund der sonst möglichen Überhitzung der Gerüstkletterpflanze durch die Außenwand notwendig [5].

Wandgebundene Begrünungssysteme (ohne Bodenanschluss) zeichnen sich durch integrierte Bewässerungssysteme, beliebige Begrünungsgrößen und

einfache Austauschbarkeit der Pflanzen aus. Sie ermöglichen eine vorkultivierte Begrünung der Fassade ab Fertigstellung des Gebäudes durch Modul- oder Regalsysteme [3], [5]. Eine wandgebundene Begrünung in Form einer "Living Wall" ist ein komplettes, vorgehängtes, hinterlüftetes Fassadensystem. Es besteht aus Hinterlüftung, Unterkonstruktion, Tragstruktur, Trägerplatten, Dämmung, Substrat, Vlies, Bewässerungssystem und der Pflanze selbst. Die Systeme unterscheiden sich von Hersteller zu Hersteller erheblich.

Die Verwendung von Kletterpflanzen zur Fassadenbegrünung weist viele regionale Besonderheiten auf [3], [4], [5]. Das Artenpotenzial für Kletterpflanzen in der DACH-Region umfasst ca. 150 Arten und Sorten [3]. Das Spektrum der möglichen Pflanzenarten für wandgebundene Begrünungssysteme ist wesentlich umfangreicher. Für die DACH-Region werden in [4] ca. 100 Arten und Sorten aufgeführt. Zu unterscheiden sind Stauden, Gräser und Klettergehölze [3].

Bild 2 und Bild 3 zeigen Beispiele für realisierte Grünfassaden.



Bild 2: Bodengebundener Bewuchs an Kletterhilfen (Swiss Re Bürogebäude München); (Quelle: Bundesverband GebäudeGrün)



Bild 3: Wandgebundenes Begrünungssystem (Stadtverwaltung Venlo Niederlande); (Quelle: Bundesverband GebäudeGrün)

BRANDSCHUTZTECHNISCHE BEWERTBARKEIT DER VERSCHIEDENEN BEGRÜNTE FASSADENTYPEN

Wie im Abschnitt zuvor beschrieben sind „Living Walls“ komplexe Fassadensysteme, die sich von Hersteller zu Hersteller erheblich unterscheiden. Die herstellereinspezifischen Systeme lassen sich nur durch großmaßstäbliche Brandversuche am jeweiligen Gesamtsystem produktspezifisch zielführend untersuchen [6]. Anders verhält sich dies für Kletterpflanzen an Rankhilfen. Diese können brandschutztechnisch allgemeingültig untersucht und im Folgenden bewertet werden. Aus diesen Untersuchungen ergeben sich allgemein gültige Prinzipien für einen brandschutztechnisch sicheren Betrieb [6]. Die Brandversuchsreihe [7] zeigt das kritische Brandverhalten von „Living Walls“ am Beispiel eines spezifischen Systems.

STAND DER FORSCHUNG

Zum Brandverhalten begrünter Fassaden und der daraus folgenden Brandweiterleitung über die Fassaden stehen zum aktuellen Zeitpunkt international nur wenige Erkenntnisse zur Verfügung. Eine genaue Übersicht zum aktuellen Stand der Forschung für das Brandverhalten von begrünten Fassaden kann [6] und [8] entnommen werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mittel- bzw. großmaßstäbliche Brandversuche an begrünten Fassaden bis dato vor allem in Österreich und Deutschland durchgeführt wurden. Diese Untersuchungen fanden jedoch vorwiegend an genormten Fassadenbrandprüfständen, die ursprünglich für einen anderen Anwendungsfall konzipiert wurden und nicht den Einwirkungen realer Brandereignisse entsprechen [6], statt. Die aktuelle Herausforderung für begrünte Fassaden besteht folglich darin, dass Ergebnisse skaliertes Prüfverfahren, wie beispielsweise nach [9] oder [10], in Verbindung mit Bewertungskriterien, die ebenfalls für andere Baustoffe konzipiert wurden, direkt in die Realität überführt bzw. Maßnahmen darauf aufbauend abgeleitet werden. Dieses Vorgehen kann zu unrealistischen Ergebnissen führen und birgt ohne gesamtheitliche Betrachtung Risiken [6].

