

Thomas Engel

Brandschutz für Fassadenbegrünungen

Ergebnisse des Forschungsvorhabens FireSafeGreen zu begrünten Fassaden

Fassadenbegrünungen bieten zahlreiche Vorteile für urbane Räume, indem sie zur Verbesserung der Luftqualität, Reduktion des Wärmeinseleffekts und Lärmabsorption beitragen. Doch wie steht es um den Brandschutz dieser grünen Bauwerke? Das Forschungsvorhaben FireSafeGreen untersucht die brandschutztechnischen Eigenschaften von begrünten Fassaden und liefert wertvolle Erkenntnisse. Im Beitrag werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und praxisnahe Empfehlungen für eine sichere Umsetzung gegeben.

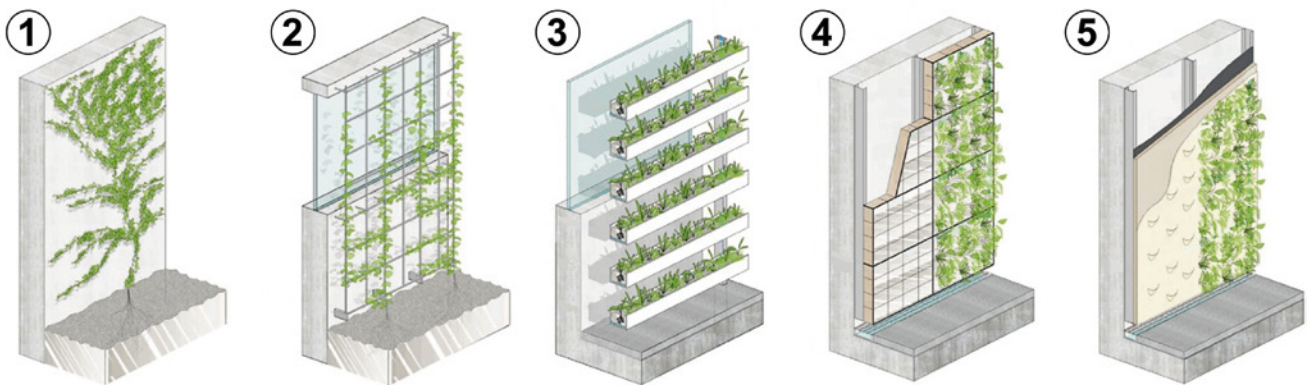


Abb. 1: Ausbildungsformen von Fassadenbegrünungen.

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 Quelle [5]

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. Abb. 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]

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].

Die Verwendung von Kletterpflanzen zur Fassadenbegrünung weist viele regionale Besonderheiten auf [3], [4], [5]. Das Artenpotenzial für Kletterpflanzen in der DACH-Re-

gion 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].

Abb. 2 und 3 zeigen Beispiele für realisierte Grünfassaden.

KERNAUSSAGEN

- Die Brandausbreitung entlang der Fassade stellt eines der kritischsten Brandszenarien dar.
- Haupteinflussfaktor auf das Brandverhalten von Pflanzen ist der Feuchtigkeitsgehalt.
- Eine Kombination aus Holz- und begrünter Fassade führt nach dem Stand der Forschung nicht zu einer Entzündung der dahinterliegenden Holzfassade.
- Die angemessene Pflege und Wartung sind der maßgebende Faktor für brandsichere begrünte Fassaden.
- Living Walls bzw. wandgebundene Systeme können sich aus brandschutztechnischer Sicht kritisch verhalten. Aktuell ist es wichtig genau zu prüfen, welche Nachweise vorgelegt werden.



Abb. 2: Bodengebundener Bewuchs an Kletterhilfen (Swiss Re Bürogebäude in München)



Abb. 3: Wandgebundenes Begrünungssystem (Stadtverwaltung Venlo, Niederlande)

Brandschutztechnische Bewertbarkeit der verschiedenen begrünten Fassadentypen

Wie im Abschnitt zuvor beschrieben sind »Living Walls« komplexe Fassadensysteme, die sich von Hersteller zu Hersteller erheblich unterscheiden. Die herstellereigene 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 allgemeingültige Prinzipien für einen brandschutztechnisch sicheren Betrieb [6].

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 [7] entnommen werden.

