

GRUNDLAGEN ZUR BRANDSCHUTZTECHNISCHEN ANWENDBARKEIT VON BEGRÜNTE FASSADEN AN MEHRGESCHOSSIGEN GEBÄUDEN

Thomas Engel, Stefan Winter

Technische Universität München, E-Mail: engel@tum.de

Kurzfassung

Begrünte Fassaden liegen im Trend. Die Brandausbreitung entlang der Fassade stellt grundsätzlich weltweit eines der kritischsten Brandszenarien dar und Pflanzen sind zusätzliche brennbare Materialien. Der Einfluss begrünter Fassaden auf die Brandweiterleitung entlang der Fassade ist folglich nicht zu vernachlässigen. Allerdings steht nur wenig Forschung zu diesem Thema zur Verfügung. Dies soll das Forschungsvorhaben FireSafeGreen ändern. Haupteinflussfaktor auf das Brandverhalten von Pflanzen ist der Feuchtigkeitsgehalt. Die Pflanzenart selbst spielt eine untergeordnete Rolle in Bezug auf das Brandverhalten. Eine Kombination aus Holz- und begrünter Fassade führt unter Berücksichtigung einiger Randbedingungen nicht zu einer Entzündung der dahinterliegenden Holzfassade. Grundsätzlich sind die angemessene Pflege und Wartung der maßgebende Faktor für brandsichere begrünte Fassaden.

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 (Alexandri et al., 2008), (Perini, et al., 2011). Der Begriff begrünte Fassaden ist ein Überbegriff für sehr unterschiedliche konstruktive Ausführungen von Fassadenbegrünungen. Abbildung 8 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. (Köhler et al., 2012). (Mahabadi et al., 2018), (Pfoser, 2018).

Für bodengebundene Begrünungen an Kletterhilfen haben sich je nach Dickenwuchs (Wüchsigkeit) Wandabstände von 50 bis 200 mm zur Kletterhilfe etabliert (Mahabadi et al., 2018), (Pfoser, 2018). Ein

ausreichender Abstand ist neben der Wüchsigkeit der Pflanze auch aufgrund der sonst möglichen Überhitzung der Gerüstkletterpflanze durch die Außenwand notwendig (Pfoser, 2018).

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 (Köhler et al., 2012), (Pfoser, 2018). 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 (Köhler et al., 2012). (Mahabadi et al., 2018), (Pfoser, 2018). Das Artenpotenzial für Kletterpflanzen in der DACH-Region umfasst ca. 150 Arten und Sorten (Köhler et al., 2012). Das Spektrum der möglichen Pflanzenarten für wandgebundene Begrünungssysteme ist wesentlich umfangreicher. Für die DACH-Region werden in (Mahabadi et al., 2018) ca. 100 Arten und Sorten aufgeführt. Zu unterscheiden sind Stauden, Gräser und Klettergehölze (Köhler et al., 2012).

Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen Beispiele für realisierte Grünfassaden.



*Abbildung 1: Bodengebundener Bewuchs an Kletterhilfen (Swiss Re Bürogebäude München);
(Quelle: Bundesverband GebäudeGrün)*



Abbildung 2: Wandgebundenes Begrünungssystem (Stadtverwaltung Venlo Niederlande); (Quelle: Bundesverband GebäudeGrün)

Brandschutztechnische Bewertbarkeit der verschiedenen begrünten Fassadentypen

Wie zuvor beschrieben sind „Living Walls“ komplexe Fassadensysteme, die sich von Hersteller zu Hersteller erheblich unterscheiden. Die herstellereigenen Systeme lassen sich nur durch großmaßstäbliche Brandversuche am jeweiligen Gesamtsystem produktspezifisch zielführend untersuchen (Engel, 2023a). 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 (Engel, 2023a).

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 (Engel, 2023a), (Engel et al., 2023b) 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 (Engel, 2023a), statt. Die aktuelle Herausforderung für begrünte Fassaden besteht folglich darin, dass Ergebnisse skalierter Prüfverfahren, wie beispielsweise nach (ÖNORM B 3800-5:2013) oder (DIN 4102-20:2017-10), 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 (Engel, 2023a).

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. (Engel, 2023a)(Engel et al., 2023b)

Brandverhalten der Pflanzen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens FireSafeGreen (FireSafeGreen, 2024) wurde in einem ersten Teil das Brandverhalten von begrünten Fassaden untersucht. Im Fokus stand hierbei die Entflammbarkeit begrünter Fassaden, die im Rahmen von 40 kalorimetrischen Brandversuchen im mittleren Maßstab mit der Prüfmethode Single Burning Item (SBI) (EN 13823:2020-09) bewertet wurde. Schwerpunkt der Untersuchung waren insgesamt 25 Kletterpflanzenarten. Der Haupteinflussfaktor auf das Brandverhalten von Pflanzen ist der Feuchtigkeitsgehalt der Pflanze. Ein Vergleich der Wärmefreisetzungsrate von vitalen Pflanzen (normaler Feuchtigkeitsgehalt) zeigt ein ähnliches Verhalten, vgl. Abbildung 3.