Die Auswertung des Stands der Forschung liefert zwei wesentliche Erkenntnisse: Erstens ist eine regelmäßige Pflege und Wartung eine wichtige Grundlage für eine brandschutztechnisch sichere Fassadenbegrünung. Großflächig abgestorbene Pflanzen müssen zeitnah erkannt und entfernt werden. Zweitens ist bei einer Brandbeanspruchung der begrünten Fassaden mit einem Austrocknen der Begrünung und im weiteren Verlauf mit einer abrupten kurzweiligen Brandausbreitung („Strohfeuer“) begrenzender Bereiche außerhalb des Primärbrandes zu rechnen [6], [8].

BRANDVERHALTEN DER PFLANZEN

Im Rahmen des Forschungsvorhabens FireSafeGreen [11] wurde in einem ersten Teil das Brandverhalten von begrünten Fassaden untersucht. Im Fokus stand hierbei die Entflammbarkeit begrünter Fassaden, die im Rahmen von 43 kalorimetrischen Brandversuchen im mittleren Maßstab mit der Prüfmethode Single Burning Item (SBI) [12] bewertet wurde. Schwerpunkt der Untersuchung waren insgesamt 25 Kletterpflanzenarten. Der Haupteinflussfaktor auf das Brandverhalten von Pflanzen ist der Feuchtigkeitsgehalt der Pflanze [8]. Ein Vergleich der Wärmefreisetzungsrate von vitalen Pflanzen (normaler Feuchtigkeitsgehalt) zeigt ein ähnliches Verhalten (Bild 4).

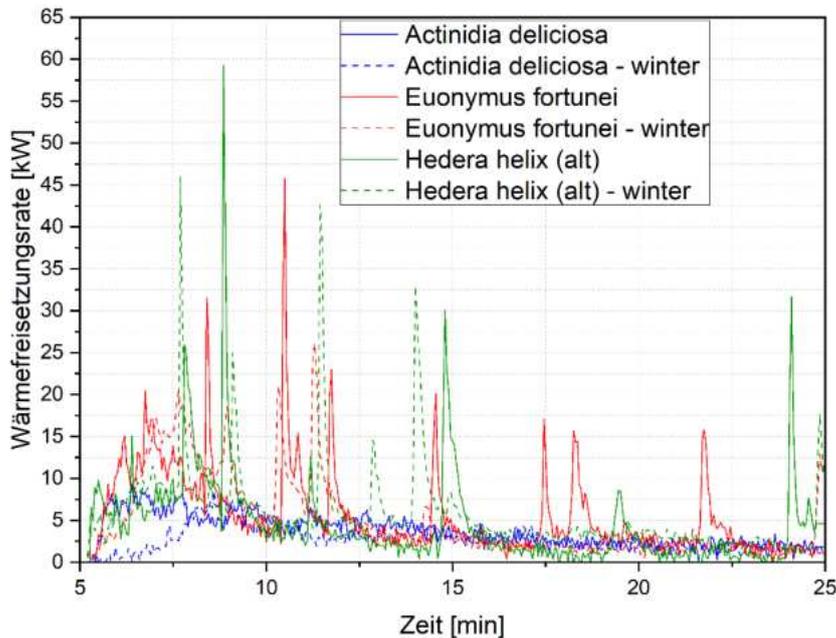


Bild 4: Vergleich der Wärmefreisetzungsrate von *Actinidia deliciosa*, *Euonymus fortunei* und *Hedera helix* im Sommer und Winter