Mittel- bzw. großmaßstäbliche Brandversuche an begrünten Fassaden wurden bis dato vor allem in Österreich und Deutschland durchgeführt. Diese Untersuchungen fanden jedoch vorwiegend an genormten Fassadenbrandprüfständen statt, die ursprünglich für einen anderen Anwendungsfall konzipiert wurden und nicht den Einwirkungen realer Brandereignisse entsprechen [6]. Die aktuelle Herausforderung für begrünte Fassaden besteht folglich darin, Ergebnisse skaliert Prüfverfahren, wie beispielsweise nach [8] oder [9], in Verbindung mit Bewertungskriterien, die ebenfalls für andere Baustoffe konzipiert wurden, direkt in die Realität zu überführen bzw. Maßnahmen darauf aufbauend abzuleiten. Dieses Vorgehen kann zu unrealistischen Ergebnissen führen und birgt ohne gesamtgesellschaftliche 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

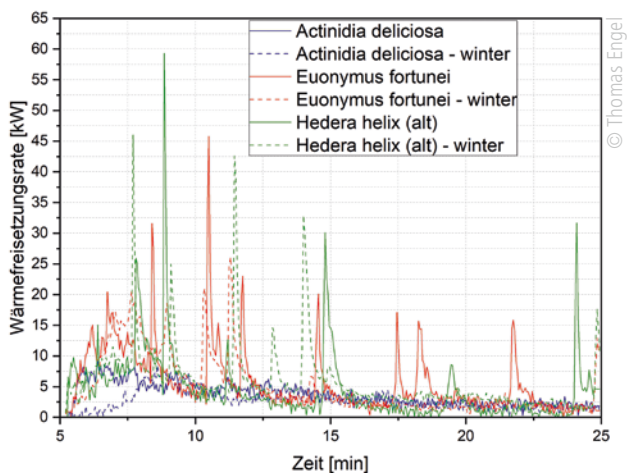


Abb. 4: Vergleich der Wärmefreisetzungsrate von Actinidia deliciosa, Euonymus fortunei und Hedera helix im Sommer und Winter

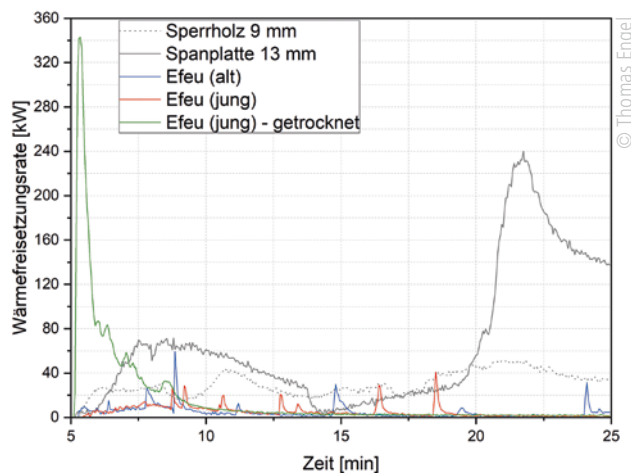


Abb. 5: Wärmefreisetzungsrate eines 42 Tage getrockneten, eines vitalen jungen und eines vitalen alten Efeus im Vergleich zu einer 9 mm Span- und einer 13 mm Sperrholzplatte

abgestorbene Pflanzen müssen zeitnah erkannt und entfernt werden. Zweitens ist bei einer Brandbeanspruchung der begrünten Fassaden mit einem Austrocknen der Begrü- nung und im weiteren Verlauf mit einer abrupten kurzweiligen Brandausbreitung (»Strohfeuer«) begrenzender Bereiche außerhalb des Primärbrands zu rechnen. [6], [7]

Brandverhalten der Pflanzen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens FireSafeGreen [10] wurde in einem ersten Teil das Brandverhalten von be- grünten 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) [11] bewer- tet wurde. Schwerpunkt der Untersuchung waren insge- samt 25 Kletterpflanzenarten. Der Haupteinflussfaktor auf das Brandverhalten von Pflanzen ist der Feuchtigkeitsgehalt der Pflanze [7]. Ein Vergleich der Wärmefreisetzungsrate von vitalen Pflanzen (normaler Feuchtigkeitsgehalt) zeigt ein ähnliches Verhalten, vgl. Abb. 4.