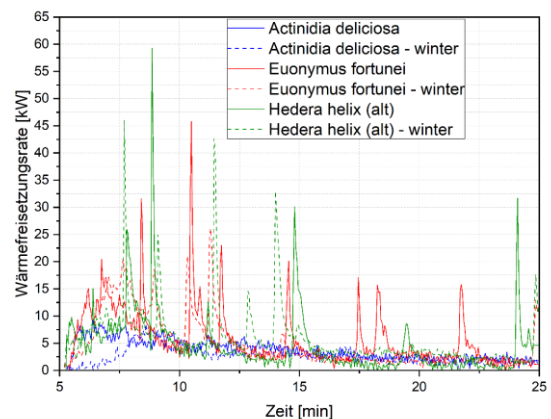


Abbildung 3: Vergleich der Wärmefreisetzungsrate von Actinidia deliciosa, Euonymus fortunei und Hedera helix im Sommer und Winter

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. (Engel 2023a), (Engel et al., 2023b), (Engel 2023c)

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. Abbildung 4 stellt die Wärmefreisetzungsraten eines 42 Tage getrockneten, eines vitalen jungen und eines vitalen alten Efeus im Vergleich zu einer 9 mm Span- und einer 13 mm Sperrholzplatte dar.

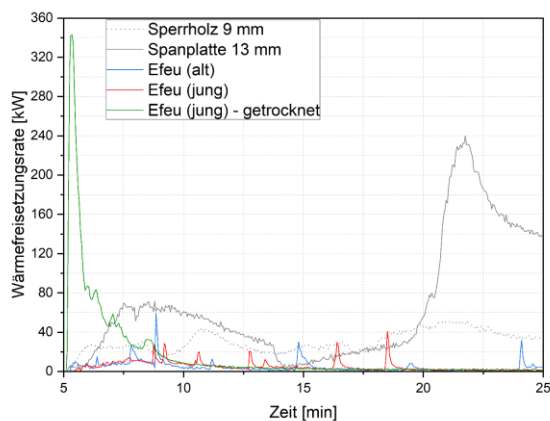


Abbildung 4: Wärmefreisetzungsraten eines 42 Tage getrockneten, eines vitalen jungen und eines vitalen alten Efeus im Vergleich zu einer 9 mm Span- und einer 13 mm Sperrholzplatte

Pflege und Wartung einer begrünter Fassade sind daher der wichtigste Faktor 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. (Engel 2023a), (Engel et al., 2023b), (Engel 2023c)

Im nächsten Schritt ist es notwendig, die Erkenntnisse aus den mittelgroßen Versuchen im großen Maßstab zu überprüfen; insbesondere die vertikale Brandausbreitung ist hierbei genauer zu bewerten. (Engel 2023a), (Engel et al., 2023b), (Engel 2023c)

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 begrünter Fassade ausreicht, um eine dahinterliegende Außenwandverkleidung aus Holz zu entzünden und ob eine begrünter Fassade im Bereich von Brandsperren (MHolzBauRL, 2020) von Holzfassaden zu einem Zündschnurreffekt führt.

Zur Untersuchung dieser Fragestellung wurden mittelmaßstäbliche Brandversuche durchgeführt (Engel, 2023a), vgl. Abbildung 5.



Abbildung 5: Fotodokumentation des Brandversuchs Test 3 mit Holz- und Grünfassade zur 3. Prüfminute

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 (Mahabadi et al., 2018), (Pfoser, 2018). 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 (Pfoser, 2018).

Für Holzfassaden an mehrgeschossigen Gebäuden sind in Deutschland Brandsperren (MHolzBauRL, 2020), (Engel et al., 2021a), (Engel et al., 2021b) 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 (Engel, 2023a) genauer beschriebenen Brandversuchen eine Nut-Feder-Holzschalung mit verhältnismäßig geringer Auskrugung 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 gefüllt (Engel, 2023a). 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 Versuchsstandes oder die Größe der Brandeinwirkung (Engel, 2023a).

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 (Engel, 2023a). Dies lässt sich am besten visuell an den Holzschalungen nach Beendigung der Brandversuche beurteilen, siehe auszugsweise Abbildung 6.