Im Verlauf der Beanspruchung kommt es zu kurzen Spitzen der Wärmefreisetzungsrate. Diese Spitzen sind die aus vorherigen Untersuchungen bekannten „Strohfeuer“. Sie entstehen, wenn Teile der Pflanzen durch die Brandeinwirkung austrocknen und sich dann schlagartig entzünden. Die Pflanzenart selbst hat keinen signifikanten Einfluss auf das Brandverhalten. Bei allen Versuchen trat mit vitalen, gepflegten Pflanzen eine horizontale Brandausbreitung in nur sehr geringem Umfang und nach Abschalten des Brenners ein Selbstverlöschen auf. Auch ein direkter Vergleich zwischen jungen und alten Pflanzen sowie der Vergleich des jahreszeitlichen Einflusses zwischen Sommer und Winter ergab keinen signifikanten Unterschied bei vitalen, gepflegten Pflanzen [8].

Ein entscheidender Unterschied lag bei getrockneten Pflanzen vor. Hier trat zu Beginn eine abrupte Wärmefreisetzung auf. Abgestorbene Pflanzen sowie ungepflegte Pflanzen mit einem hohen Anteil an Totholz stellen folglich den kritischsten Fall dar. Bild 5 stellt die Wärmefreisetzungsrate eines 42 Tage getrockneten, eines vitalen jungen und eines vitalen alten Efeus (*Hedera helix*) im Vergleich zu einer 9 mm Span- und einer 13 mm Sperrholzplatte dar [8].

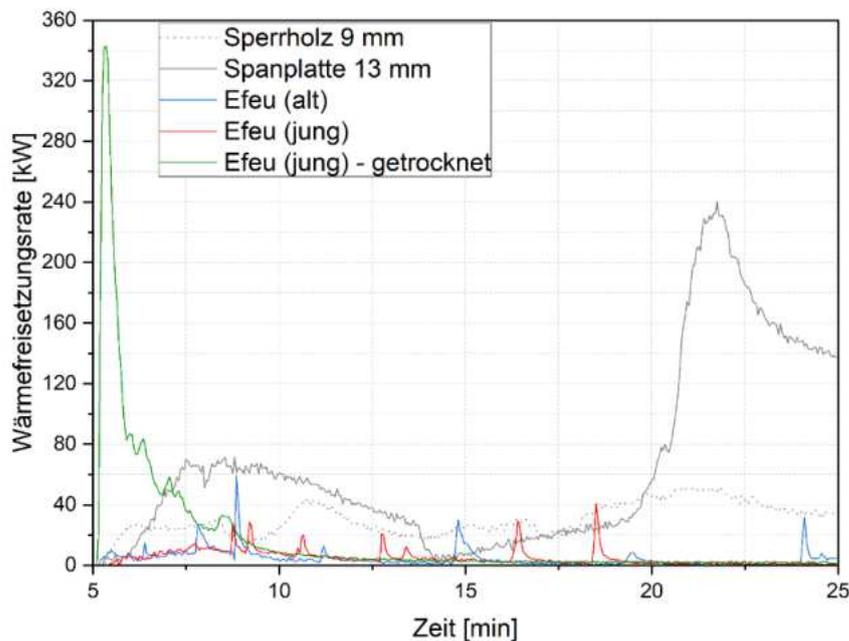


Bild 5: Wärmefreisetzungsrate eines 42 Tage getrockneten, eines vitalen jungen und eines vitalen alten Efeus im Vergleich zu einer 9 mm Span- und einer 13 mm Sperrholzplatte

Pflege und Wartung einer begrünten Fassade sind daher die wichtigsten Faktoren für die Aufrechterhaltung der Brandsicherheit. Totholz in Form von abgestorbenem Laub, Ästen oder Vogelnestern ist regelmäßig zu entfernen. Außerdem ist stetig zu prüfen, ob die Pflanzen noch vital sind und einen normalen Feuchtigkeitsgehalt aufweisen. Zusätzlich sind die Pflanzen regelmäßig zurückzuschneiden. Unkontrolliertes Wachstum kann zu viel Totholz führen – vor allem bei lichtfliehenden Pflanzen [8].