Im Verlauf der Beanspruchung kommt es zu kurzen Spit- zen der Wärmefreisetzungsrate. Diese Spitzen sind die aus

vorherigen Untersuchungen bekannten Strohfeuer. Sie ent- stehen, wenn Teile der Pflanzen durch die Brandeinwir- kung austrocknen und sich dann schlagartig entzünden. Die Pflanzenart selbst hat keinen signifikanten Einfluss auf das Brandverhalten. Bei allen Versuchen trat mit vitalen, ge- pflegten Pflanzen eine horizontale Brandausbreitung in nur sehr geringem Umfang und nach Abschalten des Brenners ein Selbstverlöschen auf. Auch ein direkter Vergleich zwi- schen jungen und alten Pflanzen sowie der Vergleich des jahreszeitlichen Einflusses zwischen Sommer und Winter ergab keinen signifikanten Unterschied bei vitalen, gepfleg- ten Pflanzen. [7]

Ein entscheidender Unterschied lag bei getrockneten Pflanzen vor. Hier trat zu Beginn eine abrupte Wärmefrei- setzung auf. Abgestorbene Pflanzen sowie ungepflegte Pflan- zen mit einem hohen Anteil an Totholz stellen folglich den kritischsten Fall dar. Abb. 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. [7]

Pflege und Wartung einer begrünten Fassade sind daher der wichtigste Faktor für die Aufrechterhaltung der Brand- sicherheit. Totholz in Form von abgestorbenem Laub, Äs- ten oder Vogelnestern ist regelmäßig zu entfernen. Außer- dem ist stetig zu prüfen, ob die Pflanzen noch vital sind und einen normalen Feuchtigkeitsgehalt aufweisen. Zusätz- lich sind die Pflanzen regelmäßig zurückzuschneiden. Unkon- trolliertes Wachstum kann zu viel Totholz führen – vor al- lem bei lichtfliehenden Pflanzen. [7]

Im nächsten Schritt ist es notwendig, die Erkenntnisse aus den mittelgroßen Versuchen im großen Maßstab zu über- prüfen; insbesondere die vertikale Brandausbreitung ist hier- bei genauer zu bewerten. [6], [7], [12]

Kombination von Holz- und Grünfassaden

Eine zentrale Frage für die Realisierung kombinierter Holz- und Grünfassaden sind die entstehenden Wechselwir- kungen im Brandfall. Die 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 [13], [14] von Holzfassaden zu einem Zünd- schnurreffekt führt.

Zur Untersuchung dieser Fragestellung wurden mittel- maßstäbliche Brandversuche durchgeführt [6], vgl. Abb. 6.

Im Rahmen der Versuche wurde ein Abstand von 110 mm zwischen Rankgitter und Holzschalung gewählt. Diese Wahl soll eine möglichst kritische Brandeinwirkung der be- grünten Fassade aufgrund des geringen Abstands zur Holz- schalung 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 Brand- sperren. Ein ausreichender Mindestabstand zur Außenwand ist notwendig, da vor allem Pflanzen mit dichter Blattmasse einen Hitzestau begünstigen und folglich absterben kön- nen. Um eine Überhitzung zu vermeiden, muss eine Luft- zirkulation an der Fassade durch einen ausreichenden Ab- stand der Rankgitter zur Außenwand uneingeschränkt mög- lich sein [5].



Abb. 6: Fotodokumentation des Brandversuchs Test 3 mit Holz- und Grünfassade zur dritten Prüfminute

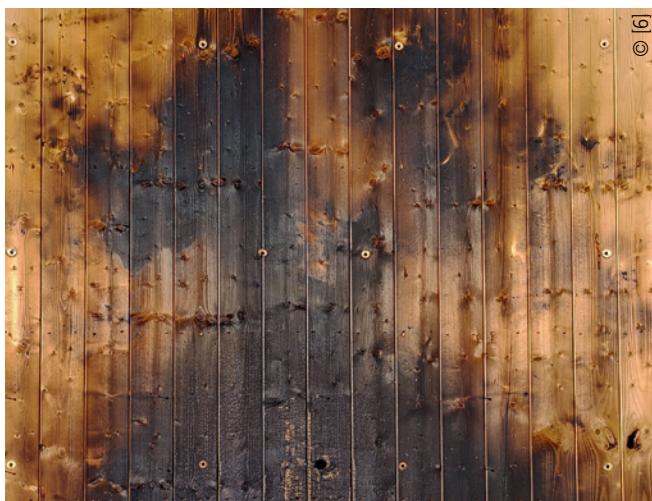


Abb. 7: Fotodokumentation der Holzschalung oberhalb der Brandsperrre nach Beendigung des Versuchs und der Beobachtungszeit für Test 3