Abbildung 6: Fotodokumentation der Holzschalung oberhalb der Brandsperre nach Beendigung des Versuches und der Beobachtungszeit für Test 3

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 (Engel, 2023a). 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 (Engel, 2023a).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein Abbrand der Begrünung im Rahmen der Versuche (Engel, 2023a) 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

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrages fanden in Freiberg die abschließenden Großbrandversuche des Forschungsvorhabens FireSafeGreen (FireSafeGreen, 2024) statt.

Im Rahmen dieser Großbrandversuche wird untersucht welchen Einfluss ein sehr kurzfristiger

Wärmestrom auf die Außenwand, Fenster, Balkone und die dahinter liegenden Bereiche hat und welches Risiko damit verbunden ist. Eine konkrete Frage wäre 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.

Geplant sind in Summe acht Fassadenbrandversuche, die sowohl flächig an der Wand als auch an einer Balkenkonstruktion angeordnet werden, vgl. Abbildung 9.

Abbildung 7 zeigt darüber hinaus den 2. Versuch (V1) mit vitalen Pflanzen am flächigen Aufbau.



Abbildung 7: Foto des abschließenden Großbrandversuchs V1 des Forschungsvorhabens FireSafeGreen mit der 12 m hohen flächigen Anordnung und vitalen Kletterpflanzen

Zusammenfassung und Ausblick

Für die brandschutztechnische Bewertung von begrünten Fassaden gibt es aktuell nur wenige Bewertungsgrundlagen. Mittellaßstäbliche

Brandversuche im Rahmen des Forschungsvorhabens FireSafeGreen (FireSafeGreen, 2024) 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. (Engel, 2023a), (Engel et al., 2023b), (Engel 2023c)

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. (Engel, 2023a)

Im nächsten Schritt gilt es, die Erkenntnisse aus den mittelmaßstäblichen Versuchen im Großmaßstab zu überprüfen und vor allem die vertikale Brandausbreitung genauer zu untersuchen. Weiter ist die Definition der angemessenen Pflege und Wartung für brandsichere begrünte Fassade tiefergehend auszuarbeiten. Zu klären ist, welche Intervalle notwendig sind und wann die unterschiedlichen Pflegemaßnahmen erforderlich sind. Genauer zu untersuchen ist darüber hinaus der Einfluss des sehr kurzweiligen Wärmestroms einer brennenden Fassadenbegrünung auf die Außenwand, die Fenster und die dahinterliegenden Bereiche. Welches tatsächliche Risiko ergibt sich daraus für eine Brandausbreitung?

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

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 (4), S. 480–493.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>

DIN 4102-20:2017-10. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 20: Ergänzender Nachweis für die Beurteilung des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen.

EN 13823:2020-09. Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen.

Engel, T. 2023a. Brandschutz für biogene Fassaden – Experimentelle Untersuchungen als Grundlage brandschutztechnischer Prinzipien, Dissertation, Technische Universität München

Engel, T.; Werther, N. 2023b. Fire Safety for Green Façades- Part 1: Basics, state-of-the-art research and experimental investigation of plant flammability; Fire Technology [Manuscript submitted for publication]

Engel, T., Werther, N. 2021a. Structural Means for Fire-Safe Wooden Façade Design. Fire Technol. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01174-2>

Engel, Thomas 2021b. Aktuelle Erkenntnisse zur Planung von Holzfassaden. Tagungsband der EIPOS-Sachverständigentage Brandschutz 2021

Engel, Thomas 2023c. Brandverhalten von Grünfassaden. OIB aktuell – Das Fachmagazin für Baurecht und Technik, Heft 2.2023 – Herausgeber: Österreichisches Institut für Bautechnik, S. 14-18

Engel, T. 2023d. Die begrünte Fassade. 24. EIPOS-Sachverständigentage Brandschutz, Dresden

Forschungsvorhaben FireSafeGreen, Homepage <http://www.firesafegreen.de>

Köhler, M.; Ansel, W. 2012. Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung - Konstruktion - Ausführung. Köln: Rudolf Müller.

Mahabadi, M.; Althaus, C.; et al. 2018. Fassadenbegrünungs-richtlinien - Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen. Hg. v. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. - FLL.

MHolzBauRL, vom Oktober 2020 (21.06.2021): Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise.

ÖNORM B 3800-5:2013. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 5: Brandverhalten von Fassaden - Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen.

Perini, K.; Ottel , M.; et al. 2011. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. In: Building and Environment 46 (11), S. 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>

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).