KOMBINATION VON HOLZ- UND GRÜNFASSADEN

Eine zentrale Frage für die Realisierung kombinierter Holz- und Grünfassaden sind die entstehenden Wechselwirkungen im Brandfall. Die konkrete Frage ist, ob der Wärmestrom einer brennenden begrünten Fassade ausreicht, um eine dahinterliegende Außenwandverkleidung aus Holz zu entzünden und ob eine begrünte Fassade im Bereich von Brandsperren [14], [15] von Holzfassaden zu einem Zündschnurreffekt führt.

Zur Untersuchung dieser Fragestellung wurden mittelmaßstäbliche Brandversuche durchgeführt [6] (Bild 6).



Bild 6: Fotodokumentation des Brandversuchs Test 3 mit Holz- und Grünfassade zur 3. Prüfminute [6]

Im Rahmen der Versuche wurde ein Abstand von 110 mm zwischen Rankgitter und Holzschalung gewählt. Diese Wahl soll eine möglichst kritische Brandeinwirkung der begrünter Fassade aufgrund des geringen Abstandes zur Holzschalung generieren. Bekannt ist, dass Wandabstände für bodengebundene Begrünungen von 50 mm bis 200 mm zur Kletterhilfe üblich sind [4], [5]. Diese Richtwerte orientieren sich an typischen mineralischen Außenwänden ohne Brandsperren. Ein ausreichender Mindestabstand zur Außenwand ist notwendig, da vor allem Pflanzen mit dichter Blattmasse einen Hitzestau begünstigen und folglich absterben können. Um eine Überhitzung zu vermeiden, muss eine Luftzirkulation an der Fassade durch einen ausreichenden Abstand der Rankgitter zur Außenwand uneingeschränkt möglich sein [5].

Für Holzfassaden an mehrgeschossigen Gebäuden sind in Deutschland Brandsperren [14], [15] in jedem Geschoss notwendig. Diese Brandsperren definieren einen Mindestabstand der Begrünung zur Außenwand, da die Pflanze auf der einen Seite nicht durch die Brandsperre hindurch wachsen kann und auf der anderen Seite ein ausreichender Mindestabstand zur Stahlbrandsperre nötig ist, um eine Überhitzung der Pflanze in diesem Bereich zu vermeiden. Mit Zunahme der Auskrugung der Brandsperre nimmt auch der Abstand des Rankgitters zur Holzschalung zu. Folglich nimmt die Einwirkung aus dem Abbrand der Begrünung aufgrund des größeren Abstandes ab. Dies ist der Grund, warum bei den durchgeführten und in [6] genauer beschriebenen

Brandversuchen eine Nut-Feder-Holzschalung mit verhältnismäßig geringer Auskragung der Brandschutzabschottungen bzw. Brandsperren gewählt wurde.

Im Rahmen der Versuche wurde die Begrünung direkt bündig vor der 100 mm auskragenden Brandsperre vorbeigeführt. Weiter wurde der Bereich zwischen Holzschalung und Rankgitter flächig mit Pflanzentrieben eines über 15 Jahre alten Efeus (*Hedera helix*) gefüllt [6]. Die Wahl fiel auf Efeu, da er eine hohe Blattmasse und einen verhältnismäßig großen Triebdurchmesser hat. Die Versuchsanordnung und die Begrünungsdichte sollten eine ungepflegte und folglich mit Blick auf die Brandeinwirkung kritische Fassadenbegrünung simulieren, die zwar nicht über größere Mengen an Totholz verfügte, aber auch nicht regelmäßig zurückgeschnitten wurde.

Der mittelmaßstäbliche Versuchsaufbau ist in diesem Fall repräsentativ, da die Pflanzenmasse und -anordnung die eigentlich mögliche flächenbezogene Brandleistung bzw. maximale Wärmefreisetzung der Begrünung bestimmen und nicht die Größe des Versuchstandes oder die Größe der Brandeinwirkung [6].