Für Holzfassaden an mehrgeschossigen Gebäuden sind in Deutschland Brandsperrren [13], [14] in jedem Geschoss notwendig. Diese Brandsperrren definieren einen Mindestabstand der Begrünung zur Außenwand, da die Pflanze auf der einen Seite nicht durch die Brandsperrre hindurch wachsen kann und auf der anderen Seite ein ausreichender Mindestabstand zur Stahlbrandsperrre nötig ist, um eine Überhitzung der Pflanze in diesem Bereich zu vermeiden. Mit Zunahme der Auskrägung der Brandsperrre nimmt auch der Abstand des Rankgitters zur Holzschalung zu; folglich nimmt die Einwirkung aus dem Abbrand der Begrünung aufgrund des größeren Abstands ab. Dies ist der Grund, warum bei den durchgeführten und in [6] genauer beschriebenen Brandversuchen eine Nut-Feder-Holzschalung mit verhältnismäßig geringer Auskrägung der Brandschutzabschottungen bzw. Brandsperrren gewählt wurde.

Im Rahmen der Versuche wurde die Begrünung direkt bündig vor der 100 mm auskrägenden Brandsperrre vorbe-

geführt. 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 un gepflegte 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 Versuchsstands 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 selbstständiger Brand auf der Holzschalung oberhalb der Brandsperrre ein [6]. Dies lässt sich am besten visuell an den Holzschalungen nach Beendigung der Brandversuche beurteilen, siehe auszugsweise Abb. 7.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, ein Abbrand der Begrünung im Rahmen der Versuche [6] führte nicht zu einer Entzündung der dahinterliegenden Holzfassade. 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 [10] 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

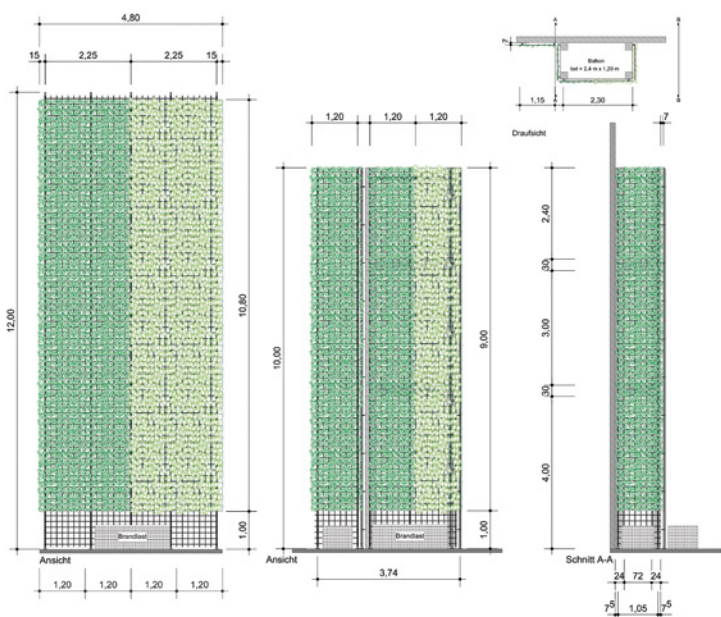


Abb. 8: links: flächige Versuchsanordnung (12 m hoch) für die Versuche V0, V1 und V2; rechts: Balkenkonstruktion (10 m hoch) für die Versuche V3, V4, V5, V6 und V7 [15]

Tab. 1: Übersicht über die durchgeführten Versuche mit zugehöriger Brandlast

Versuch	Versuchsbeschreibung	Brandlast*
V0	Flächiger Versuch ohne Pflanzen (Referenzversuch)	4 × 35 kg (140 kg)
V1	Flächiger Versuch mit Pflanzen – vital	
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)

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

validieren. In den Versuchsreihen wurde zusätzlich jeweils ein Versuch mit vitaler und einer mit getrockneter (toter) Begrünung durchgeführt, vgl. Abb. 9 und Tab. 1.

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

Abb. 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).