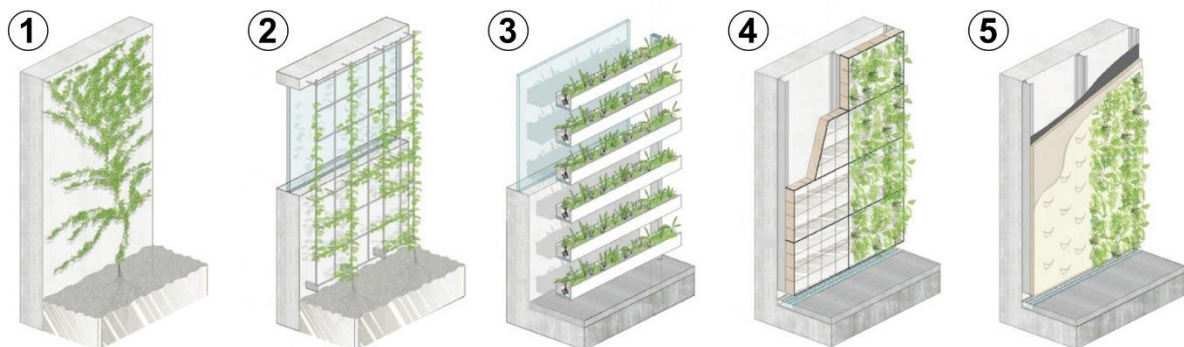


Abbildung 8: Ausbildungsformen von Fassadenbegrünungen. 1) Direktbewuchs mit Selbstklimmern, bodengebunden, 2) leitbarer Bewuchs an Kletterhilfen, bodengebunden, 3) Pflanzgefäße, horizontale Vegetationsflächen, wandgebunden, 4) modulares System (Living Wall), vertikale Vegetationsflächen, wandgebunden, 5) flächiges System (Living Wall), vertikale Vegetations-flächen, wandgebunden; basierend auf Bildquelle (Pfoser, 2018)

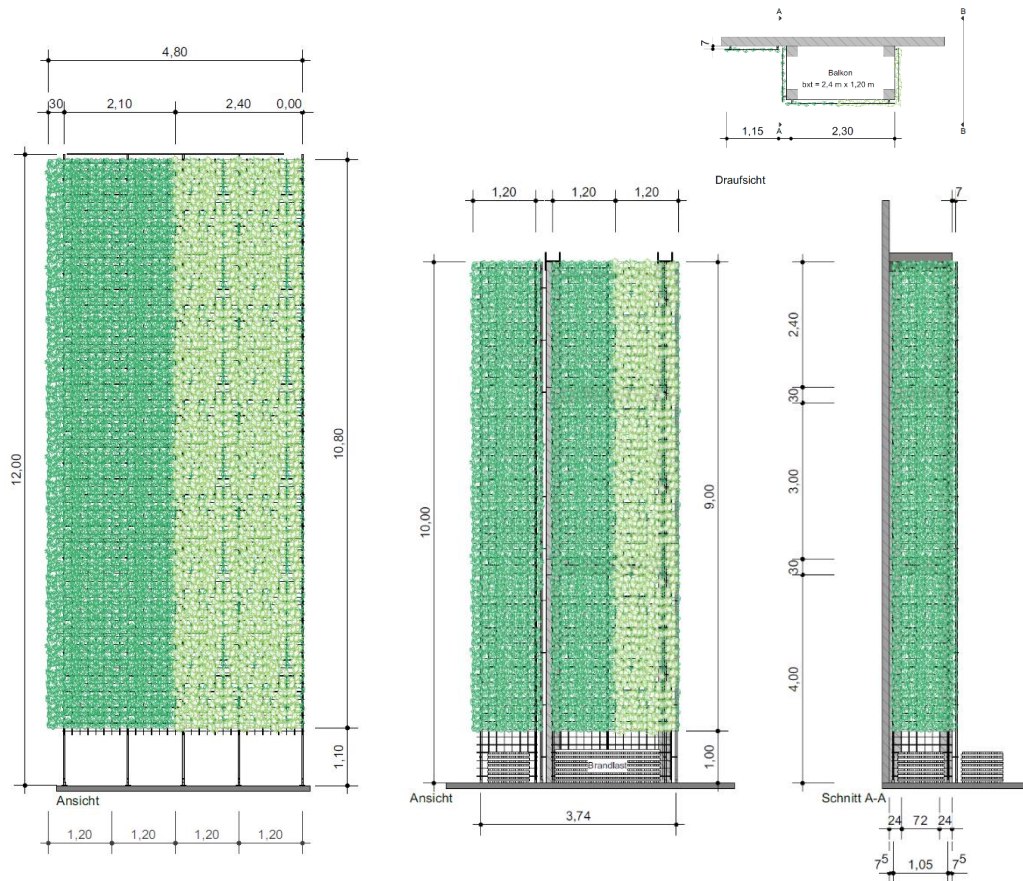


Abbildung 9: Links: Flächige Versuchsanordnung (12 m hoch) für die Versuche V0, V1 und V2; rechts: Balkenkonstruktion (10 m hoch) für die Versuche V3, V4, V5, V6 und V7