Bei beiden Versuchen mit angeordneter Begrünung stellte sich weder während der Versuchsdurchführung noch im Rahmen der anknüpfenden Beobachtungszeit ein selbständiger Brand auf der Holzschalung oberhalb der Brandsperre ein [6]. Dies lässt sich am besten visuell an den Holzschalungen nach Beendigung der Brandversuche beurteilen, siehe auszugsweise Bild 7.



Bild 7: Fotodokumentation der Holzschalung oberhalb der Brandsperre nach Beendigung des Versuches und der Beobachtungszeit für Test 3 [6]

Eine Verfärbung und Verkohlung stellte sich in Teilbereichen der Holzschalung aufgrund der Brandeinwirkung aus der Begrünung ein. Am intensivsten fiel die Verkohlung im mittleren, unteren Bereich der Fassade direkt oberhalb der Brandsperre aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich einzelne Holztriebe des mit Draht befestigten Efeus nach Abbrand der Blätter und Jungtriebe vom Rankgitter lösten und auf der Brandsperre abbrannten [6]. Auch diese Brandeinwirkung führte nicht zu einem selbständigen Brand der Holzfassade. Die direkte Brandeinwirkung auf den unteren Bereich der Holzschalung durch brennende Pflanzenteile auf der Brandsperre wäre für offene Schalungen infolge der dreiseitigen Brandeinwirkung auf den Holzquerschnitt kritischer als im vorliegenden Fall. Aufgrund des beschriebenen größeren Abstandes der Begrünung zur Holzschalung und der größeren Auskragungen der Brandsperren ist jedoch bei offenen Schalungen nicht mit einer Brandeinwirkung direkt an der Holzschalung zu rechnen [6].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein Abbrand der Begrünung im Rahmen der Versuche [6] nicht zu einer Entzündung der dahinterliegenden Holzfassade führte. Voraussetzungen hierfür sind ein Mindestabstand von 110 mm zwischen Rankgitter und Holzschalung und eine regelmäßige Pflege und Wartung der Begrünung, bei der Totholz entfernt wird.

ABSCHLIEßENDE GROßBRANDVERSUCHE

Die abschließenden Großbrandversuche dienen zum Beleg der innerhalb des Forschungsvorhabens FireSafeGreen [11] gewonnenen Erkenntnisse und als Grundlage zum Nachweis der brandschutztechnischen Schutzziele.

Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf der Bewertung der Brandausbreitung über die Fassadenbegrünung unter einer repräsentativen Brandeinwirkung. Darüber hinaus wurde untersucht, welchen Einfluss ein kurzzeitiger Wärmestrom auf die Außenwand, Fenster, Balkone, Dachüberstände und die dahinter liegenden Bereiche hat und welches Risiko damit verbunden ist. Besonderes Augenmerk lag auf dem Einfluss von lebenden und abgestorbenen (trockenen) Pflanzen auf die Brandausbreitung und das Brandverhalten an der Fassade. Eine konkrete Frage ist zum Beispiel, ob der Wärmestrom einer trockenen grünen Fassade (worst case) ausreicht, um bei offenstehendem Fenster, die Einrichtung direkt an der Öffnung innerhalb der Nutzungseinheit zu entzünden. Darüber hinaus soll insbesondere die vertikale Brandausbreitung genauer bewertet werden.

Für die Versuche wurden insgesamt acht Brandversuche in drei unterschiedlichen Versuchsreihen durchgeführt. Diese drei Versuchsreihen umfassten eine flächige Anordnung vor einer Außenwand, eine Anordnung mit Balkonen mit flächiger zentraler Brandeinwirkung sowie eine Anordnung mit Balkonen und einer Brandeinwirkung im Inneneck. Für jede Versuchsreihe wurde ein Referenzversuch ohne Begrünung (Pflanzen) durchgeführt, um den Einfluss der Begrünung genauer zu quantifizieren und die Ergebnisse zu validieren. In

den Versuchsreihen wurde zusätzlich jeweils ein Versuch mit vitaler und einer mit getrockneter (toter) Begrünung durchgeführt, vgl. Bild 8 und Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht über die durchgeführten Versuche mit zugehöriger Brandlast