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 [7] konnten somit auch im großmaßstäblichen Versuch bestätigt werden. Bei vitaler Begrünung direkt vor einer Außenwand wurde ein Abbrand der begrünten Fassade im Verhältnis des ca. 2,5-fachen der eigentlichen Primärf Flamme (Holzkrippen) festgestellt. Bei einer offenen Anordnung vor einem Balkon (Außenwand weiter entfernt) betrug der Faktor ca. 1,5. Generell wurde ein Selbstverlöschen der Begrünung beobachtet. Die detaillierte Versuchsauswertung ist zum aktuellen Zeitpunkt noch in Bearbeitung und kann im Anschluss [16] entnommen werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Für die brandschutztechnische Bewertung von begrünten Fassaden gibt es aktuell nur wenige Bewertungsgrundlagen. Mittelmaßstäbliche Brandversuche im Rahmen des Forschungsvorhabens FireSafeGreen [10] zeigten: Haupteinflussfaktor auf das Brandverhalten von Pflanzen ist der Feuchtegehalt. 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. 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



Abb. 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)

Ende der Primärbrandeinwirkung selbstverlöschend. [6], [7], [12]

Für eine Kombination aus Holz- und begrünter Fassade führt ein Abbrand der Begrünung nicht zu einer Entzündung der dahinterliegenden Holzfassade. 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 Einflussgrößen 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. Die korrekte, regelmäßige Pflege und Wartung lassen sich mit Verweis auf DIN 18919 [17] und FLL Richtlinie [4] 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.

DER AUTOR

Dr.-Ing. Thomas Engel

Wissenschaftlicher Mitarbeiter und seit 2023 Leiter des Fachbereichs Brandforschung am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München. Zudem ist er geschäftsführender Gesellschafter der Brandschutz-Engel GmbH und der KET Fire GmbH sowie Kommandant einer Abteilung der Freiwilligen Feuerwehr München.



Technische Universität München
 Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Brandforschung
 Arcisstraße 21
 80333 München
 engel@tum.de

Förderung

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.

Hinweis

Dieser Artikel wurde in ähnlicher Form bereits in [18] veröffentlicht.

Literatur

- [1] Alexandri, Eleftheria; Jones, Phil: Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment* 43 (2008) Nr. 4, S. 480–493. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>
- [2] Perini, Katia et al.: Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* 46 (2011) Nr. 11, S. 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>
- [3] Köhler, Manfred (Hrsg.) *Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung – Konstruktion – Ausführung.* Köln: Rudolf Müller, 2012
- [4] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (Hrsg.): *Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen.* Bonn: 2018
- [5] Pfoser, Nicole: *Vertikale Begrünung.* Stuttgart: Eugen Ulmer (2018).
- [6] Engel, Thomas: *Brandschutz für biogene Fassaden – Experimentelle Untersuchungen als Grundlage brandschutztechnischer Prinzipien.* Dissertation. Technische Universität München, 2023 URL: <https://mediatum.ub.tum.de/?id=1715368> [Abruf: 05.08.2024]
- [7] Engel, Thomas; Werther, Norman: Fire Safety for Green Façades: Part 1: Basics, State-of-the-Art Research and Experimental Investigation of Plant Flammability. *Fire Technology* 60 (2024), S. 2177–2230 <https://doi.org/10.1007/s10694-024-01566-0>
- [8] ÖNORM B 3800-5:2013 *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 5: Brandverhalten von Fassaden – Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen*
- [9] DIN 4102-20:2017-10 *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 20: Ergänzender Nachweis für die Beurteilung des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen*
- [10] Forschungsvorhaben FireSafeGreen, URL: <http://www.firesafegreen.de> [Abruf: 05.08.2024]
- [11] EN 13823:2020-09 *Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen*
- [12] Engel, Thomas. *Brandverhalten von Grünfassaden. OIB aktuell – Das Fachmagazin für Baurecht und Technik* 25 (2023) Nr. 2, S. 14–18
- [13] *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL), vom Oktober 2020 (21.06.2021)*
- [14] Engel, Thomas; Werther, Norman: Structural Means for Fire-Safe Wooden Façade Design. *Fire Technology* 59 (2023), S. 117–151. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01174-2>
- [15] Kahler, J.: *Untersuchung der brandschutztechnischen Anwendbarkeit von begrünten Fassaden an mehrgeschossigen Gebäuden bis zur Hochhausgrenze.* München: Lehrstuhlbibliothek Lehrstuhl Holzbau und Baukonstruktion, 2024
- [16] Engel, Thomas: *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.* Unveröffentlicht.
- [17] DIN 18919:2016-12 *Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Instandhaltungsleistungen für die Entwicklung und Unterhaltung von Vegetation (Entwicklungs- und Unterhaltungspflege)*
- [18] Engel, Thomas; Winter, Stefan: Grundlagen zur brandschutztechnischen Anwendbarkeit von begrünten Fassaden an mehrgeschossigen Gebäuden. *Bauphysik* 46 (2024), Nr. 3, S. 119–126. <https://doi.org/10.1002/bapi.202400014>