Versuch	Versuchsbeschreibung	Brandlast*
V0	Flächiger Versuch ohne Pflanzen (Referenzversuch)	
V1	Flächiger Versuch mit Pflanzen – vital	4 × 35 kg (140 kg)
V2	Flächiger Versuch mit Pflanzen – trocken	
V3	Balkonversuch ohne Pflanzen – Fläche (Referenzversuch)	3 × 35 kg (105 kg)
V4	Balkonversuch ohne Pflanzen – Ecke (Referenzversuch)	1 × 35 kg
V5	Balkonversuch mit Pflanzen – Fläche vital	3 × 35 kg (105 kg)
V6	Balkonversuch mit Pflanzen – Ecke vital	1 × 35 kg
V7	Balkonversuch mit Pflanzen – Fläche trocken	3 × 35 kg (105 kg)

* Holzkrippen aus gehobeltem Nadelholz in Stäben mit Grundfläche von 500 mm × 500 mm mit kreuzweiser Anordnung (Verhältnis Holz:Luft = 1:1)

4.4

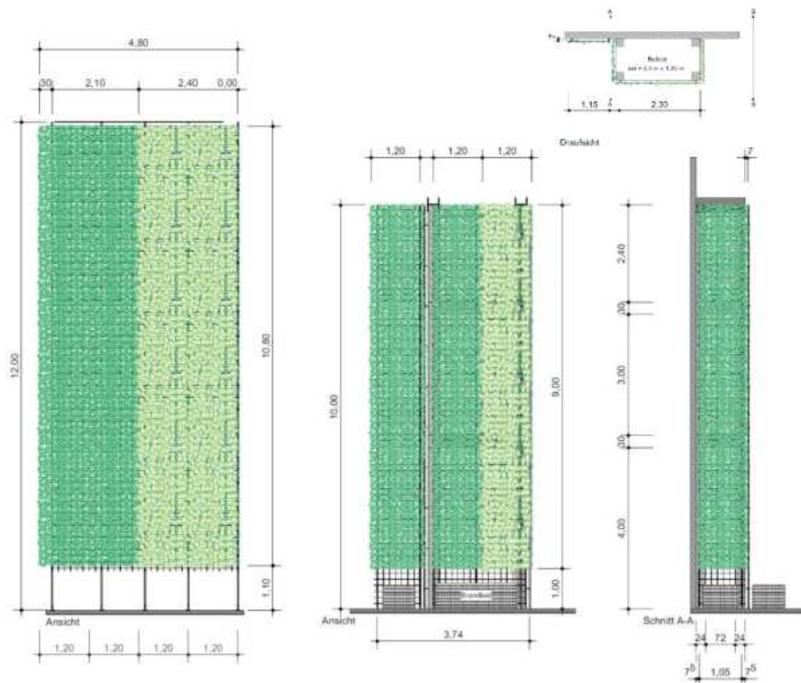


Bild 8: Links: Flächige Versuchsanordnung (12 m hoch) für die Versuche V0, V1 und V2; rechts: Balkonkonstruktion (10 m hoch) für die Versuche V3, V4, V5, V6 und V7 [16]

Als Begrünungen wurden am Rankgitter des Versuchsaufbaus *Hedera helix* mit einer Pflanzendichte (vital) von ca. 1,85 kg/m² (linke Seite, vgl. Bild 9) und *Euonymus fortunei* mit einer Pflanzendichte (vital) von ca. 2,55 kg/m² (rechte Seite, vgl. Bild 9) angeordnet.

Bild 9 zeigt den flächigen Versuch mit vitaler Begrünung (V1), den flächigen Versuch mit getrockneter (toter) Begrünung (V2) und den Balkonversuch mit Brandeinwirkung in der Ecke mit vitaler Begrünung (V4).



Bild 9: Links: Flächiger Versuch mit vitaler Begrünung (V1); Mitte: Flächiger Versuch mit getrockneter (toter) Begrünung (V2); Rechts: Balkonversuch mit Brandeinwirkung in der Ecke mit vitaler Begrünung (V4)

Bei den Brandversuchen mit Pflanzen, unabhängig von der Pflanzenart (*Hedera helix* bzw. *Euonymus fortunei*) und deren Feuchtegehalt, kam es zu einer vertikalen Brandausbreitung in Form von „Strohfeuern“. Dabei beeinflusste der Feuchtegehalt deren Intensität wesentlich. Die Beobachtungen von [8] konnten somit auch im großmaßstäblichen Versuch bestätigt werden. Bei vitaler Begrünung direkt vor einer Außenwand konnte ein Abbrand der begrüneten Fassade im Verhältnis des ca. 2,5-fachen der eigentlichen Primärflamme (Holzkrippen) festgestellt werden. Bei einer offenen Anordnung vor einem Balkon (Außenwand weiter entfernt) betrug der Faktor ca. 1,5. Generell konnte ein Selbstverlöschen der Begrünung beobachtet werden. Die detaillierte Versuchsauswertung ist zum aktuellen Zeitpunkt noch in Bearbeitung und kann im Anschluss [17] entnommen werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Für die brandschutztechnische Bewertung von begrüneten Fassaden gibt es aktuell nur wenige Bewertungsgrundlagen. Mittelmaßstäbliche Brandversuche im Rahmen des Forschungsvorhabens FireSafeGreen [11] zeigten: Haupteinflussfaktor auf das Brandverhalten von Pflanzen ist der Feuchtigkeitsgehalt. Die Pflanzenart selbst spielt eine untergeordnete Rolle in Bezug auf das Brandverhalten und ist nach diesen Erkenntnissen, – zumindest für die untersuchten Varianten – zu vernachlässigen. Auch der direkte Vergleich von jungen und alten Pflanzen sowie der Vergleich eines jahreszeitlichen Einflusses von Sommer und Winter zeigte keinen signifikanten Unterschied bei

vitalen, gepflegten Pflanzen. Im Verlauf von Bränden an begrünten Fassaden kommt es zu kurzen Wärmefreisetzungsspitzen. Diese Spitzen werden als „Strohfeuer“ bezeichnet. Sie entstehen, wenn Teile der Pflanzen durch die Brandeinwirkung austrocknen und sich dann schlagartig entzünden. Bei vitalen, gepflegten Pflanzen tritt eine horizontale Brandausbreitung nur in sehr geringem Umfang auf. Weiter verhalten sich vitale begrünte Fassaden nach Ende der Primärbrandeinwirkung selbstverlöschend. [6], [8], [13].

Für eine Kombination aus Holz- und begrünter Fassade lässt sich festhalten, dass ein Abbrand der Begrünung nicht zu einer Entzündung der dahinterliegenden Holzfassade führt. Voraussetzung ist ein Mindestabstand von 110 mm zwischen Rankgitter und Holzschalung und eine regelmäßige Pflege und Wartung der Begrünung. [6]

Auch in Bezug auf die abschließenden Großversuche zeigte sich, dass die angemessene Pflege und Wartung für brandsichere begrünte Fassade die entscheidende Einflussgröße sind. Die Schlussfolgerungen aus den Großversuchen lassen sich daher wie folgt zusammenfassen:

- Living Walls“ bzw. wandgebundene Systeme können sich aus brandschutztechnischer Sicht kritisch verhalten. Hier sind großmaßstäbliche Brandversuche und mittelfristig entsprechende Anwendbarkeitsnachweise notwendig. Aktuell ist es wichtig, genau zu prüfen, welche Nachweise vorgelegt werden.
- Kletterpflanzen an nichtbrennbaren Rankhilfen lassen sich allgemeingültig bewerten und stellen aus brandschutztechnischer Sicht ein geringeres Risiko dar.
- Die entscheidende Einflussgröße für eine brandsichere Grünfassade ist die Pflege und Wartung. Diese korrekte, regelmäßige Pflege und Wartung lassen sich mit Verweis auf DIN 18919 [18] und FLL-Richtlinie [19] definieren. Notwendig sind bei Standardgrünfassaden i. d. R. ein Pflegegang pro Jahr.
- Zu Bauteilen, wie horizontal auskragenden Dachstühlen aus Holz (brennbare Baustoffe), sollte ein Abstand von 50 cm eingehalten werden.
- Sofern Kletterpflanzen an nichtbrennbaren Rankhilfen an Balkonen geschossübergreifend angeordnet werden sollen, sind geschlossene Brüstungen aus nichtbrennbaren Baustoffen zu wählen.

FÖRDERHINWEIS

Dieses Projekt wird gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen aus Mitteln der Zukunft Bau Forschungsförderung.

LITERATUR

- [1] Alexandri, E.; Jones, P. (2008): Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. In: Building and Environment 43:480–493. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>.
- [2] Perini, K.; Ottelé, M.; et al. (2011): Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. In: Building and Environment 46:2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>
- [3] Köhler, M.; Ansel, W. (2012): Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung - Konstruktion - Ausführung. Köln: Rudolf Müller.
- [4] Mahabadi, M.; Althaus, C.; et al. (2018): Fassadenbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen. Hg. v. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. - FLL.
- [5] Pfoser, N. (2018): Vertikale Begrünung. Bauweisen und Planungsgrundlagen zur Begrünung von Wänden und Fassaden mit oder ohne natürlichen Boden-/Bodenwasseranschluss. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer (Fachbibliothek grün).
- [6] Engel, T. (2023): Brandschutz für biogene Fassaden – Experimentelle Untersuchungen als Grundlage brandschutztechnischer Prinzipien, Dissertation, Technische Universität München <https://mediatum.ub.tum.de/?id=1715368>.
- [7] Bielawski J, et al. (2024): An exploratory investigation into moisture content and wind impact on the fire behaviour of modular living walls. Fire Safety Journal 142. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.104024>.
- [8] Engel, T.; Werther, N. (2024): Fire Safety for Green Façades: Part 1: Basics, State-of-the-Art Research and Experimental Investigation of Plant Flammability. Fire Technology <https://doi.org/10.1007/s10694-024-01566-0>.
- [9] ÖNORM B 3800-5:2013. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 5: Brandverhalten von Fassaden - Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen.
- [10] DIN 4102-20:2017-10. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 20: Ergänzender Nachweis für die Beurteilung des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen.

- [11] Forschungsvorhaben FireSafeGreen, Homepage
<http://www.firesafegreen.de>.
- [12] EN 13823:2020-09. Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen.
- [13] Engel, T. (2023): Brandverhalten von Grünfassaden. OIB aktuell – Das Fachmagazin für Baurecht und Technik, Heft 2.2023 – Herausgeber: Österreichisches Institut für Bautechnik, S. 14-18.
- [14] MHolzBauRL, vom Oktober 2020 (21.06.2021): Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise.
- [15] Engel, T., Werther, N. (2023): Structural Means for Fire-Safe Wooden Façade Design. Fire Technology 59:117–151.
<https://doi.org/10.1007/s10694-021-01174-2>.
- [16] Kahler, J. (2024): Untersuchung der brandschutztechnischen Anwendbarkeit von begrünten Fassaden an mehrgeschossigen Gebäuden bis zur Hochhausgrenze.
- [17] Engel, T. (2024): Fire Safety for Green Façades: Part 2: Full-Scale Façade Fire Tests and Means for Fire-Safe Green Façade Design for Climbing Plants on Trellises. Fire Technology [Manuscript in preparation].
- [18] DIN 18919 (2016). Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Instandhaltungsleistungen für die Entwicklung und Unterhaltung von Vegetation (Entwicklungs- und Unterhaltungspflege); DIN 18919:2016-12; Dezember 2016.
- [19] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (2018). Fassadenbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen.