



**Stadt
Wien**

Prüf-, Inspektions- und
Zertifizierungsstelle

Zweite Studie zum Thema
**„Brandverhalten von Grünfassaden in
großmaßstäblichen Versuchen“**

durchgeführt durch die
Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien
(Magistratsabteilung 39)
Rinnböckstraße 15/2
1110 Wien

im Auftrag der
Wohnbauförderung und Schlichtungsstelle für wohnrechtliche
Angelegenheiten
(Magistratsabteilung 50)
IBA-Wien, Wohnbauforschung und internationale Beziehungen
Muthgasse 62
1190 Wien

Verfasser:

Dipl.-Ing. Dieter Werner, MSc, Leiter des Bauphysiklabors der MA 39
Dipl.-Ing. Georg Pommer, Leiter der MA 39
Durchführung der Brandversuche: Dipl.-HTL-Ing. Kurt Danzinger, MSc
und Ing. Stephan Pomper

Wien, am 30. November 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Methodik	2
1.4	Ergebnisse	3
1.5	Weitere Schritte.....	4
2	Summary	6
2.1	Initial situation.....	6
2.2	Objective.....	7
2.3	Methodology	7
2.4	Results	8
2.5	Further steps.....	9
3	Ausgangslage	11
3.1	Erste Studie zum Brandverhalten von Grünfassaden (2018)	11
3.2	Abgeleitete Erkenntnisse aus der ersten Studie	12
3.3	Neuer Fassadenbegrünungsleitfaden der Stadt Wien (12/2019)	13
3.4	Planung der zweiten Studie zum Thema Brandschutz.....	16
4	Realbrandversuche	18
4.1	Prüfszenario nach ÖNORM B 3800-5.....	18
4.1.1	..Allgemeine Betrachtungen	18
4.1.2	..Versuchsanordnung	19
4.2	Großmaßstäbliche Versuche.....	24
4.2.1	..Versuch 1 (Efeu mit 20 cm auskragender Brandabschottung)	25
4.2.2	..Versuch 2 (Trogssystem mit 30 cm auskragender Brandabschottung)	33
4.2.3	..Versuch 3 (Trogssystem mit 10 cm auskragender Brandabschottung).....	40
4.2.4	..Versuch 4 (Trogssystem, ohne Brandabschottung).....	46
4.2.5	..Versuch 5 (Rankhilfe 70 cm vor der Fassade)	51
4.2.6	..Versuch 6 (Rankhilfe 40 cm vor der Fassade).....	60
4.2.7	..Versuch 7 (Rankhilfe 20 cm vor der Fassade)	65

5	Ergebniszusammenfassung	71
6	Strategische Handlungsanleitung.....	74
7	Verzeichnisse.....	76
7.1	Literaturverzeichnis.....	76
7.2	Abbildungsverzeichnis.....	77
7.3	Tabellenverzeichnis	80

1 Kurzfassung

1.1 Ausgangslage

Mittlerweile ist in Mitteleuropa und ganz besonders in Wien gesellschaftlicher Konsens, dass neben anderen Maßnahmen auch Begrünungen notwendig sind, um den vielzitierten Veränderungen des Klimawandels in Städten entgegen zu treten. Fassadenbegrünungen sind dabei eine der Möglichkeiten, mehr städtische grüne Infrastruktur zu schaffen.

Oftmals wurde und wird der Brandschutz als einer der Hemmschuhe für die Errichtung von Fassadenbegrünungen genannt. Daher hat die Stadt Wien und federführend die Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungsstelle (MA 39) im Auftrag der Wohnbauförderung und Schlichtungsstelle für wohnrechtliche Angelegenheiten (MA 50) im Jahr 2018 ein erstes großes Paket an großmaßstäblichen Brandversuchen von Fassadenbegrünungen durchgeführt, um das Verhalten von Begrünungen im Brandfall besser verstehen zu können. Der abschließende Bericht der damaligen Brandversuche (frei downloadbar unter <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=480>) stellt einen Meilenstein in der Betrachtung des Brandschutzes von Fassadenbegrünungen dar und ist mittlerweile im gesamten mitteleuropäischen Raum von Zürich über Hamburg bis München Maßstab für die Planung und Ausführung von Fassadenbegrünungen. In Wien haben die Ergebnisse dazu geführt, dass erstmals und abgestimmt mit der Wiener Baupolizei – Kompetenzstelle Brandschutz (MA 37 – KSB) konkrete und schlüssige Anforderungen an den Brandschutz definiert wurden, die Eingang in den neuen Fassadenbegrünungsleitfaden der Abteilung Umweltschutz (MA 22) gefunden haben. So war es möglich, den angeblichen Hemmschuh signifikant zu verkleinern und die Errichtung von Fassadenbegrünungen zu forcieren.

Nichtsdestotrotz hat die Zeit nach Erscheinen der Studie gezeigt, dass zu einigen oftmals gewünschten Konstruktionsarten von Fassadenbegrünungen noch keine belastbaren Daten zum Brandschutz vorliegen, sodass entschieden wurde, dass die MA 39 im Jahr 2020 diese nun vorliegende zweite Studie zum Thema erarbeitet – dankenswerterweise wieder im Auftrag der MA 50.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Studie ist es daher, in insgesamt drei Arbeitspaketen weitere Fassadenbegrünungskonstruktionen großmaßstäblichen Brandversuchen auszusetzen und deren Verhalten zu beobachten, um im Idealfall weitere einfache brandschutztechnische Regeln für diese Konstruktionen formulieren zu können. Die drei Arbeitspakete lassen sich definieren als

1. prüftechnischer Nachweis der Funktion einer im Fassadenbegrünungsleitfaden als nachweisfrei definierten Brandabschottung (Schutzziel Brandweiterleitung)
2. erstmalige Versuche mit fassadengebundenen metallischen Trogsystemen unter Verwendung von Brandabschottungen unterschiedlicher Auskragungstiefen
3. Versuche an vorgesetzten Begrünungen auf Rankhilfen mit Variation des Abstandes zwischen Fassadenoberfläche und Rankgerüst

1.3 Methodik

Für die großmaßstäblichen Brandversuche wurde wie schon in der ersten Studie das Brandszenario in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5 (Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 5: Brandverhalten von Fassaden - Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen) gewählt. Als angenommenes Szenario dient ein Vollbrand in einem Raum, der aus einem Fenster ausbricht und die anliegende Fassade angreift. Zur Beurteilung wird jener Beitrag zur Brandausbreitung herangezogen, den die gegenständliche Fassadengestaltung (Form, Baustoffe, Montagesysteme u. a.) zusätzlich zur stets vorhandenen Ausbreitung bietet. Als Brandlast wird dabei eine 25 kg schwere Fichtenholzkrippe verwendet.

Beurteilungskriterien sind dabei

- die Brandausbreitung entlang der Fassadenbegrünung und
- das Abfallen großer und/oder brennender Teile der Fassadenkonstruktion.

Insgesamt wurden sieben Großbrandversuche durchgeführt, wobei bei jenen mit der vorgesetzten Begrünung die Brandlast verdoppelt wurde, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass derartige Begrünungskonstruktionen etwa auch vor Loggien/Balkonbereichen mit eventuell abgelagerten brennbaren Materialien, die eine zusätzliche Brandlast darstellen, angebracht werden.

1.4 Ergebnisse

Alle Versuche bestätigten die wichtigste, in der ersten Studie formulierte Ergebnisinterpretation: Eine Entzündung der verholzten Triebe sowie der Blattmasse der Begrünung ist ab Temperaturen von ca. 500 °C zu erwarten, sodass jede brandschutztechnische Maßnahme dahingehend beurteilt werden muss, ob sie sicherstellt, dass Fassadenbegrünungen im Realbrandfall nicht diesen Temperaturen ausgesetzt sind. Beginnen Begrünungen zu brennen, so ist jedenfalls eine nach ÖNORM B 3800-5 unzulässige vertikale Brandweiterleitung zu beobachten. Wiederum zeigte sich, dass grundsätzlich jede Pflanze entzündet werden kann, egal welcher botanischen Gattung sie angehört.

Die genannten 500°C an der Begrünung zu vermeiden, gelang bei den durchgeführten Versuchen einerseits immer dann, wenn eine entsprechend weit auskragende Brandabschottung aus Stahlblech mit einer Dicke von 1,0 bis 2,0 mm waagrecht über der Brandkammer montiert war – unabhängig davon, ob sich darüber ein direkt an den Prüfstand montierter Efeu oder ein begrüntes Trogsystem befand. Diese Brandabschottung bewirkt eine Ablenkung der Flammen, die aus der Brandkammer strömen und verhindert so einen direkten Flammenangriff auf die Fassadenkonstruktion. Was die Auskragungstiefe der Brandabschottung betrifft, so ist ein Maß von 20 cm über den äußersten Punkt der Begrünung, nunmehr prüftechnisch nachgewiesen, bei metallischen Trogsystemen funktioniert eine geringere Auskragung von 10 cm.

Der Brandversuch einer Aluminium-Trogkonstruktion ohne Brandabschottung verlief negativ, rein die metallische und damit grundsätzlich nichtbrennbare Ausbildung einer Trogkonstruktion ist also nicht ausreichend, es ist jedenfalls der Schmelzpunkt des Materials zu betrachten.

Was die vorgesezte Konstruktion betrifft, so schafft man es dort andererseits mit einem gewissen Abstand von der Fassadenfläche, dass die „kritische“ Temperatur nicht erreicht wird. Es erscheint ein Abstand der Begrünung an einem metallischen Rankgerüst von mindestens 40 cm zur Fassadenoberfläche als adäquat. Der Versuch mit einem geringeren Abstand von 20 cm zwischen Rankgerüst und Fassadenoberfläche verlief negativ, eine gemäß ÖNORM B 3800-5 unzulässige Brandweiterleitung über die gesamte Begrünung war zu beobachten.

Ebenfalls wie bereits in der ersten Studie festgestellt, war bei keinem der Versuche ein Herabfallen von großen oder brennenden Teilen zu beobachten, ebenso spielte auch eine seitliche Brandweiterleitung – selbst bei den negativ verlaufenden Prüfungen – keine signifikante Rolle.

1.5 Weitere Schritte

Als Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Versuche lassen sich seitens der MA 39 folgende Punkte anführen:

- Die im Fassadenbegrünungsleitfaden definierte nachweisfreie Variante von Begrünungen in den Gebäudeklassen 4 und 5 mit einer geschoßweisen Abschottung aus einem 20 cm auskragenden, durchgehenden Profil aus Stahlblech (Dicke mind. 1,0 mm) ist prüftechnisch bestätigt und kann so beibehalten werden. Etwaige Lösungen mit geringeren Auskragungstiefen benötigen weiterhin einen prüftechnischen Nachweis.

- Fassadengebundene metallische Trogsysteme auf metallischer Unterkonstruktion mit Edelstahlbefestigung an der Fassade entsprechen den brandschutztechnischen Schutzziele an Fassaden in den Gebäudeklassen 4 und 5 dann, wenn auch sie mit einer geschoßweisen Brandabschottung aus einem 10 cm auskragenden, durchgehenden Profil aus Stahlblech (Dicke mind. 2,0 mm) ausgestattet sind.
- Vor die Fassade vorgesezte Begrünungsformen in Zusammenhang mit nichtbrennbaren (z.B. metallischen) Rankhilfen haben einen Mindestabstand von 40 cm zur Fassadenoberfläche oder zu einem Balkon o.ä. aufzuweisen, damit es über die Begrünung nicht zu einer Brandweiterleitung kommt.
- Die Ergebnisse dieser Studie haben keine Auswirkungen auf die brandschutztechnischen Anforderungen an Fassadenbegrünungen für Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m.
- Weiterhin gilt: Fassadenbegrünungen sind zu pflegen und in einem vitalen, funktionalen Zustand zu erhalten (Bauwerksbuch, eindeutige Regelung der Zuständigkeit für Pflege und Erhaltung der Begrünung). Erforderliche Pflegemaßnahmen sind bereits in der Planung zu berücksichtigen und gegebenenfalls im Bauwerksbuch festzuhalten.

Diese Schlussfolgerungen aus den Versuchen sind nun mit den Expertinnen und Experten zum Thema zu diskutieren, um danach im besten Fall weitere einfache und klare Regelungen für die beschriebenen Konstruktionen im Fassadenbegrünungsleitfaden festzuhalten. Dadurch wird es gelingen, eine noch größere Bandbreite an Begrünungskonstruktionen brandschutztechnisch sicher zu planen und zu errichten, um das Klima einer smarten Stadt zu verbessern - zum Wohle aller, die in ihr leben.

2 Summary

2.1 Initial situation

Nowadays in Central Europe and especially in Vienna there is some kind of social consensus that greening measures are one possibility to confront urban heat islands caused by climate change. Façade greening is one way to create more green infrastructure.

Fire behaviour was and is often cited as one of the "stumbling blocks" for the construction of façade greening. Therefore, the Research Centre, Laboratory and Certification Services of the City of Vienna (Municipal Department 39) on behalf of Housing Promotion and Arbitration Board for Legal Housing Matters (Municipal Department 50) did a number of large-scale fire test on façade greening in 2018, to better understand the behavior of greenery in the event of fire. The report of this study is freely downloadable at <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=480>. It has been a milestone in the consideration of the fire protection of façade greening and some kind of scale for a lot of cities in Central Europe (Zurich, Hamburg, Munich) for planning façade greening. In Vienna, the results were included in the new façade greening guidelines of the Department of Environmental Protection (Municipal Department 22). So it was possible to overcome the alleged stumbling block and to force façade greening.

Nevertheless, the time after the publication of the study has showed that there are still questions to be answered. So MA 39 launched this second study on the subject in 2020, thankfully again on behalf of MA 50.

2.2 Objective

The aim of this study is therefore to expose further façade greening constructions to large-scale fire tests within three work packages and to observe their behavior in order to be able to formulate further simple fire protection rules for these constructions. The three work packages can be defined as:

1. Technical verification of the function of a fire barrier defined in the façade greening guidelines as being evidence-free
2. First attempts with façade-bound metallic trough systems using fire barriers of different projection depth
3. Experiments on greenery on climbing aids in front of a building with variation of the distance between the façade surface and the climbing frame

2.3 Methodology

As in the first study, a fire scenario based on ÖNORM B 3800-5 (Fire Behavior of Building Materials and Components, Part 5: Fire Behavior of Façades - Requirements, Tests and Evaluations) was chosen. The assumed scenario is a complete fire in a room that breaks out of a window and attacks the adjoining façade. For the assessment, the contribution to the spread of flame, which the present façade design (form, building materials, assembly systems, etc.) offers, in addition to the ever-present spread, is used. The fire load is a 25 kg spruce wood crib.

Assessment criteria are including

- the fire propagation along the façade greening and
- the falling off of large and / or burning parts of the façade.

A total of seven large-scale fire tests were carried out, whereby the fire load was doubled for those with the greenery in front of the façade in order to take into account the fact that such greening constructions are also attached in front of loggias with possibly deposited combustible materials, which represent an additional fire load.

2.4 Results

All tests confirmed the most important result interpretation from the first study: ignition of the wood and the leaf mass of the greenery is to be expected from temperatures of approx. 500 °C. So every fire protection measure must be assessed to determine whether it ensures that façade greening is not exposed to these temperatures in the event of a real fire. If the greening begins to burn, a vertical fire propagation that is impermissible according to ÖNORM B 3800-5 is observed. Again it was shown that basically any plant can be ignited, regardless of which botanical genus it belongs to.

In the tests carried out, avoiding the above-mentioned 500 °C on the greenery was always successful when a correspondingly cantilevered fire barrier made of sheet steel with a thickness of 1.0 to 2.0 mm was installed above the fire chamber - regardless of what construction is mounted above the fire barrier. This fire barrier deflects the flames flowing out of the fire chamber and thus prevents a direct flame attack on the façade structure. As far as the cantilever depth of the fire barrier is concerned, a dimension of 20 cm beyond the outermost point of the greenery is definitely on the safe side, a lower cantilever of 10 cm has now been proven by testing for metallic trough systems. The fire test of an aluminum trough construction without fire sealing was negative, so the purely metallic and therefore basically non-combustible construction of a trough construction is not sufficient; the melting point of the material must be considered.

As far as the greenery construction in front of the façade is concerned, it is possible to prevent the "critical" temperature from being reached, with a certain distance from the façade surface. A distance of the greening on a metallic trellis of at least 40 cm to the façade surface appears to be adequate. The test with a smaller distance of 20 cm between the trellis and the façade surface had a negative result; in accordance with ÖNORM B 3800-5, an inadmissible fire spread over the entire greenery was observed.

Also, as already found in the first study, no falling of large or burning parts was observed in any of the tests, and the horizontal spread of fire did not play a significant role - even in the negative tests.

2.5 Further steps

As conclusions from the results of the tests, MA 39 may highlight the following points:

- The non-evidence variant of greening in building classes 4 and 5 defined in the façade greening guidelines, a partition using a 20 cm cantilevered, continuous sheet steel profile (thickness at least 1.0 mm) is confirmed and can be retained (barrier has to be mounted in every storey). Any solutions with lower cantilever depths still require technical verification.
- Façade-bound metallic trough systems on a metallic substructure with stainless steel fastening on the façade correspond to the fire protection goals on façades in building classes 4 and 5, if they are also equipped with fire barrier made of a 10 cm cantilevered, continuous profile made of sheet steel (thickness at least 2.0 mm).
- Forms of greenery placed in front of the façade in connection with non-combustible (e.g. metallic) climbing aids have to have a minimum distance to the façade surface or a balcony or similar. of 40 cm so that there is no fire spread through the greenery.
- The results of this study have no effects on the fire protection requirements for green facades for buildings with an escape level of more than 22 m.
- Furthermore, the following applies: Façade greening must be maintained and kept in a vital, functional condition (building book, clear regulation of responsibility for the care and maintenance of the greening). Necessary maintenance measures must already be taken into account in the planning and, if necessary, recorded in the building log.

These conclusions from the have to be discussed with the experts on the topic in order to then, in the best case scenario, record further simple and clear regulations for the constructions described in the façade greening guidelines of Municipal Department 22. This will give a new opportunity to plan and build an even wider range of greening constructions in terms of fire protection in order to improve the climate of a smart city - for the benefit of everyone who lives in it.

3 Ausgangslage

Die vorliegende Studie baut auf einer ersten, themengleichen Studie der MA 39 aus dem Jahr 2018 auf, weshalb diese, deren Ergebnisse und Auswirkungen auf die Brandschutzvorgaben zu Begrünungen im Folgenden kurz skizziert werden soll, um für alle Interessierten eine gemeinsame Ausgangsbasis zu schaffen.

3.1 Erste Studie zum Brandverhalten von Grünfassaden (2018)

Im Jahr 2018 wurde seitens der MA 39 im Auftrag der MA 50 eine Reihe von großmaßstäblichen Brandversuchen an Grünfassaden unterschiedlicher Ausbildung durchgeführt.

Deren Grundlagen, Durchführung und Ergebnisse wurden dokumentiert, zusammengefasst und ausgewertet und bildeten den Inhalt eines ersten Studienberichtes [1], frei downloadbar unter <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=480>.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie können in der nötigen Kürze wie folgt zusammengefasst werden:

- A) Es zeigte sich, dass grundsätzlich alle getesteten Pflanzen im Großbrandversuch in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5 [2] zu einer vertikalen Brandweiterleitung beitragen, indem sie strohfeuerartig in kurzer Zeit (wenige Sekunden) nach oben hin wegbrennen und zum Teil weiterglimmen.

- B) Prinzipiell ist eine Entzündung der Blätter zu erkennen, ein Mitbrand der verholzten Triebe ist nicht bzw. nur in sehr geringen Ausmaß in der Nähe der Brandkammer, also im Bereich der höchsten Temperaturen von ca. 850 °C bis 900 °C, zu erkennen. Als Ursache dafür wird der Gehalt an ätherischen Ölen in den Blättern vermutet, nachdem bei der Prüfung kein Totholz vorlag.

- C) Werden die Pflanzen mit einem Abstand von 60 cm oberhalb der Brandkammer (= simuliertes Fenster) montiert, so ist der „Strohfeuereffekt“ bereits vermindert, bei einem Abstand von 1,0 m ist keine Entzündung der Fassadenbegrünung zu beobachten, die kritische Temperatur scheint bei ca. 500 °C bis 550 °C zu liegen – das ist jene Temperatur, die bei den Versuchen in genau dieser Höhe 10 cm vor der Fassadenbegrünung gemessen wurde.
- D) Eine vertikale Brandweiterleitung war bei keinem der Versuche zu beobachten. Die Sekundärbrandgefahr durch abfallende, brennende Teile war ebenfalls nicht gegeben.
- E) Eine metallische Rankhilfe trägt in keinem Fall zur Brandweiterleitung bei, sie hält dem Brandszenario stand ohne abzufallen.

3.2 Abgeleitete Erkenntnisse aus der ersten Studie

Aus den beschriebenen Ergebnissen leitete die MA 39 aus technischer Sicht folgende richtungsweisende Erkenntnisse für künftige Anwendungen von Fassadenbegrünungen ab:

- Bei Gebäuden bis zur Gebäudeklasse 3 (vgl. 3 Geschosse) sind keine Nachweise hinsichtlich der Brandweiterleitung bzw. spezielle Brandschutzmaßnahmen erforderlich.
- Bei höheren Gebäudeklassen sind nichtbrennbare Rankhilfen (z.B. aus Metall) einzusetzen; es können – je nach verwendeter Pflanzenart - zusätzliche Brandschutzmaßnahmen (z.B. geschoßweise Brandabschottungen) notwendig sein. Abstandsregelungen für die Anbringung einer Fassadenbegrünung sind zu formulieren.
- Bei höheren Gebäudeklassen ist für das verwendete fassadengebundene System (exkl. Pflanzen) ein positiver Prüfbericht nach ÖNORM B 3800-5 bzw. ein passender anderer Nachweis vorzulegen. Die Systeme sind dann entsprechend den positiv geprüften Details aufzubauen.

- Fassadenbegrünungen sind zu pflegen und in einem vitalen, funktionalen Zustand zu erhalten.

3.3 Neuer Fassadenbegrünungsleitfaden der Stadt Wien (12/2019)

Diese Erkenntnisse wurden sowohl Stadt Wien-intern als auch mit externen Forschungseinrichtungen (Technische Universität Wien, Universität für Bodenkultur) und weiteren Expertinnen und Experten auf dem Gebiet der Fassadenbegrünung (insbesondere Verband für Bauwerksbegrünung) geteilt und erörtert.

Diese Diskussionen führten dazu, das Kapitel zum Brandschutz im von der MA 22 herausgegebenen Fassadenbegrünungsleitfaden der Stadt Wien [3] zu aktualisieren und folgende Anforderungen an den Brandschutz bei Fassadenbegrünungen im Leitfaden zu integrieren.

1) Gebäude der GK 1 bis GK 3 (vereinfacht: Gebäude mit höchstens drei oberirdischen Geschossen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7,00 m)	
1.1 Anforderungen an das Brandverhalten	Nachweis der Klasse des Brandverhaltens der verwendeten Materialien entsprechend Punkt 1.2 der Tabelle 1a der OIB-Richtlinie 2, ausgenommen Pflanzen und Rankhilfen (z.B. Netze, Seile, Gitter)
1.2 Anforderungen hinsicht. Brandweiterleitung bzw. Herabfallen großer Fassadenteile	keine
2) Gebäude der GK 4 und GK 5	
2.1 Anforderungen an das Brandverhalten	
2.1.1 Rankhilfen (z.B. Netze, Seile, Gitter)	A2 (nichtbrennbar, z.B. Metall)
2.1.2 sonstige Materialien	entsprechend Punkt 1.2 der Tabelle 1a der OIB-Richtlinie 2
2.1.3 Pflanzen	keine
2.2 Anforderungen hinsichtlich Brandweiterleitung bzw. Herabfallen großer Fassadenteile	
2.2.1 Einzelfallprüfung	Nachweis, dass es zu einer wirksamen Einschränkung der Brandweiterleitung bzw. zu einer wirksamen Einschränkung des Herabfallens großer Teile kommt (z.B. über eine Prüfung nach ÖNORM B 3800-5)
2.2.2 vertikaler Schutzabstand der Begrünung zu brennbarer Dachkonstruktion	mindestens 1,0 m
2.2.3 nachweisfreie Ausführungen	a) Fassadenbegrünung maximal dreigeschossig
	b) zwischen den Geschossen Ausführung einer Brandschutzabschottung aus einem durchgehenden Profil aus Stahlblech (Mindestdicke 1 mm) oder brandschutztechnisch Gleichwertigem, das mindestens 20 cm auskragt
	c) vertikaler Schutzabstand zu darunter liegenden Fensteröffnungen von mindestens 1,00 m und ein horizontaler Abstand zwischen Pflanzen und Fensteröffnungen von mind. 0,20 m
	d) bei einer vertikal durchgehenden Fassadenbegrünung ohne dazwischen liegenden Fensteröffnungen ein horizontaler Abstand zwischen Pflanzen und Fensteröffnungen von mind. 0,20 m
3) Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m	
Die Anordnung von Fassadenbegrünungen ist grundsätzlich unzulässig. Ausgenommen davon sind Fassadenbegrünungen bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 32 m an öffnungslosen Fassadenbereichen, in denen im Brandfall nicht mit einer Brandübertragung in das Gebäude, Gebäudeteile oder in die Dachkonstruktion zu rechnen ist. Dabei sind alle Materialien, ausgenommen Pflanzen, in der Klassifizierung A2 auszuführen.	

Abbildung 3-1: brandschutztechnische Anforderungen an Grünfassaden (aus [3])

Beispielhaft sind in der folgenden Skizze nachweisfreie Varianten der Montage von Fassadenbegrünungen bei Gebäuden in den Gebäudeklassen 4 und 5 skizziert (Maße in m):

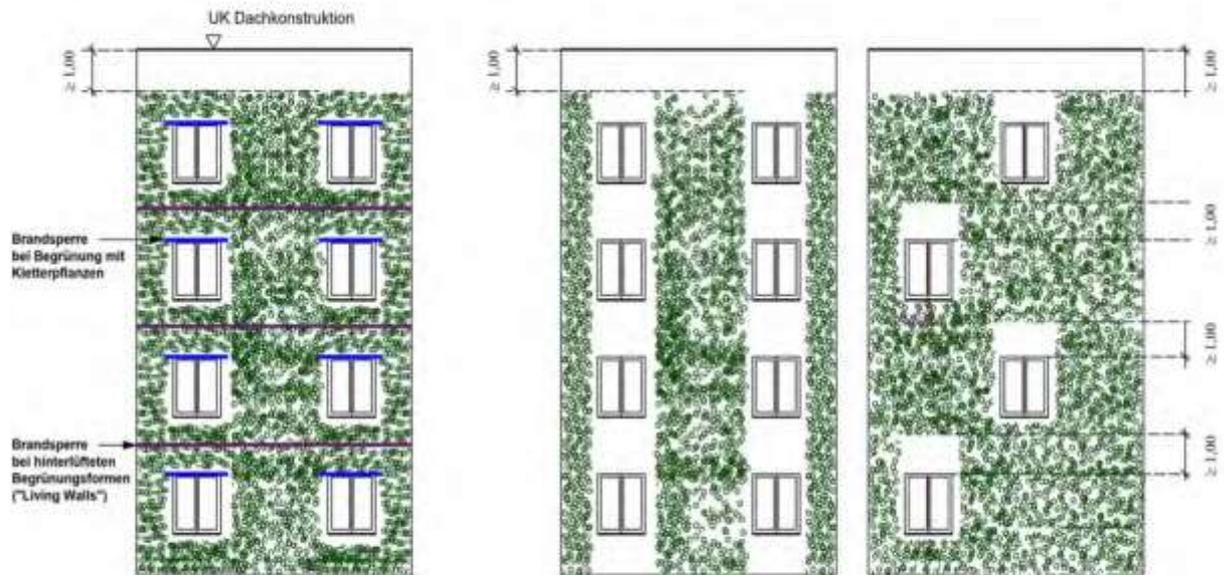


Abbildung 3-2: Skizze von nachweisfreien Varianten der Montage von Fassadenbegrünungen (aus [3])

Weiters definiert der Leitfaden, dass - unabhängig von der Gebäudeklasse - Fassadenbegrünungen zu pflegen und in einem vitalen, funktionalen Zustand zu erhalten (eindeutige Regelung der Zuständigkeit für Pflege und Erhaltung der Begrünung, z.B. im Bauwerksbuch) sind. Erforderliche Pflegemaßnahmen sind bereits in der Planung zu berücksichtigen und gegebenenfalls im Bauwerksbuch festzuhalten. Falls größere Pflanzflächen absterben (Hinweis: jahreszeitlich bedingtes Verbraunen und Einziehen von Pflanzen ist damit nicht gemeint): Umgehende Entfernung eines zu hohen und dichten oberirdischen Pflanzbestandes im vertrocknetem Zustand erforderlich.

3.4 Planung der zweiten Studie zum Thema Brandschutz

Zahlreiche direkte Rückmeldungen und -fragen an die MA 39 von Planenden, Ausführenden und Nutzenden von Grünfassaden unmittelbar nach dem Erscheinen des ersten Studienberichtes sowie des neuen Fassadenbegrünungsleitfadens zeigten, dass die Studienerkenntnisse und deren Ableitungen auf höchstes Interesse in der Branche stießen. Eine Vielzahl von Vorträgen und Seminaren zum Thema trugen weiters dazu bei, die Ergebnisse im gesamten deutschsprachigen Raum bekannt zu machen – insbesondere die Städte München, Hamburg und Zürich schenkten der Wiener Vorreiterrolle in der Behandlung des Brandschutzes bei Fassadenbegrünungen erhöhte Beachtung. Ein regelmäßiger Austausch über die technischen Neuentwicklungen zwischen diesen Städten und der MA 39 ist eines der Ergebnisse davon

Aus all den stattgefundenen Anfragen und Gesprächen konnte die MA 39 zwei immer wiederkehrende Themenbereiche herausfiltern für die aus der ersten Studie noch keine belastbaren Aussagen hinsichtlich des Brandschutzes entwickelt werden konnten:

- Allgemeiner Umgang mit vor die Fassade gesetzten Begrünungssystemen
- Allgemeiner Umgang mit metallischen Trogsystemen

Dies nahm die MA 39 nach Rücksprache mit den Magistratsabteilungen 22 (Umweltschutz), 37 (Baupolizei) sowie der Universität für Bodenkultur (BOKU) zum Anlass, eine zweite brandschutztechnische Versuchsreihe zu planen, die jedenfalls folgende Prüfanordnungen umfassen sollte:

- Vorgesetzte Fassadenbegrünung mit metallischem Netz, in unterschiedlichen Abständen zur Außenwand angeordnet
- Aluminium-Trogkonstruktion in Endanwendungsbedingungen (also inkl. Pflanzen und Substratfüllung), mit und ohne Brandschutzmaßnahme (Stahlblech-Brandschutzabschottung mit unterschiedlichen Auskragungen)
- Absicherung der im Fassadenbegrünungsleitfaden definierten nachweisfreien Variante einer direkt an der Fassade angebrachten Begrünung mit 20 cm auskragender Brandabschottung aus Stahlblech, Pflanze Efeu als „worst-case“

Nachdem zu Jahresbeginn 2020 dann dankenswerterweise eine neuerliche Auftragserteilung für eine Studie durch die MA 50 erfolgte, wurde die Detailplanung und –organisation durch die MA 39 weiter vorangetrieben.

Dies führte zu einer insgesamt 7 großmaßstäbliche Versuche in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5 umfassenden Versuchsserie, die in den Monaten Juli und August 2020 in der Brandversuchshalle der MA 39 durchgeführt wurde.

Diese Versuchsreihe und deren Ergebnisse sollen nun im nächsten zentralen Kapitel der Studie beschrieben werden.

4 Realbrandversuche

Für die Großbrandversuche wurde analog zu jenen der ersten Studie wiederum das Brandszenario nach ÖNORM B 3800-5 gewählt, da dieses weiterhin das national anerkannte Prüfverfahren für Fassaden ist (und wie oben beschrieben indirekt auch in den Anforderungen verankert ist) und zudem sichergestellt werden sollte, dass ein direkter Vergleich der Versuchsergebnisse zu den Ergebnissen der ersten Studie vorgenommen werden konnte.

Daher soll im Folgenden auf den Versuchsaufbau nach ÖNORM B 3800-5 ein wenig eingegangen werden.

4.1 Prüfscenario nach ÖNORM B 3800-5

4.1.1 Allgemeine Betrachtungen

Bei der Entwicklung einer realitätsnahen Brandbeanspruchung im Rahmen von Fassadenprüfungen ging man basierend auf Erkenntnissen von Naturbrandversuchen davon aus, dass für den Fall eines Fensterausbrandes infolge eines Vollbrandes in einem dahinter befindlichen Raum ein Schadensfeuer mit einer ca. 5 m hohen Flamme zu erwarten ist [4]. Das bedeutet, dass unabhängig vom Brandverhalten einer allfälligen Fassadenbekleidung jedenfalls ein Geschoss über dem Primärbrandherd gänzlich von der Flamme überstrichen wird (Annahme: übliche Geschosshöhen). In Ergänzung dazu wird das zweite über dem Primärbrandherd liegende Geschoss von der restlichen Flammenlänge – der Flammenspitze –, die ca. 1,5 m hoch ist, thermisch angegriffen.

Als Grundannahme liegt dem Prüfscenario der ONORM B 3800-5 daher zugrunde, dass die Gefährdung des direkt über dem Primärbrandherd liegenden Geschosses akzeptiert und das zweite über dem Primärbrandherd liegende Geschoss als das zu schützende angesehen wird.

Die ÖNORM B 3800-5 dient also der Prüfung und Beurteilung des Brandverhaltens von Fassaden, insbesondere der Einschätzung der Brandweiterleitung über die Fassadenoberfläche. Als angenommenes Szenario dient ein Vollbrand in einem Raum, der aus einem Fenster ausbricht und die anliegende Fassade angreift. Zur Beurteilung wird jener Beitrag zur Brandausbreitung herangezogen, den die gegenständliche Fassadengestaltung (Form, Baustoffe, Montagesysteme u. a.) zusätzlich zur stets vorhandenen Ausbreitung bietet.

Mit den Prüfergebnissen gemäß dieser ÖNORM kann somit vorhergesagt werden, ob eine Fassade eine Brandausbreitung ausgehend vom zweiten über dem Brandherd liegenden Geschoss begünstigt und ob aus diesem Bereich eine Gefährdung von Rettungsmannschaften insbesondere durch das Herabfallen großer Teile besteht.

Nicht Gegenstand der Untersuchungen sind das Brandverhalten und allfällige Brandnebenerscheinungen, die bei einem Fensterausbrand im ersten über dem Primärbrandherd liegenden Geschoss hervorgerufen werden können. In der ÖNORM B 3800-5 wird auch keine Feuerwiderstandsdauer der Fassadenkonstruktion ermittelt.

4.1.2 Versuchsanordnung

Die Fassadenkonstruktion ist für diese Prüfung auf einem witterungsunabhängigen Prüfstand (simulierte Außenwand) im natürlichen Maßstab mit einspringender Gebäudekante analog dem originalen Einbauzustand anzubringen und durch eine definierte Brandlast bei natürlichen Lüftungsbedingungen thermisch zu beanspruchen. Der thermische Angriff der Flammenspitze wird durch einen Krippenbrand einer 25 kg schweren Fichtenholzkrippe nachgebildet. Die Anordnung der Holzkrippe wird dabei in einer Innenecke einer Fassade hinter einem virtuellen Fenster festgelegt. Dies hat zur Folge, dass aufgrund der Strömungsbedingungen, die in einer Innenecke eine Verlängerung der Flamme bewirken, der größtmögliche thermische Angriff simuliert wird.

Der Prüfstand ist als Ecke einer Gebäudeaußenwand mit einer Fensteröffnung zu betrachten und der Prüfkörper ist unmittelbar auf die Wände des Prüfstandes zu applizieren. Die Wände des Prüfstandes bestehen aus mineralischen nichtbrennbaren Bauprodukten.

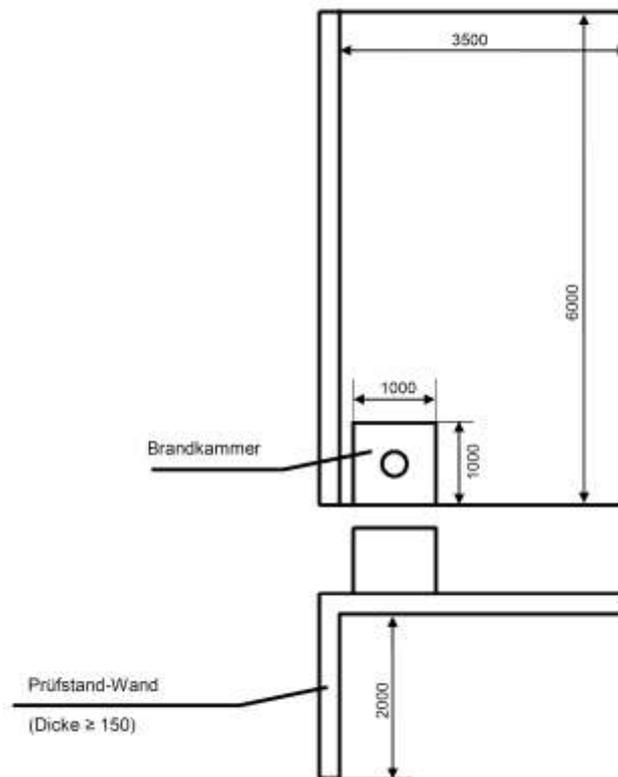


Abbildung 4-1: beispielhafte Ansicht und Grundriss des Fassadenprüfstandes, Maße in mm (aus [2])

Die Holzkrippe mit einer Gesamtmasse von $25 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$ besteht aus 72 gehobelten Fichtenholzstäben mit den Maßen $4 \times 4 \times 50 \text{ cm}$, die in 12 Lagen zu je 6 Stäben kreuzweise vernagelt werden. In die unterste Lage werden zwei Blechwannen eingeschoben, die unmittelbar vor Beginn der Prüfung (frühestens 5 Minuten vor Prüfbeginn) mit jeweils 200 ml Isopropanol befüllt werden. Die Entzündung des Isopropanols erfolgt mit einer offenen Flamme.

Um einen kontinuierlichen Flammenaustritt aus der Brandkammeröffnung sicherzustellen wird ein zusätzlicher Luftstrom (400 m³/h) durch eine runde Öffnung (Durchmesser 30 cm) in der Rückwand der Brandkammer eingeblasen. Die Zuschaltung des Lüfters erfolgt nach der teilweisen Entflammung der Krippe nach der zweiten Minute.

An folgenden Punkten sind während der Prüfung Temperaturmessungen durchzuführen:

- Thermoelement im Sturzbereich
- Thermoelement 25 cm oberhalb der Sturzkante, 10 cm vor der Fassade
- Thermoelement 25 cm oberhalb der Sturzkante, mittig in der Fassenkonstruktion
- Thermoelement 2 m oberhalb der Sturzkante, 10 cm vor der Fassade
- Thermoelement 2 m oberhalb der Sturzkante, mittig in der Fassenkonstruktion
- Thermoelement an der Oberkante des Prüfstandes, 10 cm vor der Fassade
- Thermoelement an der Oberkante des Prüfstandes, mittig in der Fassenkonstruktion

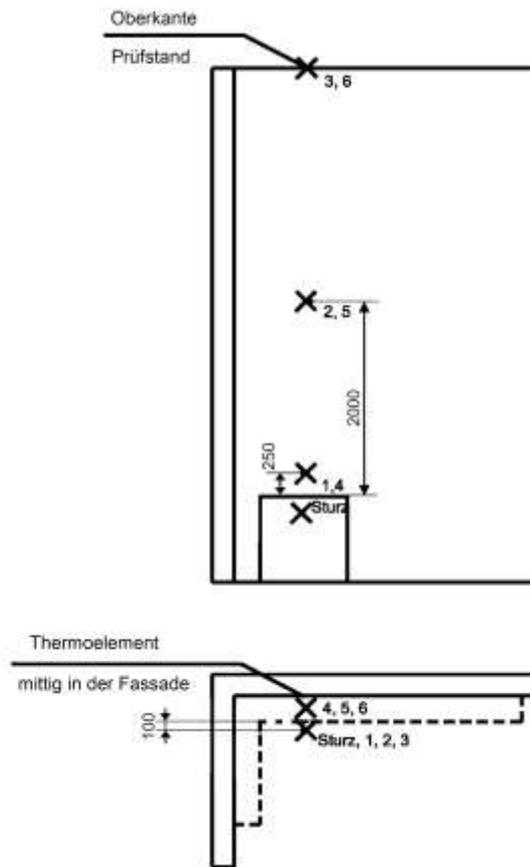


Abbildung 4-2: Lage der Thermoelemente, Maße in mm (aus [2])

Während der Prüfung muss die Umgebungstemperatur im Bereich zwischen 5 °C und 30 °C liegen. Mit der Zündung des Isopropanols in den beiden Blechwannen beginnt die Prüfung. Nach Ablauf der zweiten Prüfminute wird der Lüfter für den zusätzlichen Verbrennungsluftstrom zugeschaltet.

Der Prüfungsverlauf ist fotografisch in Zeitabständen unter 2 Minuten oder durch kontinuierliche Aufzeichnung mittels einer Videokamera zu dokumentieren. Die Prüfung endet frühestens nach 30 Minuten und endet spätestens zu dem Zeitpunkt, an dem weder optisch noch durch Messungen Branderscheinungen feststellbar sind.

Folgende Beobachtungen sind während der Prüfung vorzunehmen:

- Visuelle Beobachtung der Flammenausbreitung und
- Visuelle Beobachtung des Herabfallens großer Teile

Das Prüfergebnis gilt als positiv, wenn in dem durch den Prüfstand und die Prüfanordnung gebildeten Bereich

- keine Brandweiterleitung (nach übereinstimmender internationaler Meinung der Brandprüfstellen hat dann keine Brandweiterleitung stattgefunden, wenn kein Bereich außerhalb der Primärflamme in Brand geraten ist),
- die Erfüllung des Temperaturkriteriums (Temperaturen hinter der Oberfläche der Fassade dürfen während der Prüfung nicht größer sein als vor der Oberfläche der Fassade) und
- kein Herabfallen großer oder brennender Teile festgestellt wurde (große Teile sind Plattenteile oder Elemente mit Flächen $> 0,4 \text{ m}^2$ oder mit Massen $> 5 \text{ kg}$).

Mit den Prüfergebnissen kann somit vorhergesagt werden, ob eine Fassade eine Brandausbreitung ausgehend vom zweiten über dem Brandherd liegenden Geschoss begünstigt, und ob aus diesem Bereich eine Gefährdung, insbesondere durch das Herabfallen großer Teile, besteht. Analog dazu sind die brandschutztechnischen Schutzziele an Fassaden in den OIB-Richtlinien 2 und 2.3 formuliert. [5] [6]

Ausdrücklich angemerkt werden darf, dass das Brandverhalten und allfällige Brandnebenscheinungen, die bei einem Fensterausbrand im ersten über dem Primärbrandherd liegenden Geschoss hervorgerufen werden, nicht Gegenstand dieser Prüfung sind.

4.2 Großmaßstäbliche Versuche

Die geplante Versuchsreihe kann grob in drei Pakete unterteilt werden. Der erste Versuch sollte dazu dienen, die im Fassadenbegrünungsleitfaden nachweisfreie Variante mit 20 cm auskragender Brandabschottung auch prüftechnisch zu verifizieren. Dazu darf angemerkt werden, dass die nachweisfreie Variante aus gutem Grunde derart gewählt wurde, sie steht in Analogie zu einer nachweisfreien Variante, die bereits vor Jahren für vorgehängte hinterlüftete Fassadensystem entwickelt wurde. Als Brandabschottung wird dabei ein bis an die Fassadenoberfläche durchgängiges, waagrecht angebrachtes Stahlblech-Profil verwendet, das über die Fassadenkonstruktion auskragt. Es lenkt so die Flamme weg von der Fassade und eine Brandweiterleitung über die Konstruktion wird wirksam eingeschränkt.

Das zweite Paket umfasst drei Prüfungen mit Aluminium-Trogssystemen und das dritte Prüfpaket weitere drei Prüfungen mit vor die Fassade gesetzten metallischen Ranknetzen.

ANMERKUNG 1: Die ersten beiden Pakete wurden so durchgeführt, dass sich die Brandkammer nicht in der Innenecke des Prüfstandes befand, sondern etwa 1,5 m von der Innenecke des Prüfstandes abgerückt an der längeren Prüfstandsseite. Dies begründete sich damit, dass in der ersten Studie gezeigt wurde, dass es selbst in der Innenecke (strömungstechnisch kritischer) zu keiner seitlichen Brandweiterleitung an der Fassadenbegrünung kam. Somit konnte der Versuchsaufbau vereinfacht werden ohne an Erkenntnisgewinn zu verlieren.

ANMERKUNG 2: Das dritte Paket wurde mit einer Brandlast von zwei 25 kg schweren Holzkrippen durchgeführt, um zu simulieren, dass vor die Fassade vorgesetzte Rankhilfen im Realbrandfall unter Umständen einer größeren Beanspruchung ausgesetzt sind als jener der Flammenspitze, die sich im zweiten über dem Brandherd liegenden Geschoss einstellt. Dabei wurde etwa an brennbare Lagerungen auf Balkonen o.ä. gedacht.

4.2.1 Versuch 1 (Efeu mit 20 cm auskragender Brandabschottung)

In Zusammenarbeit mit der MA 22 wurde die Kletterpflanze Efeu (botanisch: *Hedera helix*), die am 29. Juli 2020 geerntet und in der Nacht auf den 30. Juli 2020 benässt wurde, am 30. Juli 2020 direkt auf den Fassadenprüfstand der MA 39 (massiv, mineralisch, aus Porenbeton) montiert.

Efeu wurde deswegen für diesen Versuch ausgewählt, da dieser als Fassadenkletterpflanze in Wien vorkommt, eine immergrüne Pflanze darstellt, üblicherweise eine hohe Triebdichte aufweist und zudem die Efeublätter brennbare ätherische Öle enthalten. Efeu ist somit brandschutztechnisch als der „worst case“ anzusehen, was auch in der Literatur beschrieben wird. [7]

Versuchsaufbau

Die Triebe und die Blätter wurden mittels Nägel und Heftklammern wandnah montiert und die Zweige praxisnah nicht unmittelbar entlang der Prüfstandwand geführt (Abstand von der Wand ca. 5 – 10 cm). Die Triebdichte entsprach lt. Experten der MA 22 ebenfalls jener von in der Realität auftretenden Efeubegrünungen. Ein Klettergerüst wurde nicht verwendet.

In dieser Form wurde eine Prüfstandsfläche von etwa 4 m Höhe x 3,0 m Breite am langen Flügel belegt. Die Kletterpflanze wurde auch unmittelbar zur Brandkammer geführt, eine unbelegte Fläche war weder direkt über noch direkt seitlich neben der Brandkammer gegeben. Unmittelbar über der Brandkammer wurde ein 20 cm tiefes gekantetes Edelstahlblech mit einer Materialdicke von 1,0 mm mechanisch an den Prüfstand montiert, es reichte über die gesamte Breite der Begrünung. Nachdem der montierte Efeu selbst auch eine gewisse Tiefe aufweist, lag die Auskragung des Bleches vor dem Efeu im Bereich von ca. 5 cm bis zu 17 cm (siehe auch die folgende Bilddokumentation des Versuches).



Abbildung 4-3: Dimension der Brandabschottung, 20 cm Auskragung



Abbildung 4-4: Gesamtansicht der Prüfanordnung vor dem Versuch

Der Prüfkörper wurde unmittelbar nach der Montage an den Prüfstand der Prüfung zugeführt, um den Efeu in möglichst vitaler Form zu prüfen.

Insgesamt wurden 15 Thermoelemente bei diesem Versuch zur Messung von Temperaturen verwendet. Thermoelemente wurden im Sturzbereich, 250 mm, 1000 mm, 2500 mm, 3500 mm und am oberen Rand des Prüfstandes oberhalb der Sturzkante mittig der Brandkammer, jeweils ca. 100 mm vor der Begrünung angebracht. Zum weiteren Wissensgewinn wurden in den Höhen 250 mm, 1000 mm, 2500 mm und 3500 mm oberhalb der Sturzkante Temperaturmessstellen von hinten durch die Prüfstandswand geführt und detektierten somit Temperaturen innerhalb der Efeubegrünung. Zudem waren in den Höhen 250 mm, 1000 mm, 2500 mm mittig oberhalb der Brandkammer Thermoelemente ca. 50 mm vor der Begrünung und in der Höhe 1000 mm auch noch zwei Stück Messstellen 500 mm links und rechts der Mitte der Brandkammer und 50 mm vor der Begrünung angebracht. Die folgende Skizze zeigt die Anordnung der Messstellen.

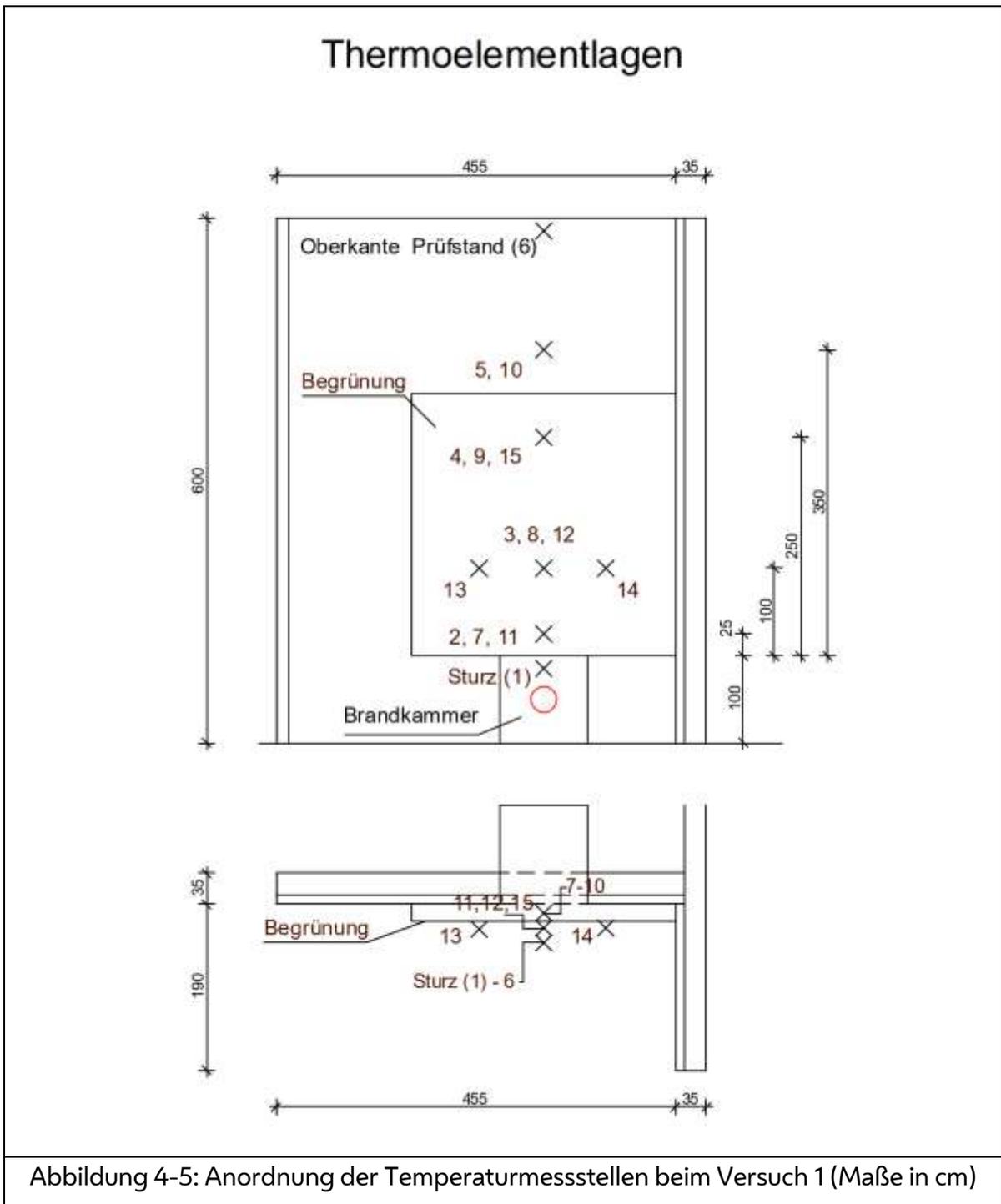


Abbildung 4-5: Anordnung der Temperaturmessstellen beim Versuch 1 (Maße in cm)

Versuchsdurchführung

Als Brandlast wurde eine Holzkrippe verwendet, die aus gehobelten Fichtenholzstäben (jeweils 4 cm breit, 4 cm hoch und 50 cm lang) besteht. Aus 72 Stäben mit einem Gesamtgewicht von 25 kg +/- 1 kg wurde die Holzkrippe hergestellt, indem die Stäbe kreuzweise vernagelt werden. So entsteht eine Holzkrippe mit einer Grundfläche von 0,5 m x 0,5 m und einer Höhe von 0,48 m (entspricht etwa 350 – 400 kW).

Die Holzkrippe wird auf eine allseits offene Metallunterkonstruktion mit einer Grundfläche von 0,5 m² in die Brandkammer gestellt (Höhe 0,25 m). Der seitliche Abstand der Holzkrippe zu den Wänden der Brandkammer beträgt 0,25 m. Die Vorderseite der Krippe schließt bündig mit der Vorderseite des Prüfstandes im unbedeckten Zustand ab.

Die Zündung der Holzkrippe wird mittels Isopropanol ausgelöst. Dazu werden unmittelbar vor Versuchsbeginn zwei Blechwannen in die unterste Lage der Holzstäbe (jeweils in den zweiten äußeren Zwischenraum) eingeschoben und mit jeweils 200 ml Isopropanol befüllt. Die Entzündung des Isopropanols erfolgt mit einer offenen Flamme.

Zwei Minuten nach Zündung wird ein Lüfter, der sich hinter der Holzkrippe befindet, eingeschaltet und ein zusätzlicher Luftstrom (Volumenstrom 400 m³/h) durch eine runde Öffnung (Durchmesser 0,3 m) generiert.

Die Prüfung erfolgte am 30. Juli 2020. Die Temperatur in der Brandversuchshalle betrug 23 °C, die relative Luftfeuchtigkeit 35,0 % und der Luftdruck 1001,5 mbar.

Versuchsbeobachtungen

Versuchsbeginn:	Zündung des Isopropanols
2 Minuten:	Zuschalten des Ventilators; Flammen strömen aus Brandkammer
3 Minuten und 30 Sekunden:	Verfärbung der Blätter im Flammenbereich
4 Minuten:	Qualmbildung im Sturzbereich
4 Minuten und 20 Sekunden:	Glimmen der Blätterspitzen im Flammenbereich
19 Minuten und 38 Sekunden:	Zerfall der Holzkippe, Versuchsende – keine weiteren Veränderungen am Probekörper zu beobachten

Die maximale augenscheinliche Flammenhöhe betrug bis zu 1,8 m.

Versuchsergebnisse

Die Aufzeichnungen der Thermoelementmessungen zeigten folgende Temperaturverläufe:

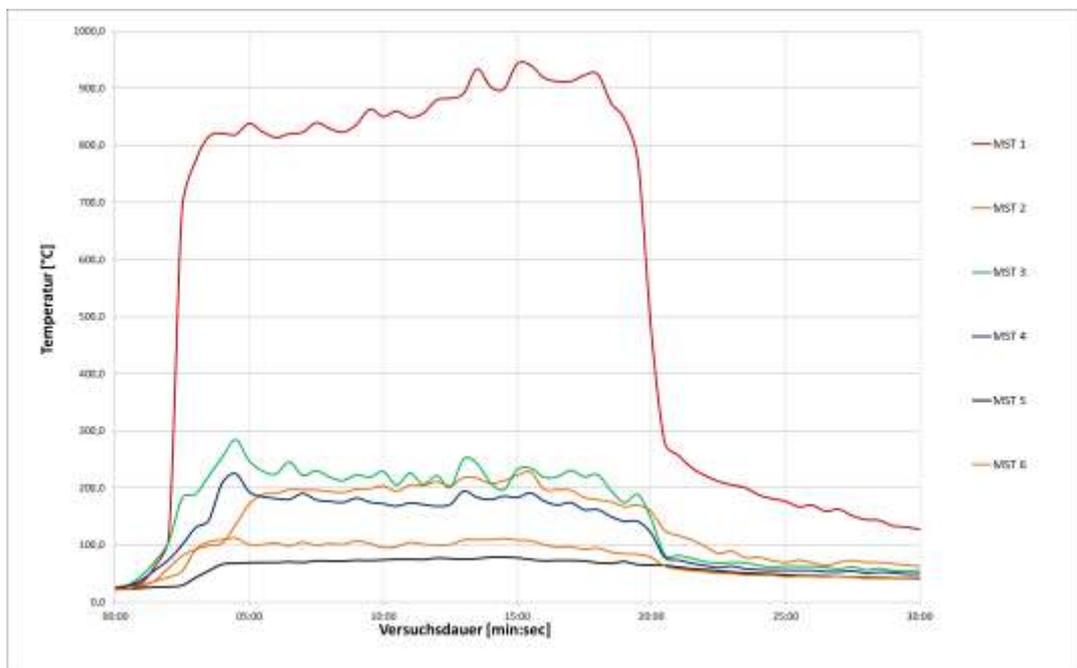


Abbildung 4-6: Temperaturverläufe an den Thermoelementen 100 mm vor der Begrünung

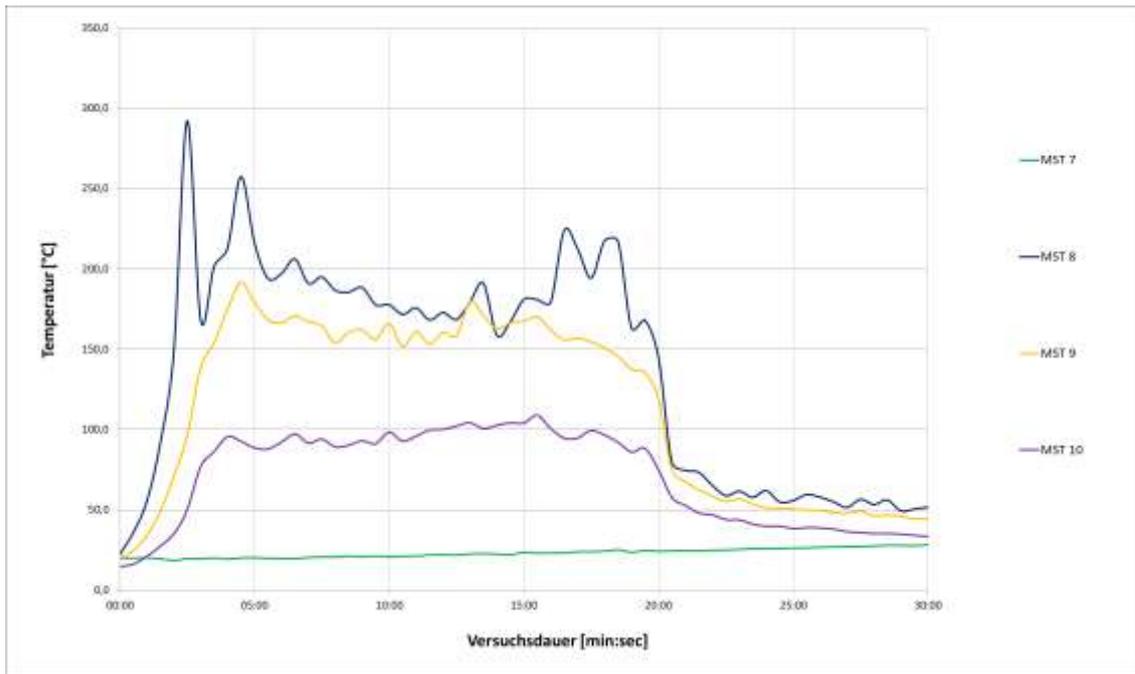


Abbildung 4-7: Temperaturverläufe an den Thermoelementen innerhalb der Begrünung

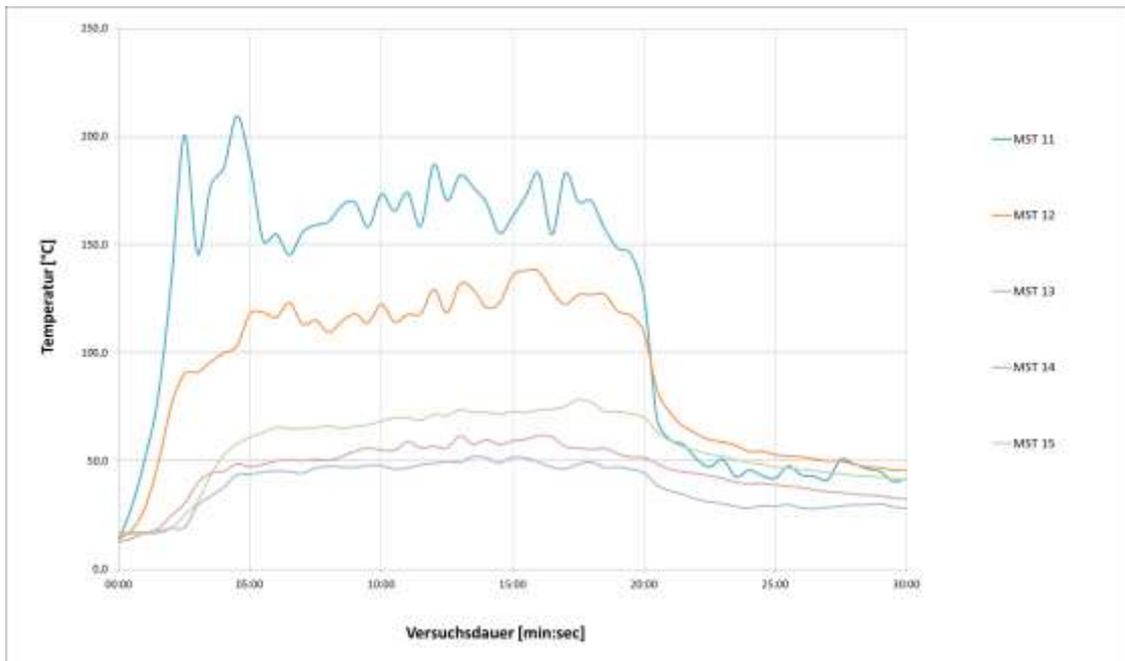


Abbildung 4-8: Temperaturverläufe an den Thermoelementen 50 mm vor der Begrünung

Klar zu erkennen ist aus den Temperaturlaufzeichnungen, dass die Brandabschottung wirkt, die Flammen von der Fassade wegdrückt und somit die Temperaturen oberhalb der Abschottung 100 mm vor dem Efeu auf maximal ca. 290°C, 50 mm vor der Begrünung auf maximal ca. 210°C und innerhalb der Begrünung auf maximal 280°C steigen. Dies sind Temperaturen, die relativ sicher unter den zu Beginn geschilderten Entzündungstemperaturen von etwa 500°C liegen.

Oberhalb der Brandkammer waren die Pflanzen kegelförmig bis zu einer Höhe von ca. 2,5 m dunkel gefärbt, zum Teil verkohlt. Darüber und seitlich der verkohlten Pflanzenteile war nur eine geringe Schädigung der Grünfassade (vertrocknete Pflanzenteile) erkennbar. Es war zu keinem Zeitpunkt des Versuches eine Entzündung des Efeus zu erkennen, weder eine vertikale noch horizontale Brandausbreitung war zu beobachten. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 5 \text{ kg}$) abgefallen. Die Brandabschottung zeigte eine geringe thermische Verformung, lag ansonsten unverändert vor.

Aufgrund der Beobachtung ist das Ergebnis als positiv hinsichtlich der Kriterien der ÖNORM B 3800-5 zu beurteilen.

Bilddokumentation

Abbildung 4-9: Grünfassade vor der Fassadenbrandprüfung



Abbildung 4-10: Fassadenbegrünung während des Versuches (ca. 5,5 Minuten)



Abbildung 4-11: Fassadenbegrünung nach einer Versuchsdauer von ca. 20 Minuten



Abbildung 4-12: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung

4.2.2 Versuch 2 (Trogssystem mit 30 cm auskragender Brandabschottung)

Das zweite Forschungspaket umfasst nun die insgesamt 3 folgenden Versuche mit metallischen Trogssystemen (fassadengebundene Begrünung). Das Aluminium-Trogssystem, das stellvertretend für alle metallischen Trogssysteme herangezogen wurde, ist das Grünwandssystem der Firma TechMetall, das dankenswerterweise von der Firma TechMetall aufgebaut und zur Verfügung gestellt wurde.

Versuchsaufbau

Es wurde ein 3 m hohes und 3 m breites Grünwandssystem bestehend aus zwölf ca. 10 cm hohen und 20 cm tiefen trapezförmig ausgebildeten Aluminiumblechträgern (Materialdicke 2,0 mm, Länge 3,0 m), welche im Abstand von ca. 15 cm übereinander angeordnet sind, mittels einer Aluminiumschienen-Unterkonstruktion, die ihrerseits mit eingeklebten Gewindestangen aus Edelstahl montiert waren, am Prüfstand angebracht. Dadurch entstand zwischen dem Prüfstand und dem System ein ca. 50 mm breiter Luftspalt. Im Sturzbereich war ähnlich wie bei Versuch 1 als Brandabschottung ein diesmal 2,0 mm dickes gekantetes Edelstahlprofil mechanisch montiert, das exakt 30 cm vor den äußersten Punkt des Trogsystems auskragte. Details der Anordnung sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.



Abbildung 4-13: Skizze der Montage des Aluminiumtrogsystems am Prüfstand, Anordnung der Brandabschottung im Sturzbereich



Abbildung 4-14: Montage der Unterkonstruktion am Prüfstand sowie der Tröge an der Unterkonstruktion

Laut Hersteller übliche Grünpflanzen verschiedener Art und Größe wurden in einem vertikalen Abstand der Pflanzen von ca. 10 cm in das mit Erde befüllte Trogsystem eingepflanzt. Dadurch entstand ein praxisnahes Gewicht des Systems von ca. 20 kg/m

Trogprofil. Ein Bewässerungssystem wurde nicht verlegt. Die Liste der eingesetzten Pflanzen umfasste folgende Spezies:

- *Bergenia cordifolia*
- *Iberis sempervirens*
- *Iris barbata-elatior*
- *Geranium cantabrigiense, Geranium endressii, Geranium macrorrhizum*
- *Heuchera cultorum*
- *Lychnis chalcedonia*
- *Potentilla atrosanguinea*
- *Hosta fortunei*
- *Hypericum perforatum*

Die Tröge enthalten neben dem Erds substrat auch ein darunter eingelegtes Polypropylen-Vlies mit einem Gewicht von ca. 800 g/m² als mechanischen Schutz und als Wasserspeicherelement. Es hat eine Dicke von 10 mm und entspricht lt. Herstellerangaben der Brandverhaltensklasse B2 nach DIN 4102-1.

In dieser Form wurde eine Prüfstandsfläche von etwa 3 m Höhe x 3 m Breite am langen Flügel belegt (siehe folgende Abbildungen).

	
<p>Abbildung 4-15: Detailaufnahme der erdbefüllten und bepflanzen Tröge</p>	<p>Abbildung 4-16: Dimension der auskragenden Brandabschottung aus Stahlblech</p>

Unmittelbar nach der Montage an den Prüfstand und Einsetzen der vitalen Pflanzen wurde der fertige Prüfkörper dem Versuch zugeführt, um die Grünpflanzen in möglichst vitaler Form zu prüfen.

Thermoelemente wurden wiederum im Sturzbereich, 250 mm, 1000 mm, 2500 mm, 3500 mm und am oberen Rand des Prüfstandes oberhalb der Sturzkante mittig der Brandkammer, jeweils ca. 100 mm vor den Trögen angebracht, und zudem zwei zusätzliche Temperaturmessstellen mittig im Luftspalt zwischen dem Prüfstand und dem Trogsystem in einer Höhe von 250 mm und 3500 mm mittig oberhalb der Brandkammer angebracht.

Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung entspricht exakt jener des ersten Versuches, daher wird hier auf eine Wiederholung der Beschreibung der Brandlast sowie der Lüftungs- und Zündungsbedingungen verzichtet.

Die Prüfung erfolgte am 8. Juli 2020. Die Temperatur in der Brandversuchshalle betrug 22,5 °C, die relative Luftfeuchtigkeit 32,3 % und der Luftdruck 1005,5 mbar.

Versuchsbeobachtungen

Versuchsbeginn:	Zündung des Isopropanols
2 Minuten:	Zuschalten des Ventilators; Flammen strömen aus Brandkammer
2 Minuten und 30 Sekunden:	Flammen reichen über die Brandabschottung
3 Minuten :	Wölbung der Brandabschottung
5 Minuten und 30 Sekunden:	Dunkelfärbung der Pflanzen im Bereich oberhalb der Brandkammer
22 Minuten und 30 Sekunden:	Zusammenbruch der Holzkrippe, keine weiteren Veränderungen
30 Minuten:	Versuchsende – keine weiteren Veränderungen am Probekörper zu beobachten

Die maximale augenscheinliche Flammenhöhe betrug bis zu 1,5 m.

Versuchsergebnisse

Die Aufzeichnungen der Thermoelementmessungen zeigten folgende Temperaturverläufe (Thermoelemente 7 und 8 sind jene im Luftspalt zwischen Prüfstand und Trogsystem):

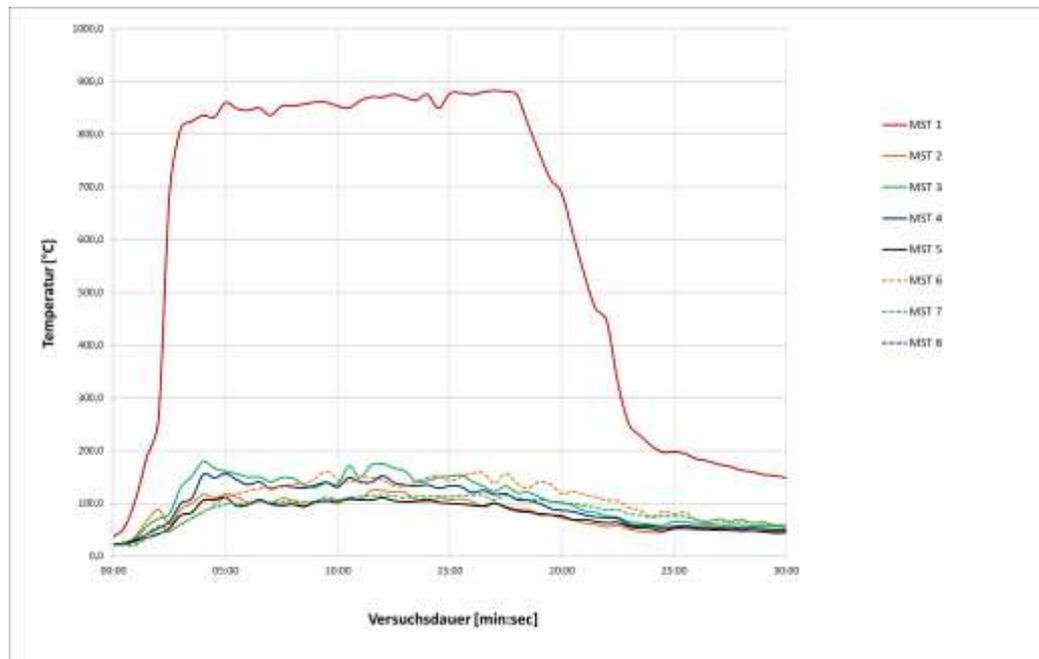


Abbildung 4-17: Temperaturverläufe, Versuch 2

Aus den Temperaturlaufzeichnungen ist ersichtlich, dass bei keiner Temperaturmessstelle oberhalb der Brandabschottung eine Temperatur nahe der Entzündungstemperatur von ca. 500°C gemessen werden konnte, die maximal gemessene Temperatur lag bei ca. 190°C. Die Brandabschottung hat somit ihre Funktion des Ablenkens der Flamme erfüllt.

Oberhalb der Brandkammer waren sämtliche Pflanzen bis zu den oberen Aluminiumblechträgern des Grünwandsystems verfärbt, teilweise verkohlt. Rechts und links neben der Brandkammer waren die Blätter augenscheinlich unzerstört vorhanden. Es konnte unter den gewählten Prüfbedingungen keine optische Brandweiterleitung entlang der Grünfassade nach oben hin während des Brandversuches beobachtet werden. Eine horizontale Brandausbreitung war ebenfalls nicht erkennbar. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 5 \text{ kg}$) abgefallen.

Aufgrund der Beobachtung ist das Ergebnis als positiv hinsichtlich der Kriterien der ÖNORM B 3800-5 zu beurteilen.

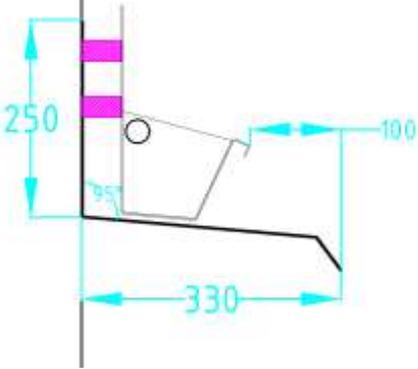
Bilddokumentation

	
<p>Abbildung 4-18: Grünwandsystem am Prüfstand vor der Fassadenbrandprüfung, Brandabschottung 30 cm auskragend</p>	<p>Abbildung 4-19: Fassadenbegrünung während der Brandprüfung</p>
	
<p>Abbildung 4-20: Brandabschottung – Ablenkung der Flamme</p>	<p>Abbildung 4-21: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung</p>

4.2.3 Versuch 3 (Trogsystem mit 10 cm auskragender Brandabschottung)

Versuchsaufbau

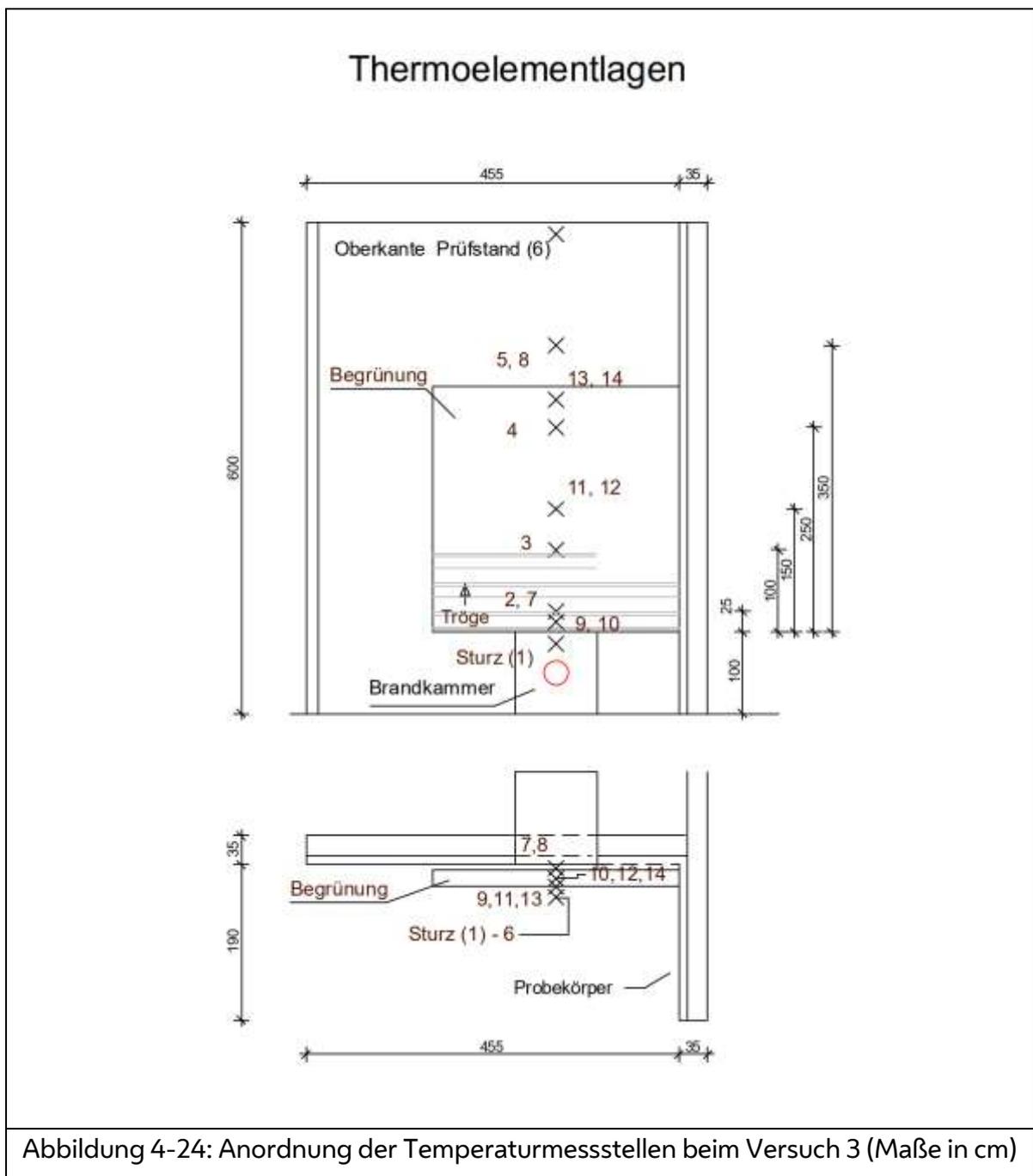
Am 9. Juli 2020 wurden in das idente Trogsystem wie am Tag davor (Versuch 2), bestehend aus zwölf Aluminiumblechtrögen mit 3 m Länge, frische Grünpflanzen verschiedener Art und Größe eingesetzt. Unterschied zu Versuch 2 war die Auskrugung der Stahlblechabschottung im unmittelbaren Sturzbereich, die nun anstelle von 30 cm lediglich 10 cm vor die Aluminiumtröge vorragte (siehe folgende Abbildungen).

	
<p>Abbildung 4-22: Skizze der Prüfanordnung inkl. Brandabschottung</p>	<p>Abbildung 4-23: Dimension des neu montierten Stahlbleches mit Gesamttiefe von 330 mm</p>

In dieser Form wurde die Prüfstandsfläche von etwa 3 m Höhe x 3 m Breite am langen Flügel belegt.

Die Bepflanzung wurde wiederum unmittelbar vor der Prüfung durchgeführt, um die Begrünung in möglichst vitaler Form zu prüfen.

Insgesamt 14 Thermoelemente wurden bei diesem Versuch angebracht: zusätzlich zu den bereits bei Versuch 2 beschriebenen insgesamt acht Stück wurden nunmehr mittig an der Vorderseite und mittig an der Erdoberfläche am untersten Trog, mittig an der Vorderseite und mittig an der Erdoberfläche am Trog in 1,5 m über der Brandkammer und mittig an der Vorderseite und mittig an der Erdoberfläche am obersten Trog je zwei Thermoelemente platziert (Details der Messorte siehe folgende Abbildung).



Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung entspricht exakt jener der vorigen Versuche, daher wird hier auf eine Wiederholung der Beschreibung der Brandlast sowie der Lüftungs- und Zündungsbedingungen verzichtet.

Die Prüfung erfolgte am 9. Juli 2020. Die Temperatur in der Brandversuchshalle betrug 21,0°C, die relative Luftfeuchtigkeit 35,5 % und der Luftdruck 1004,4 mbar.

Versuchsbeobachtungen

Versuchsbeginn:	Zündung des Isopropanols
2 Minuten:	Zuschalten des Ventilators
2 Minuten und 40 Sekunden:	Abfallen einzelner Blätter
3 Minuten:	mittig geringes Glimmen einer Pflanze (Blatt)
3 Minuten und 45 Sekunden:	Dunkelfärbung der Pflanzen bis ca. halbe Höhe
4 Minuten und 30 Sekunden:	Wölbung der Brandabschottung
21 Minuten und 5 Sekunden:	beginnendes Zusammenbrechen der Holzkrippe
21 Minuten und 25 Sekunden:	Zerfall der Holzkrippe
30 Minuten und 12 Sekunden:	Versuchsende – keine weiteren Veränderungen am Probekörper zu beobachten

Die maximale augenscheinliche Flammenhöhe betrug bis zu 1,7 m.

Versuchsergebnisse

Die Aufzeichnungen der Thermoelementmessungen zeigten folgende Temperaturverläufe:

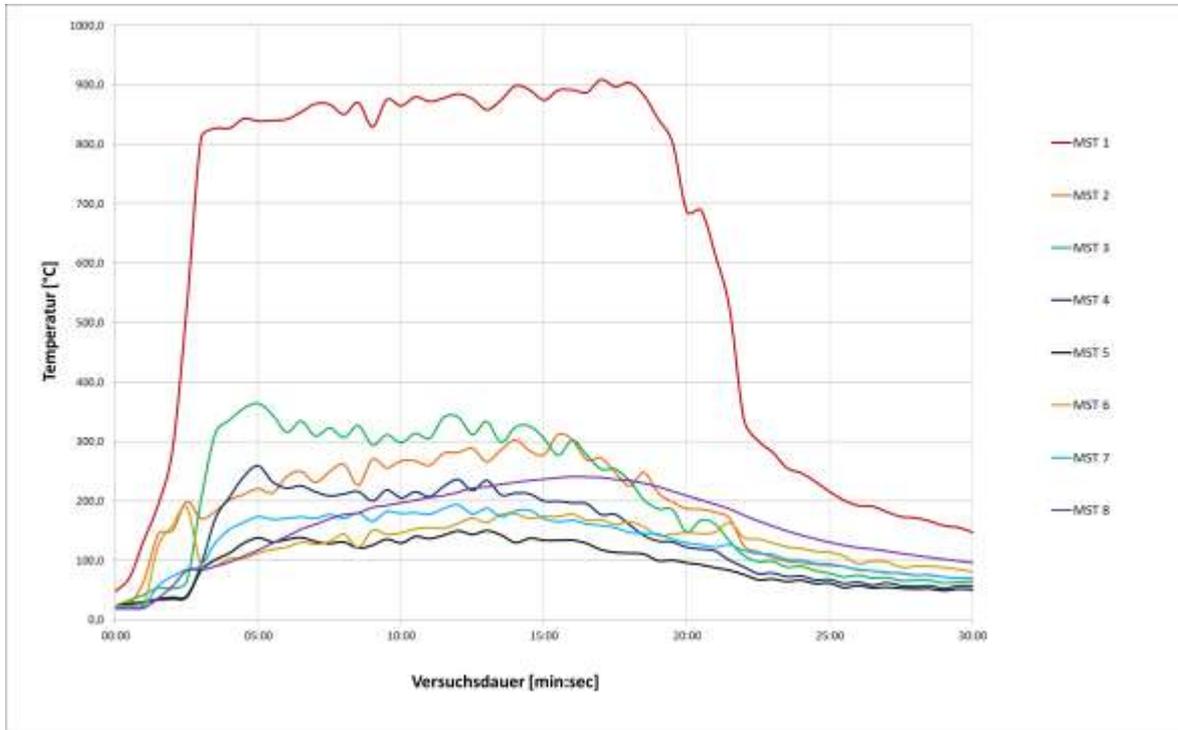


Abbildung 4-25: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 8, Versuch 3

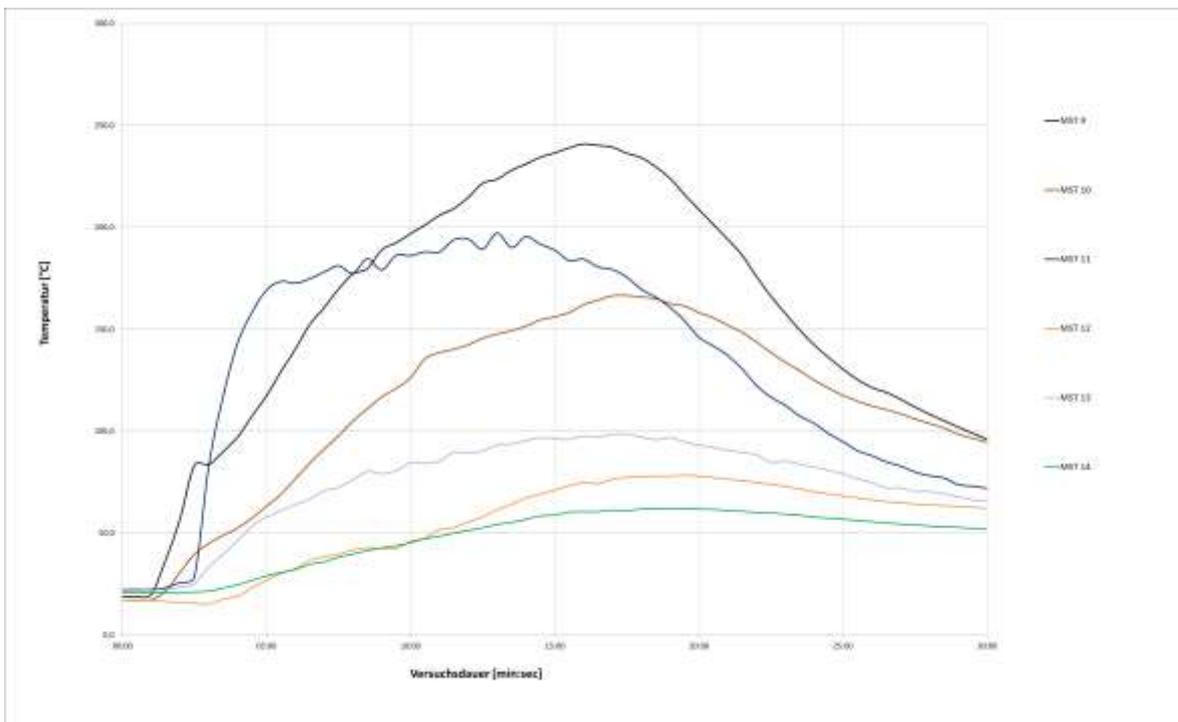


Abbildung 4-26: Temperaturverläufe Messstellen in und an den Trögen, Versuch 3

Aus den Temperaturlaufzeichnungen ist ersichtlich, dass bei keiner Temperaturmessstelle oberhalb der Brandabschottung eine Temperatur nahe der Entzündungstemperatur von ca. 500°C gemessen werden konnte, die maximal gemessene Temperatur lag bei ca. 370°C und damit etwa doppelt so hoch wie jene bei Versuch 2 mit einer 30 cm auskragenden Brandabschottung. Die Brandabschottung hat somit ihre Funktion des Ablenkens der Flamme erfüllt, es trat lediglich eine Verwölbung des Stahlblechs ein.

Oberhalb der Brandkammer waren sämtliche Pflanzen bis zu den oberen Aluminiumblechträgern des Grünwandsystems verfärbt, teilweise verkohlt. Rechts und links neben der Brandkammer waren die Blätter augenscheinlich unzerstört vorhanden, teilweise etwas vertrocknet.

Es konnte unter den gewählten Prüfbedingungen keine optische Brandweiterleitung entlang der Grünfassade nach oben hin während des Brandversuches beobachtet werden. Eine horizontale Brandausbreitung war ebenfalls nicht erkennbar. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 5 \text{ kg}$) abgefallen.

Aufgrund der Beobachtung ist das Ergebnis als positiv hinsichtlich der Kriterien der ÖNORM B 3800-5 zu beurteilen.

Bilddokumentation



Abbildung 4-27: Grünwandsystem am Prüfstand der MA 39 vor der Fassadenbrandprüfung



Abbildung 4-28: Flammenhöhe erreicht ca. 1,7 m von Sturzoberkante während der Brandprüfung



Abbildung 4-29: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung

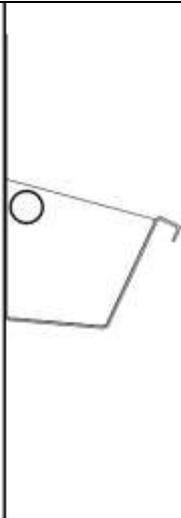


Abbildung 4-30: Fassadenbegrünung nach der Prüfung

4.2.4 Versuch 4 (Trogsystem, ohne Brandabschottung)

Versuchsaufbau

Am 10. Juli 2020 wurden in das idente Trogsystem wie an den Tagen davor (Versuche 2 und 3), bestehend aus zwölf Aluminiumblechtrögen mit 3 m Länge, frische Grünpflanzen verschiedener Art und Größe eingesetzt. Unterschied zu Versuch 3 war, dass nun keine Brandabschottung im Sturzbereich eingebaut wurde (siehe folgende Abbildungen).

	
<p>Abbildung 4-31: Skizze der Prüfanordnung ohne Brandabschottung</p>	<p>Abbildung 4-32: Prüfaufbau ohne Brandabschottung im Sturzbereich</p>

In dieser Form wurde die Prüfstandsfläche von etwa 3 m Höhe x 3 m Breite am langen Flügel belegt.

Die Bepflanzung wurde wiederum unmittelbar vor der Prüfung durchgeführt, um die Begrünung in möglichst vitaler Form zu prüfen.

Analog zu Versuch 3 (siehe Abbildung 4-24) wurden wieder insgesamt 14 Thermoelemente bei diesem Versuch angebracht.

Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung entspricht exakt jener der vorigen Versuche, daher wird hier auf eine Wiederholung der Beschreibung der Brandlast sowie der Lüftungs- und Zündungsbedingungen verzichtet.

Die Prüfung erfolgte am 10. Juli 2020. Die Temperatur in der Brandversuchshalle betrug 23,5°C, die relative Luftfeuchtigkeit 39,3 % und der Luftdruck 1002,0 mbar.

Versuchsbeobachtungen

Versuchsbeginn:	Zündung des Isopropanols
2 Minuten:	Zuschalten des Ventilators; Flammen strömen aus Brandkammer
2 Minuten und 20 Sekunden:	Flammen im Luftspalt hinter der Konstruktion
3 Minuten und 20 Sekunden:	Abfallen nicht brennender Pflanzenteile
4 Minuten:	Mitbrand des Vlieses im Bereich des untersten Troges
5 Minuten:	Abtropfen des Aluminiums, unterster Trog öffnet, Erde rieselt heraus
5 Minuten und 50 Sekunden:	brennendes Abtropfen des im Trog eingelegten Vlieses
6 Minuten und 10 Sekunden:	Zweiter Trog über Sturz öffnet sich
7 Minuten und 10 Sekunden:	verstärktes brennendes Abtropfen
9 Minuten und 40 Sekunden:	Dritter Trog über Sturz geöffnet
12 Minuten und 40 Sekunden:	Mitbrand des Vlieses im Bereich des vierten Troges über Sturz
13 Minuten und 30 Sekunden:	verstärktes brennendes Abtropfen

14 Minuten und 15 Sekunden:	Strohfeuereffekt Mitbrand der Pflanzen bis über den obersten Trog, Dauer ca. 8 Sekunden
15 Minuten:	Vierter Trog über Sturz öffnet sich
22 Minuten und 50 Sekunden:	Zusammenbruch der Holzkrippe
30 Minuten:	Versuchsende – keine weiteren Veränderungen am Probekörper zu beobachten

Die maximale augenscheinliche Flammenhöhe des Stützfeuers betrug 2,1 m, durch den Mitbrand der Pflanzen wurde der Brand bis oberhalb des obersten Troges weitergeleitet.

Versuchsergebnisse

Die Aufzeichnungen der Thermoelementmessungen zeigten folgende Temperaturverläufe:

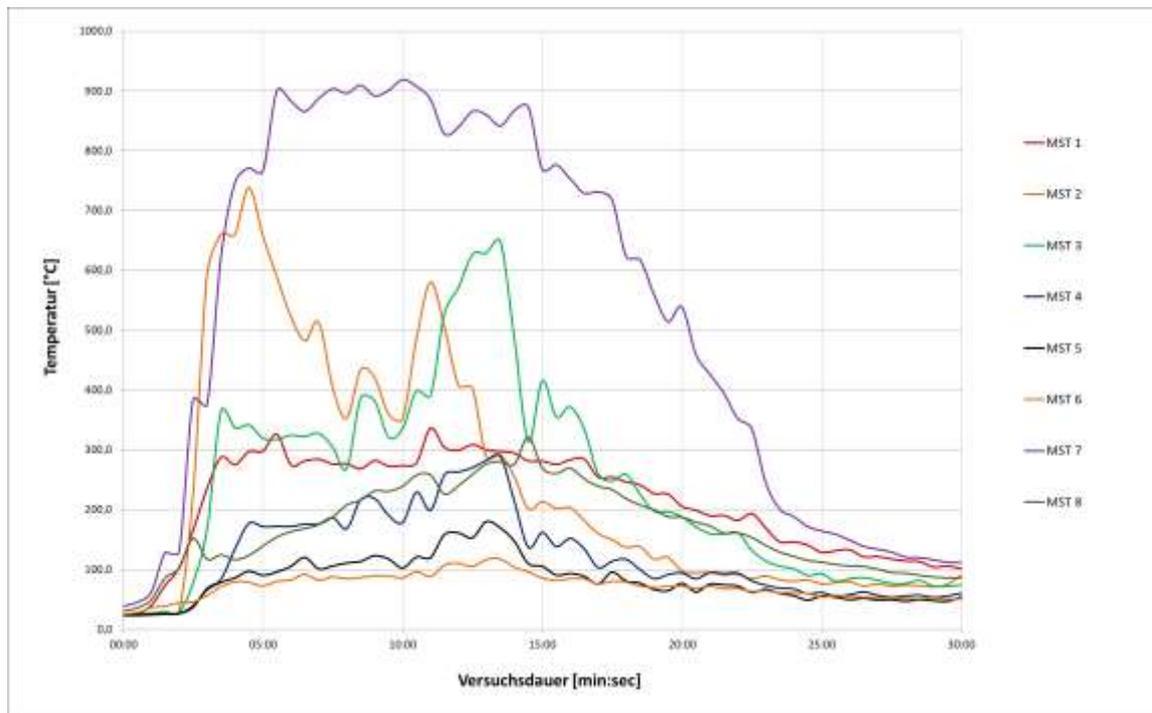


Abbildung 4-33: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 8, Versuch 4

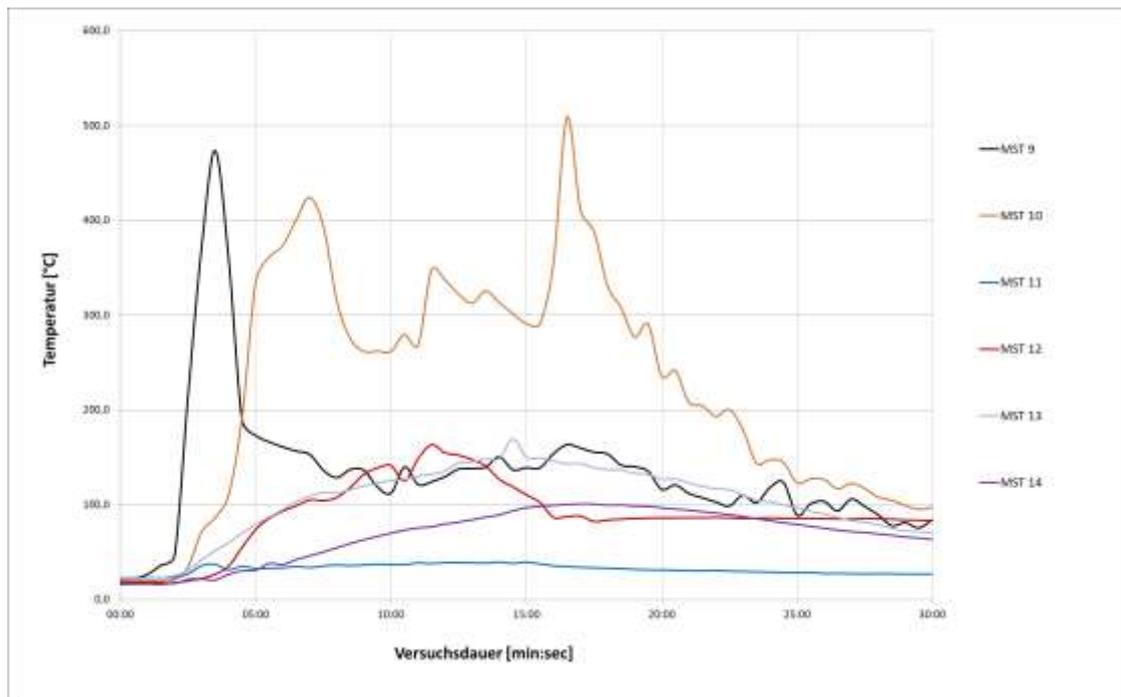


Abbildung 4-34: Temperaturverläufe Messstellen in und an den Trögen, Versuch 4

Aus den Temperaturlaufzeichnungen ist ersichtlich, wie die augenscheinlich beobachtete Brandweiterleitung auch zu einem Anstieg der Temperaturen in den unterschiedlichen Höhen führt. Erkennbar ist, dass die höchsten Temperaturen im Luftspalt zwischen Prüfstand und Trogkonstruktion gemessen wurden, sie lagen bei bis zu 900°C, was auch zu einer erheblichen thermischen Beanspruchung der Unterkonstruktion sowie zu einer beidseitigen Brandbelastung der Tröge führt. Das Hineinziehen der Flammen in diesen Luftspalt bewirkt sogar, dass die Temperaturen im Bereich des Stützfeuers im Fortlauf des Versuchs geringer waren als im Luftspalt. Gut erkennbar ist auch der sprunghafte Temperaturanstieg nach ca. 14 Minuten aufgrund des Mitbrandes des Systems.

Es konnte unter den gewählten Prüfbedingungen eine optische Brandweiterleitung entlang der Grünfassade bis über den obersten Trog hinaus während des Brandversuches beobachtet werden. Eine horizontale Brandausbreitung war nicht erkennbar. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 5 \text{ kg}$) abgefallen, es sind jedoch brennende Teile (Vlieseinlage der Tröge) abgefallen.

Aufgrund der Beobachtung ist das Ergebnis als negativ hinsichtlich der Kriterien der ÖNORM B 3800-5 zu beurteilen.

Bilddokumentation



Abbildung 4-35: Fassadenbegrünung unmittelbar beim Start des Versuches



Abbildung 4-36: Fassadenbegrünung während des Versuches (Versuchsdauer 14 Minuten)



Abbildung 4-37: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung (Versuchsdauer 22 Minuten)



Abbildung 4-38: Fassadenbegrünung nach der Prüfung

4.2.5 Versuch 5 (Rankhilfe 70 cm vor der Fassade)

Das dritte Forschungspaket umfasst nun die insgesamt drei folgenden Versuche mit begrünten vor den Prüfstand vorgesetzten metallischen Rankhilfen. Die drei Versuche unterschieden sich voneinander durch die Variation des Abstandes zwischen Prüfstand und vorgesetzter Konstruktion.

Im Unterschied zu den vorangegangenen Versuchen bestand die Brandlast bei allen drei Versuchen aus zwei Holzkrippen zu je 25 kg, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass derartige Begrünungskonstruktionen z.B. vor Balkonen, Loggienbereichen o.ä. in der Praxis angebracht werden. An diesen Positionen sind im worst-case größere Temperaturbeanspruchungen zu erwarten als im zweiten über dem Primärbrandherd liegenden Geschoss bei einem Raumbrand im Primärgeschoss. Das zog auch eine Vergrößerung der Breite der Brandkammer auf 1,5 m nach sich, die Brandkammerhöhe blieb mit 1,0 m unverändert. Die Brandkammer befand sich bei allen drei Versuchen in der Innenecke des Prüfstandes.

Versuchsaufbau

Bei diesem Versuch wurde eine metallische Rankhilfe in Form eines Edelstahlnetzes (1,5 mm Drahtdicke, Maschenweite ca. 40 mm x 40 mm) verwendet. Das Netz wurde rundum von einem Edelstahlseil mit einer Dicke von 3,0 mm gehalten, welches seinerseits an einem Edelstahlrahmen befestigt war. Der Edelstahlrahmen wies Abmessungen von 3,0 m Höhe x 1,5 m Breite auf. Zwei derartige Elemente wurden unmittelbar nebeneinander aufgestellt und im Versuch 5 mit Edelstahlgewindestangen an den Prüfstand so verschraubt, dass der Abstand zwischen Prüfstandoberfläche des langen Flügels und dem Rahmenprofil 700 mm betrug.

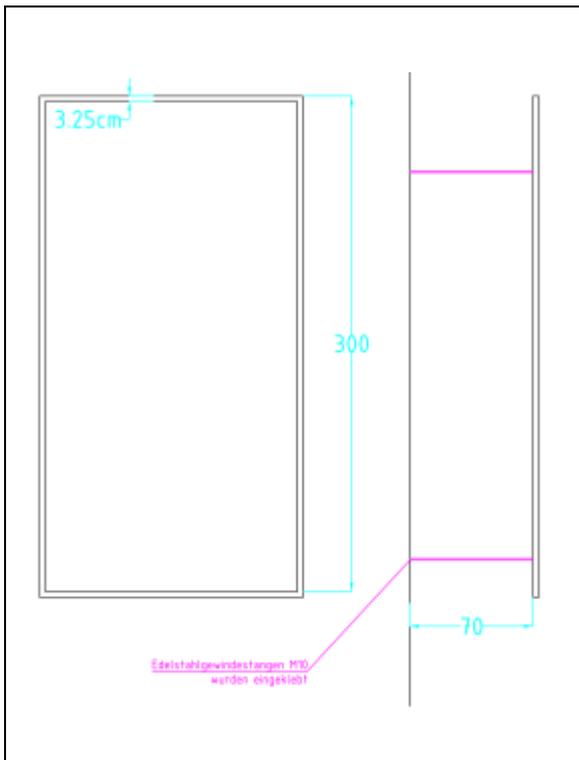


Abbildung 4-39: Skizze eines der beiden Elemente der vorgesetzten Edelstahlnetzkonstruktion



Abbildung 4-40: Abstand zwischen Prüfstand und vorgesetzter Konstruktion



Abbildung 4-41: Vermessen des Abstandes von 700 mm



Abbildung 4-42: Ansicht der beiden Elemente nebeneinander, Gesamtfläche somit 3,0 m x 3,0 m

Als Grünpflanze wurde wilder Wein (*Parthenocissus quinquefolia*) verwendet.

Die ca. 2,5 m hohen Pflanzen wurden mittels metallischen Drähten an das Edelstahlnetz in einer praxisnahen Dichte gebunden. Die Gesamtfläche der Konstruktion war dadurch ab einer Höhe von 50 cm über Fußboden und damit auch über die halbe Höhe vor der Brandkammer mit Begrünung belegt.

Zur Messung der Temperatur waren insgesamt 18 Thermoelemente montiert. Neu hinzu kamen 9 Temperaturmessstellen an der Rankhilfe, montiert inmitten der Pflanzen. Alle Thermoelementpositionen sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.

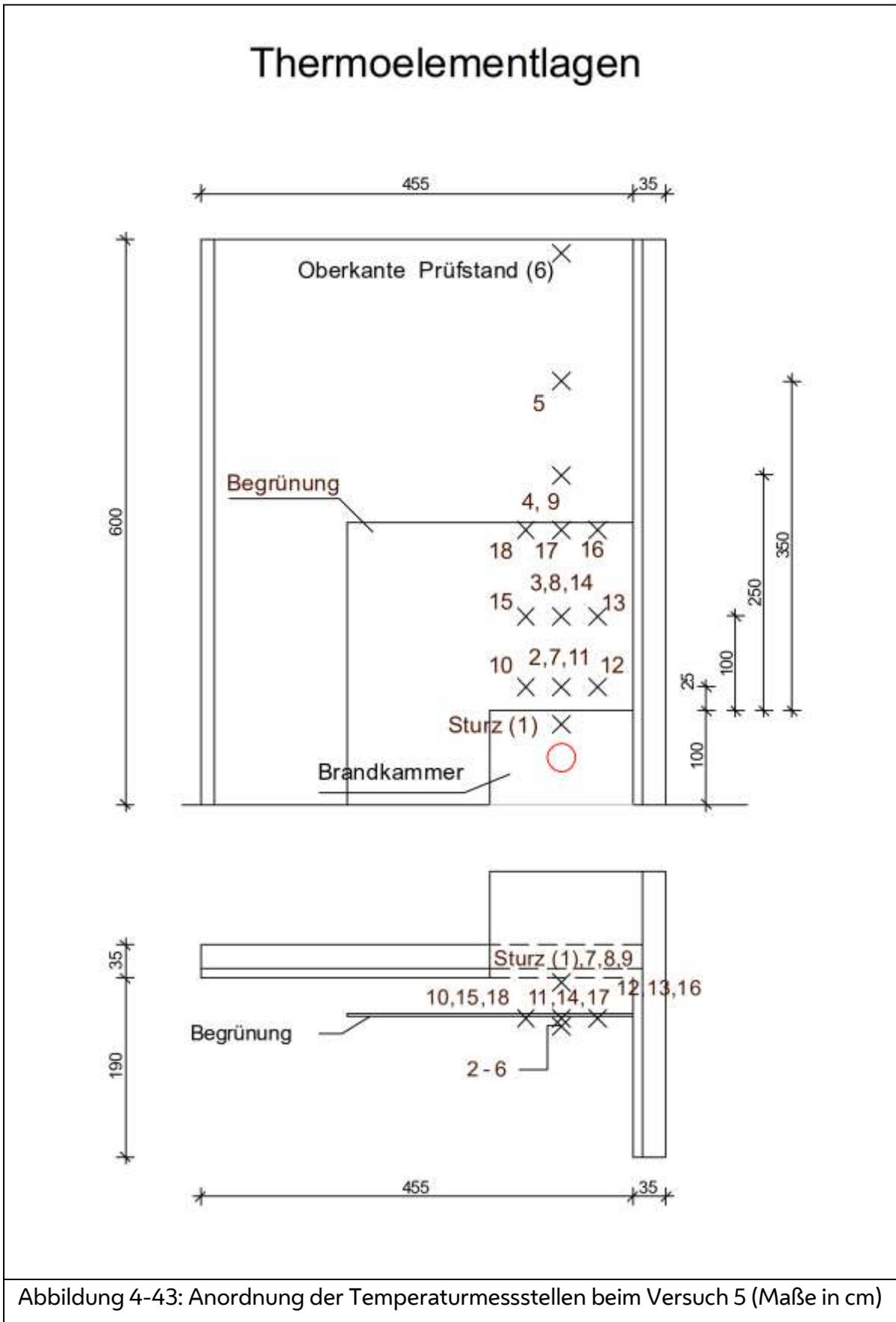


Abbildung 4-43: Anordnung der Temperaturmessstellen beim Versuch 5 (Maße in cm)

Versuchsdurchführung

Als Brandlast wurden zwei Holzkrippen verwendet, die jeweils aus gehobelten Fichtenholzstäben (jeweils 4 cm breit, 4 cm hoch und 50 cm lang) bestehen. Aus je 72 Stäben mit einem Gesamtgewicht von 25 kg +/- 1 kg wurden die Holzkrippen hergestellt, indem die Stäbe kreuzweise vernagelt werden. So entsteht je eine Holzkrippe mit einer Grundfläche von 0,5 m x 0,5 m und einer Höhe von 0,48 m (entspricht etwa 350 – 400 kW).

Die Holzkrippen werden auf je eine allseits offene Metallunterkonstruktion mit einer Grundfläche von je 0,5 m² in die Brandkammer gestellt (Höhe 0,25 m). Der seitliche Abstand der Holzkrippen zu den Wänden der Brandkammer beträgt 0,25 m. Die Vorderseite der Krippen schließt bündig mit der Vorderseite des Prüfstandes im unbedeckten Zustand ab.

Die Zündung der Holzkrippen wird mittels Isopropanol ausgelöst. Dazu werden unmittelbar vor Versuchsbeginn je zwei Blechwannen pro Krippe in die unterste Lage der Holzstäbe (jeweils in den zweiten äußeren Zwischenraum) eingeschoben und mit jeweils 200 ml Isopropanol befüllt. Die Entzündung des Isopropanols erfolgt mit einer offenen Flamme.

Zwei Minuten nach Zündung wird ein Lüfter, der sich hinter der Holzkrippe befindet, eingeschaltet und ein zusätzlicher Luftstrom (Volumenstrom 400 m³/h) durch eine runde Öffnung (Durchmesser 0,3 m) generiert.

Die Prüfung erfolgte am 28. August 2020. Die Temperatur in der Brandversuchshalle betrug 24,5 °C, die relative Luftfeuchtigkeit 35,5 % und der Luftdruck 1002,5 mbar.

Versuchsbeobachtungen

Versuchsbeginn:	Zündung des Isopropanols
2 Minuten:	Zuschalten des Ventilators; Flammen strömen aus Brandkammer

5 Minuten:	Ablösen einzelner Triebe
7 Minuten:	Dunkelfärbung der Blätter im rechten Teil (von vorne gesehen), prüfstandsseitig
21 Minuten und 50 Sekunden:	rechte Krippe bricht zusammen
25 Minuten:	linke Krippe bricht zusammen
30 Minuten:	Versuchsende – kein Entzünden der Pflanzen während der gesamten Prüfzeit

Die maximale augenscheinliche Flammenhöhe betrug ca. 2,3 m.

Versuchsergebnisse

Die Aufzeichnungen der Thermoelementmessungen zeigten folgende Temperaturverläufe:

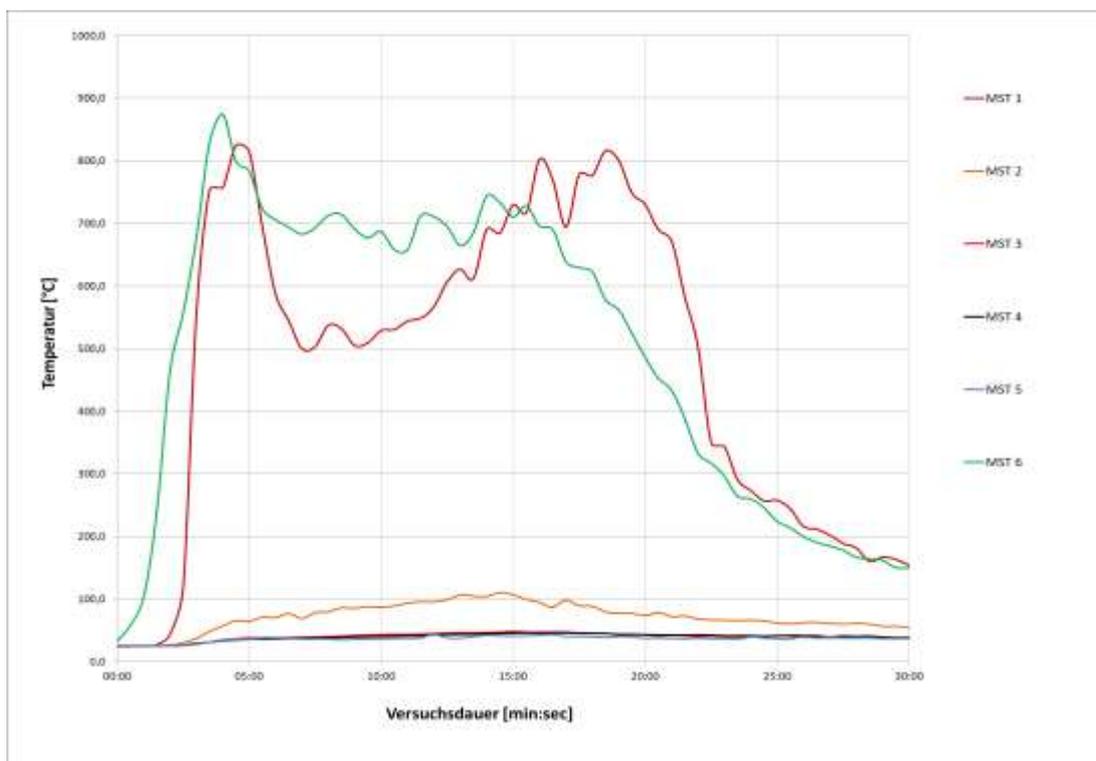


Abbildung 4-44: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 6, Versuch 5

(ANMERKUNG: die Messstelle 6 in Höhe der Prüfstandsoberkante ragte bei diesem Versuch bis zu 10 cm vor den Prüfstand, alle anderen Thermoelemente wie in obiger Abbildung)

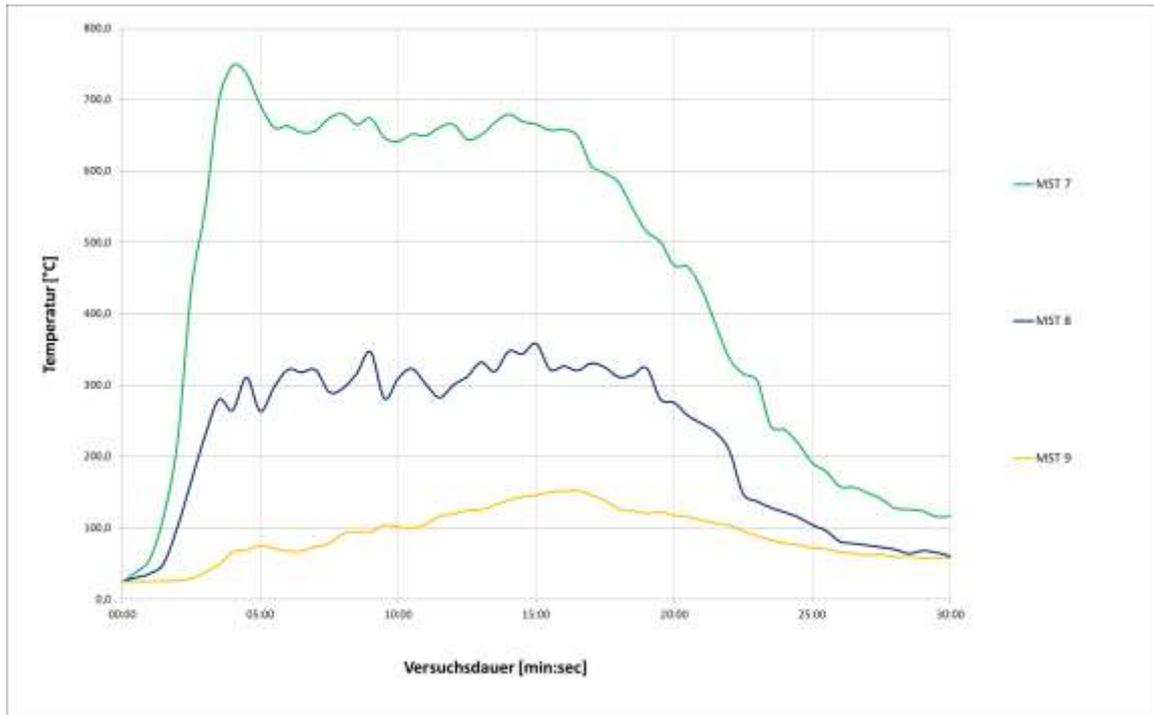


Abbildung 4-45: Temperaturverläufe Messstellen 7 bis 9 (Prüfstandebene), Versuch 5

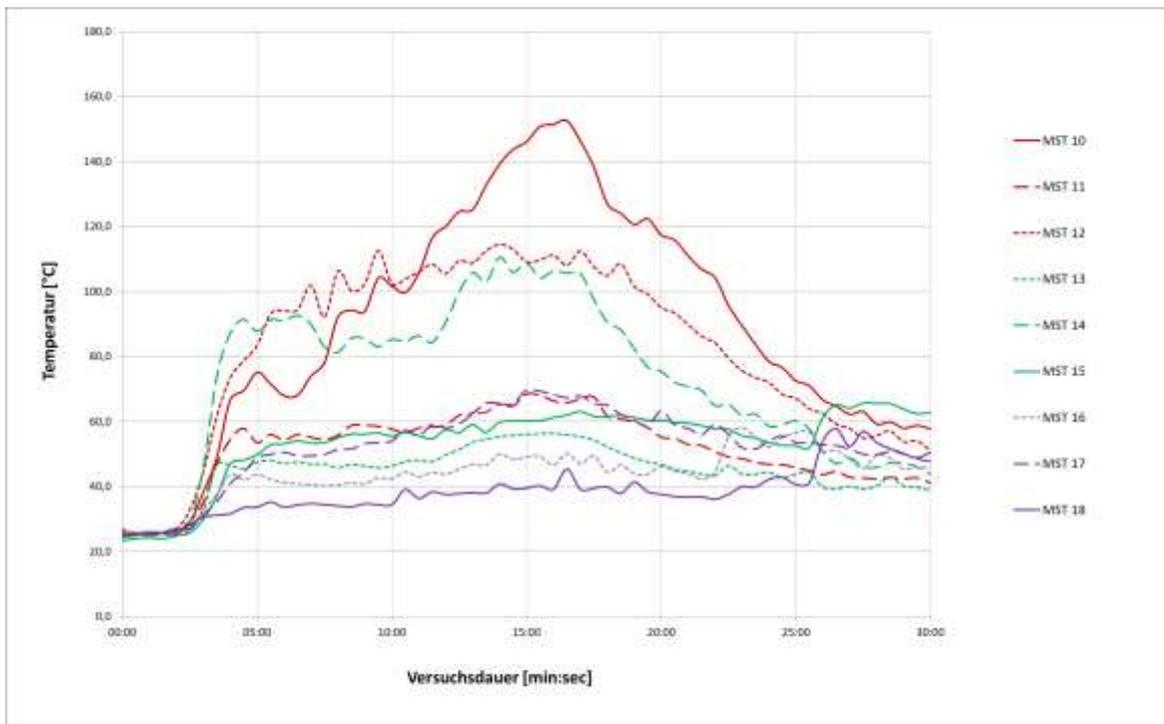


Abbildung 4-46: Temperaturverläufe Messstellen 10 bis 18 (auf Rankhilfe), Versuch 5

Am interessantesten erscheinen die Temperaturen, die an der Rankhilfe, inmitten der Begrünung gemessen wurden, hier liegt die maximale Temperatur bei knapp unter 160°C, eine Entzündung der Pflanzen fand daher nicht statt.

Eine Dunkelfärbung der Blätter war im rechten Teil der Konstruktion prüfstandseitig zu erkennen. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 5 \text{ kg}$) abgefallen.

Aufgrund der Beobachtung ist das Ergebnis als positiv hinsichtlich der Kriterien der ÖNORM B 3800-5 zu beurteilen.

Bilddokumentation

Abbildung 4-47: Fassadenbegrünung unmittelbar vor dem Start des Versuches



Abbildung 4-48: Fassadenbegrünung während des Versuches (nach 4 Minuten)



Abbildung 4-49: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung

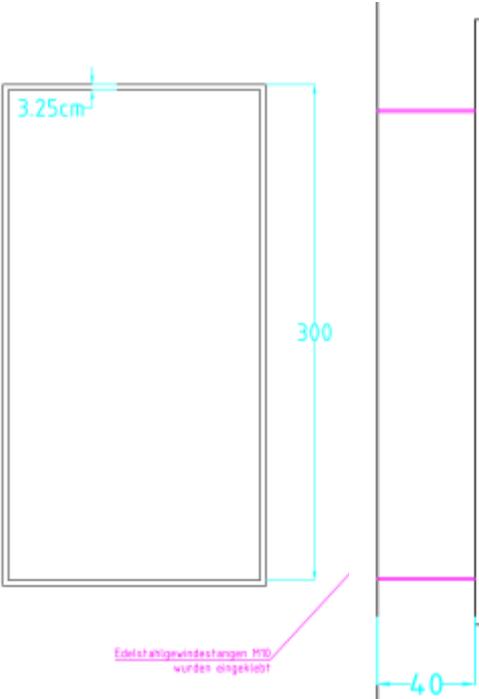


Abbildung 4-50: Fassadenbegrünung nach der Prüfung

4.2.6 Versuch 6 (Rankhilfe 40 cm vor der Fassade)

Versuchsaufbau

Die positiven Ergebnisse aus Versuch 5 führten dazu, den Versuch mit gleicher Prüfanordnung, jedoch verringertem Abstand zwischen Prüfstand und Rankhilfe von 400 mm zu wiederholen. Die Konstruktion selbst wurde unverändert belassen, alle Pflanzen erneuert und frisch auf die Edelstahlnetz-Rankhilfe montiert, lediglich die Gewindestangen als Abstandshalter zum Prüfstand wurden durch kürzere ersetzt.

	
<p>Abbildung 4-51: Skizze eines der beiden Elemente der vorgesetzten Edelstahlnetzkonstruktion</p>	<p>Abbildung 4-52: Abstand zwischen Prüfstand und vorgesetzter Konstruktion</p>

Die Bepflanzung wurde wiederum unmittelbar vor der Prüfung durchgeführt, um die Begrünung in möglichst vitaler Form zu prüfen.

Analog zu Versuch 5 (siehe Abbildung 4-43) wurden wieder insgesamt 18 Thermoelemente bei diesem Versuch angebracht.

Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung entspricht exakt jener des vorigen Versuches 5, daher wird hier auf eine Wiederholung der Beschreibung der Brandlast (wiederum 2 Holzkrippen) sowie der Lüftungs- und Zündungsbedingungen verzichtet.

Die Prüfung erfolgte am 31. August 2020. Die Temperatur in der Brandversuchshalle betrug 25,0 °C, die relative Luftfeuchtigkeit 32,4% und der Luftdruck 1005,5 mbar.

Versuchsbeobachtungen

Versuchsbeginn:	Zündung des Isopropanols
2 Minuten:	Zuschalten des Ventilators; Flammen strömen aus Brandkammer
5 Minuten:	Verfärbung der Blätter im Flammenbereich (prüfstandsseitig)
20 Minuten:	beginnendes Zusammenbrechen der Holzkrippen
30 Minuten:	Versuchsende – kein Mitbrand an den Pflanzen während der gesamten Prüfzeit

Die maximale augenscheinliche Flammenhöhe betrug bis zu ca. 2,5 m.

Versuchsergebnisse

Die Aufzeichnungen der Thermoelementmessungen zeigten folgende Temperaturverläufe:

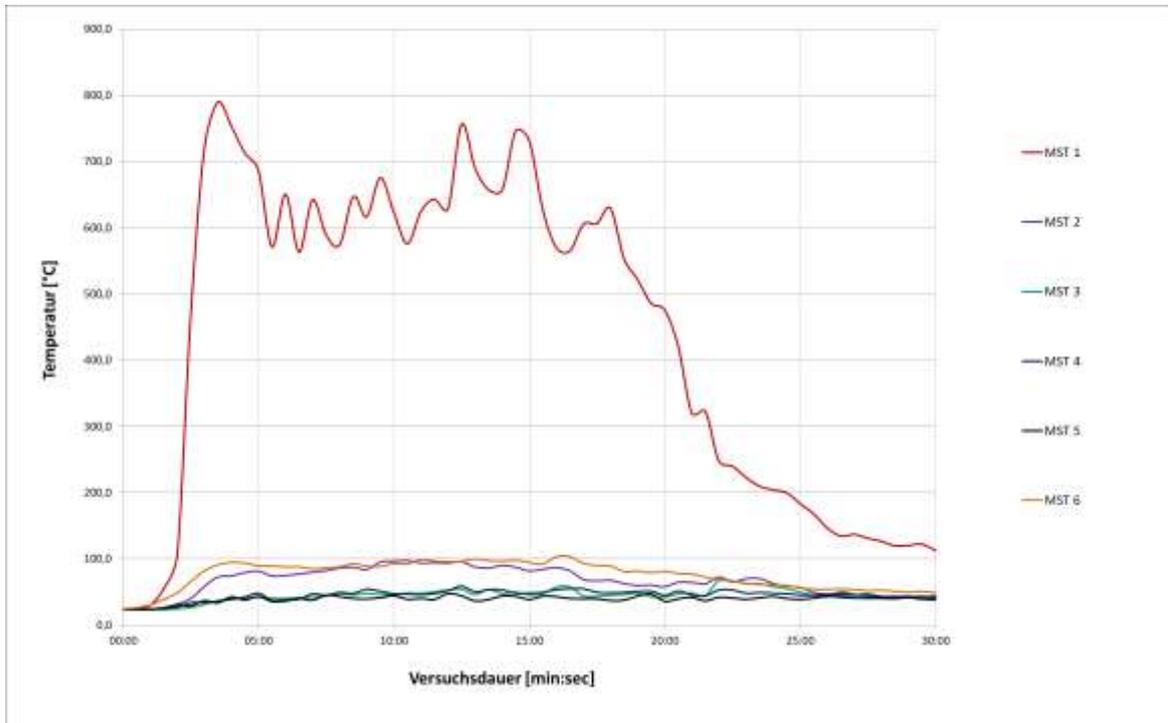


Abbildung 4-53: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 6, Versuch 5

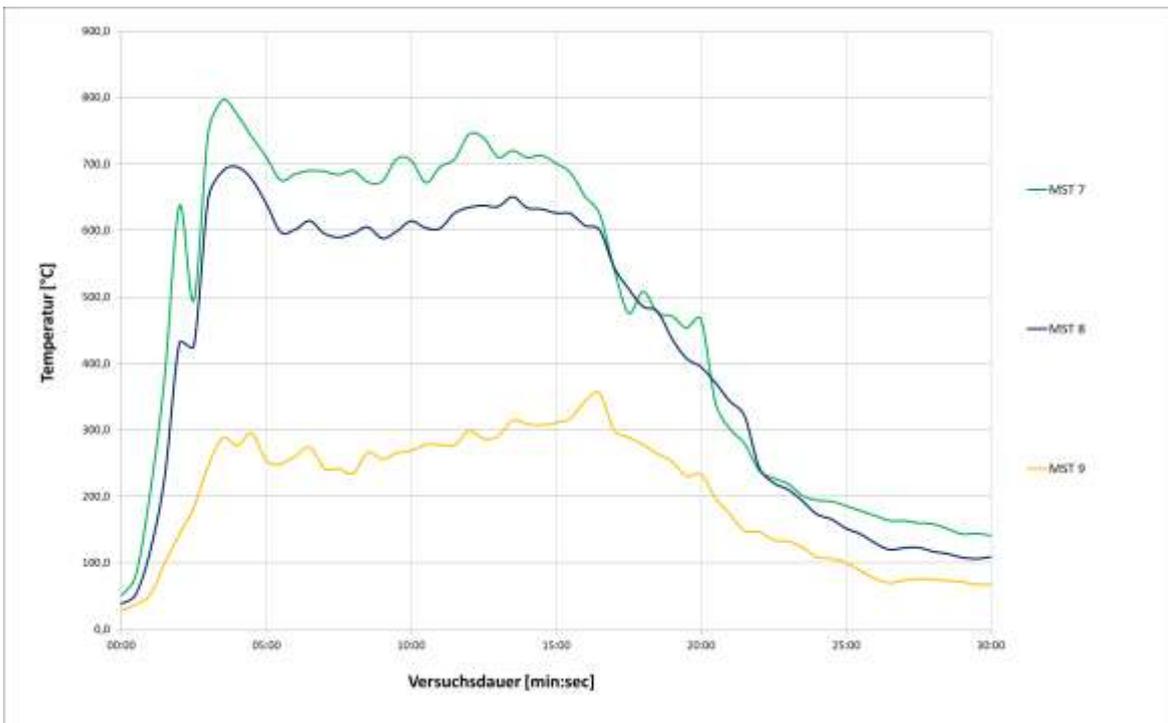


Abbildung 4-54: Temperaturverläufe Messstellen 7 bis 9 (Prüfstandebene), Versuch 5

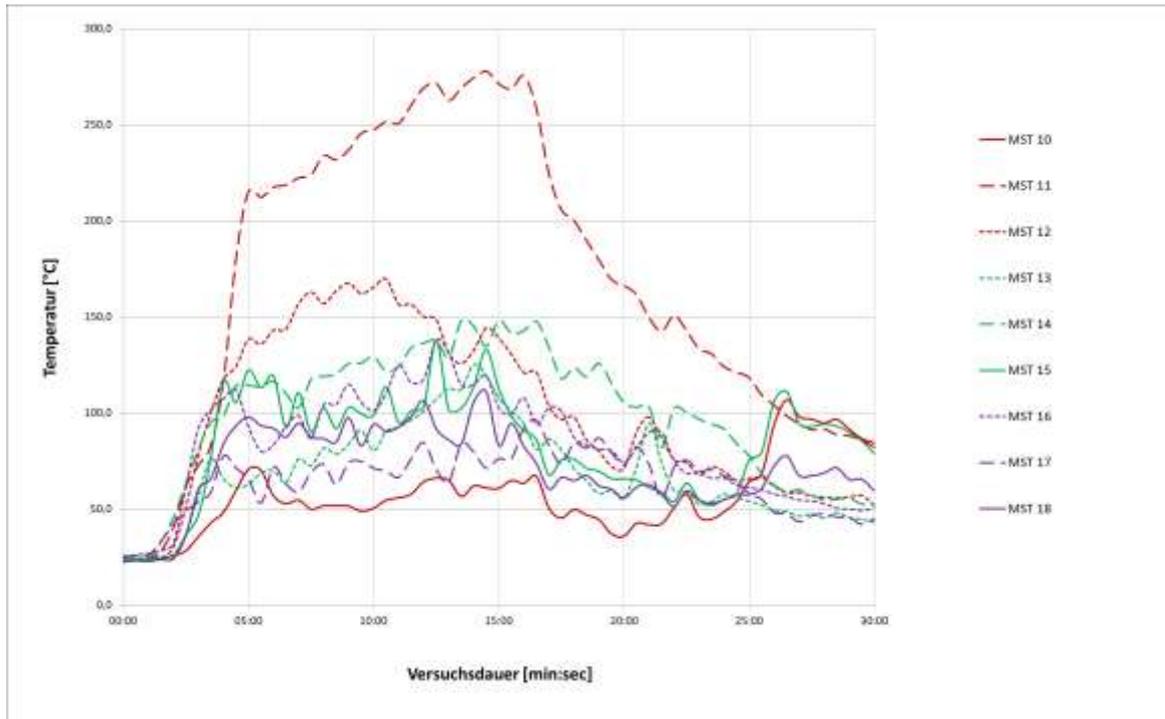


Abbildung 4-55: Temperaturverläufe Messstellen 10 bis 18 (auf Rankhilfe), Versuch 5

Wiederum wecken die Temperaturen an der Rankhilfe inmitten der Pflanzen das größte Interesse, sie liegen bei diesem Versuch im Maximum bei ca. 270°C, was bereits erheblich höher ist als bei Versuch 5 (160°C), aber immer noch entfernt von der „kritischen“ Temperatur von 500°C, eine Entzündung der Pflanzen fand auch bei einem Abstand des Rankgerüsts zur Brandkammer von 400 mm nicht statt.

Eine Dunkelfärbung und starke Austrocknung der Blätter der Pflanzen war am kompletten rechten Teil der Konstruktion prüfstandseitig zu erkennen. Es sind keine großen Teile (> 0,4 m² oder > 5 kg) abgefallen.

Aufgrund der Beobachtung ist das Ergebnis als positiv hinsichtlich der Kriterien der ÖNORM B 3800-5 zu beurteilen.

Bilddokumentation

Abbildung 4-56: Fassadenbegrünung
unmittelbar vor dem Start des Versuches



Abbildung 4-57: Fassadenbegrünung
während des Versuches (ca. 4,5 Minuten)

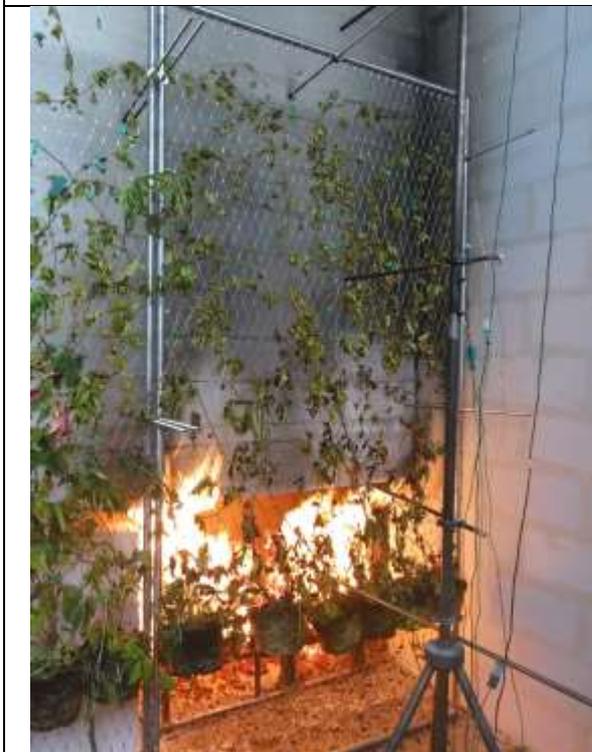


Abbildung 4-58: Fassadenbegrünung zum
Ende der Prüfung



Abbildung 4-59: Fassadenbegrünung nach
der Prüfung

4.2.7 Versuch 7 (Rankhilfe 20 cm vor der Fassade)

Versuchsaufbau

Die positiven Ergebnisse aus Versuch 5 und Versuch 6 führten dazu, den Versuch mit gleicher Prüfanordnung, jedoch nochmals verringertem Abstand zwischen Prüfstand und Rankhilfe von 200 mm zu wiederholen. Die Konstruktion selbst wurde unverändert belassen, alle Pflanzen erneuert und frisch auf die Edelstahlnetz-Rankhilfe montiert, lediglich die Gewindestangen als Abstandshalter zum Prüfstand wurden durch kürzere ersetzt.



Die Bepflanzung mit wildem Wein wurde wiederum unmittelbar vor der Prüfung durchgeführt, um die Begrünung in möglichst vitaler Form zu prüfen.

Analog zu den Versuchen 5 und 6 (siehe Abbildung 4-43) wurden wieder insgesamt 18 Thermoelemente bei diesem Versuch angebracht.

Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung entspricht exakt jener des vorigen Versuches 6, daher wird hier auf eine Wiederholung der Beschreibung der Brandlast (wiederum 2 Holzkrippen) sowie der Lüftungs- und Zündungsbedingungen verzichtet.

Die Prüfung erfolgte am 1. September 2020. Die Temperatur in der Brandversuchshalle betrug 22,0 °C, die relative Luftfeuchtigkeit 39,0 % und der Luftdruck 1002,5 mbar.

Versuchsbeobachtungen

Versuchsbeginn:	Zündung des Isopropanols
2 Minuten:	Zuschalten des Ventilators; Flammen strömen aus Brandkammer
3 Minuten:	Verfärbung und Glimmen der Blätter im Flammenbereich
3 Minuten und 27 Sekunden:	Mitbrand der Blätter im unmittelbaren Flammenbereich
4 Minuten:	Flammen des Stützfeuers ragen bis an den oberen Rand des Rankgitters
4 Minuten und 35 Sekunden:	Abfallen von Teilen der Begrünung
6 Minuten:	Mitbrand der Begrünung mittig
6 Minuten und 20 Sekunden:	Mitbrand der Begrünung vollflächig
9 Minuten und 40 Sekunden:	Glimmen von Teilen der Begrünung
16 Minuten:	Abfallen von weiteren Teilen der Begrünung
21 Minuten und 35 Sekunden:	Zusammenbruch der Krippe
30 Minuten:	Versuchsende

Die maximale augenscheinliche Flammenhöhe reichte bis über das Rankgitter, auch war ein kurzzeitiger (Sekundenlänge) vollflächiger Mitbrand zu beobachten.

Versuchsergebnisse

Die Aufzeichnungen der Thermoelementmessungen zeigten folgende Temperaturverläufe:

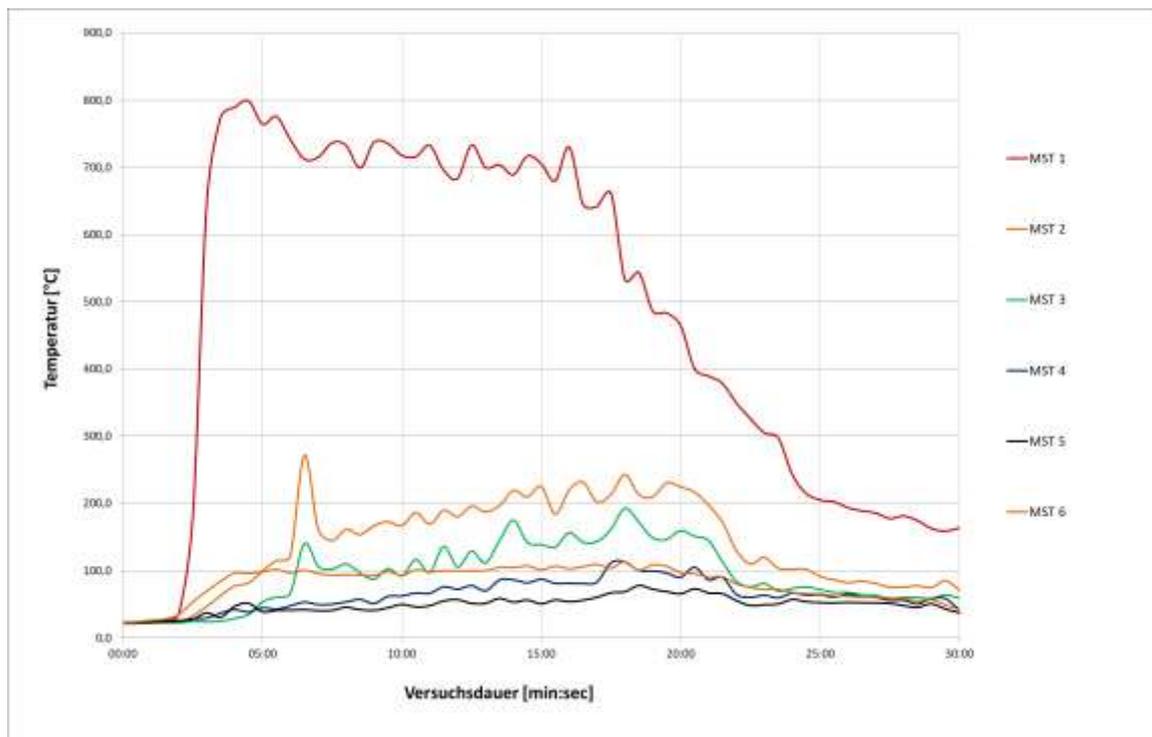


Abbildung 4-62: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 6, Versuch 7

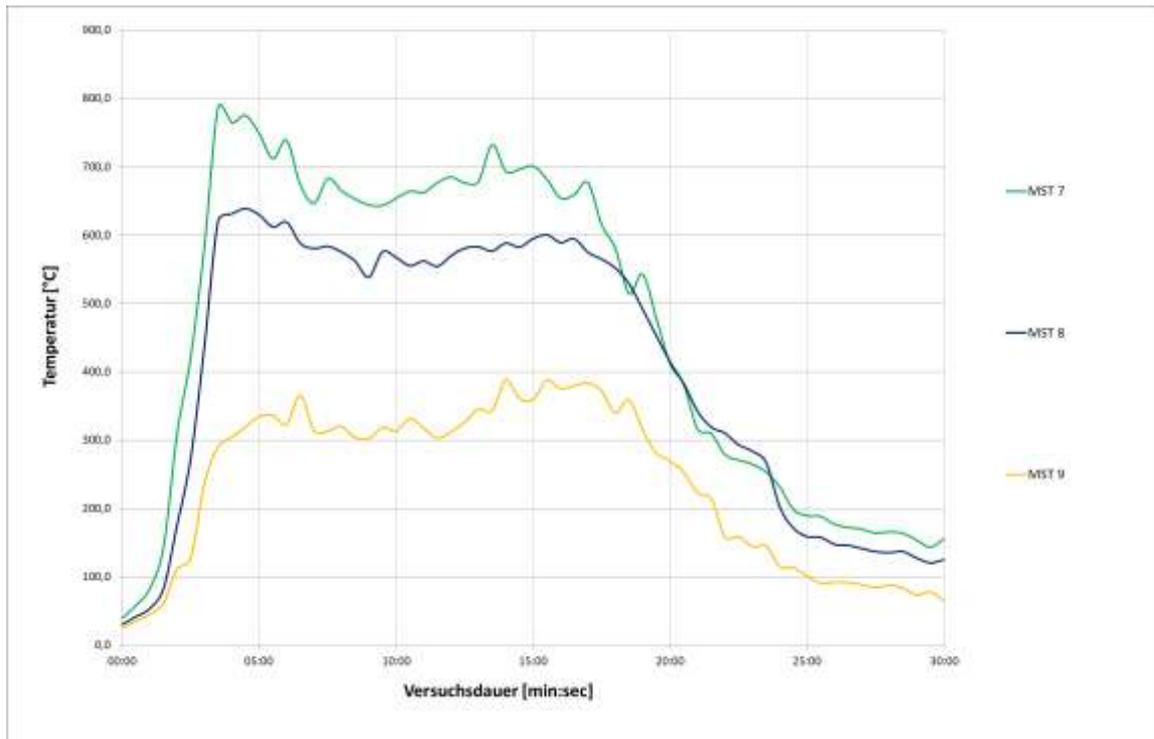


Abbildung 4-63: Temperaturverläufe Messstellen 7 bis 9 (Prüfstandsebene), Versuch 7

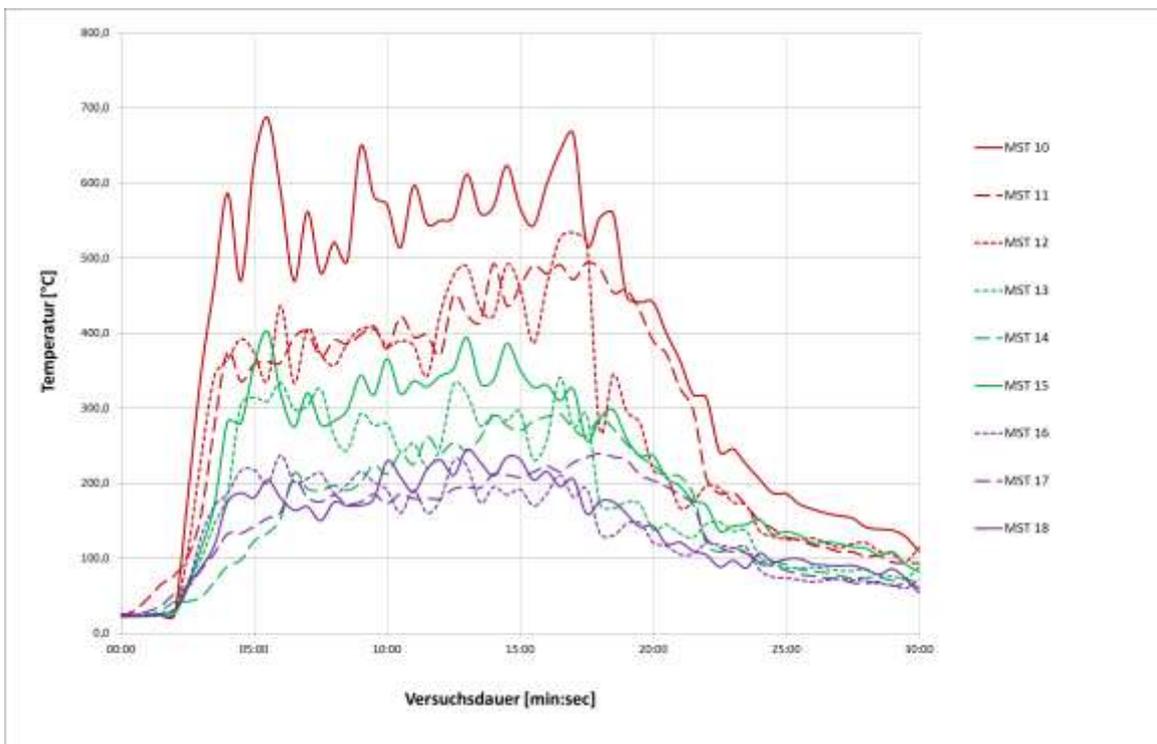


Abbildung 4-64: Temperaturverläufe Messstellen 10 bis 18 (Rankhilfe), Versuch 7

Nunmehr wird eine Entzündungstemperatur von 500°C an der Rankhilfe nach ca. 3 Minuten und 45 Sekunden Versuchsdauer erreicht, ein strohfeuerartiger Mitbrand der Pflanzen und damit eine Brandweiterleitung ist die Folge.

Nach der Prüfung waren praktische keine Pflanzen mehr an der Rankhilfe vorhanden (siehe Abbildung 4-68), fast die gesamte Begrünung ist weggebrannt. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 5 \text{ kg}$) abgefallen.

Aufgrund der beobachteten Brandweiterleitung ist das Ergebnis als negativ hinsichtlich der Kriterien der ÖNORM B 3800-5 zu beurteilen.

Bilddokumentation

Abbildung 4-65: Fassadenbegrünung unmittelbar vor dem Start des Versuches



Abbildung 4-66: Fassadenbegrünung während des Versuches (ca. 5 Minuten)



Abbildung 4-67: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung



Abbildung 4-68: Fassadenbegrünung nach 30 Minuten der Prüfung - Versuchsende

5 Ergebniszusammenfassung

Die Ergebnisse der durchgeführten großmaßstäblichen Brandversuche in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

	Brandweiterleitung nach oben hin	Brandweiterleitung seitlich	Abfallen brennender Teile	Nach ÖNORM B 3800-5
Versuch 1	Nein	Nein	Nein	Positiv
Versuch 2	Nein	Nein	Nein	Positiv
Versuch 3	Nein	Nein	Nein	Positiv
Versuch 4	Ja	Nein	Nein	Negativ
Versuch 5	Nein	Nein	Nein	Positiv
Versuch 6	Nein	Nein	Nein	Positiv
Versuch 7	Ja	Nein	Nein	Negativ

Tabelle 5-1: Übersichtstabelle der Versuchsergebnisse

Zusammenfassend ist also festzustellen, dass alle Versuche die bereits in der ersten Studie formulierte Ergebnisinterpretation bestätigen und verfestigen.

Eine Entzündung der verholzten Triebe sowie der Blattmasse der Begrünung ist wie in der ersten Studie festgestellt ab ca. 500 °C zu erwarten, sodass jede brandschutztechnische Maßnahme dahingehend beurteilt werden muss, ob sie sicherstellt, dass Fassadenbegrünungen im Realbrandfall nicht diesen Temperaturen ausgesetzt sind. Beginnen Begrünungen zu brennen, so ist jedenfalls eine nach ÖNORM B 3800-5 unzulässige vertikale Brandweiterleitung zu beobachten. Wiederum zeigte sich, dass grundsätzlich jede Pflanze entzündet werden kann, egal welcher botanischen Gattung sie angehört.

Die genannten 500°C an der Begrünung zu vermeiden, gelang im Rahmen der ersten Studie durch Einhaltung bestimmter Abstände von der Brandkammer. Dies gelang bei den nun berichteten Versuchen immer dann, wenn eine entsprechend weit auskragende Brandabschottung aus Stahlblech über der Brandkammer montiert war – unabhängig davon, ob sich darüber ein direkt an den Prüfstand montierter Efeu oder ein Trogsystem befand. Sie bewirkt ein Ablenken der Flammen weg von der Begrünung bzw. vom Trogsystem und damit eine Temperaturverringering in der Fassadenebene.

Deutlich wurde weiters, dass allein ein Aluminiumtrog keine wirksame Brandabschottung darstellt. Dies ist auf den Schmelzpunkt von Aluminium zurückzuführen (ca. 650°C), der oberhalb der Brandkammer mit Temperaturen von bis zu 900°C während des Versuches jedenfalls erreicht wird. Das führt zu einem Abschmelzen des Aluminiums, der Trog öffnet sich, eine Entzündung des eingelegten brennbaren Vlieses sowie in weiterer Folge der Bepflanzung ist das Ergebnis. Brennen Pflanzen dann in größerem Ausmaß scheint der schon oftmals beschriebene „Strohfeuereffekt“ und damit eine vertikale Brandweiterleitung nach oben hin unvermeidlich.

Was die Auskragungstiefe der Brandabschottung betrifft, so liegt ein Maß von 20 cm über den äußersten Punkt der Begrünung hinaus jedenfalls auf der sicheren Seite, eine geringere Auskragung von 10 cm ist bei metallischen Trogsystemen nunmehr prüftechnisch nachgewiesen. Basierend auf den Beobachtungen bei Versuch 1, bei dem der Efeu nicht an allen Punkten exakt 20 cm vom Stahlblech überragt wurde, sondern zum Teil auch eine geringere Auskragung gegeben war, erscheint für die MA 39 eine Verringerung der Auskragungstiefe der Brandabschottung bei der nachweisfreien Variante durchaus diskutabel. Sie wäre jedoch aus Sicht der MA 39 jedenfalls auch prüftechnisch konkret abzubilden.

Betreffend die vorgesetzte Konstruktion, so erreicht man dort mit einem gewissen Abstand von der Fassadenfläche, dass die „kritische“ Temperatur nicht erreicht wird. Es erscheint ein Abstand der Begrünung an einem metallischen Rankgerüst von mindestens 40 cm zur Fassadenfläche als adäquat. Bei diesen Versuchen war die angesetzte Brandlast bewusst doppelt so groß (50 kg Holz) angesetzt, um mögliche andere, realitätsnahe Brandszenarien wie oben beschrieben abzudecken. Im Sinne der österreichischen Betrachtung der brandschutztechnischen Prüfung von Fassadenkonstruktionen erscheint das durchaus schlüssig.

Ebenfalls wie bereits in der ersten Studie festgestellt, war bei keinem der Versuche ein Herabfallen von großen oder brennenden Teilen zu beobachten, ebenso spielte auch eine seitliche Brandweiterleitung – selbst bei den negativ verlaufenden Prüfungen – keine Rolle.

Alle Versuche zusammengenommen kann also neuerlich bestätigt werden, dass eine Entzündung der verholzten Triebe sowie der Blattmasse ab ca. 500 °C zu erwarten ist, sodass hinsichtlich der folgenden abschließenden Handlungsanleitung für das weitere Vorgehen immer zu bedenken ist, wie technisch sichergestellt werden kann, dass Fassadenbegrünungen im Realbrandfall nicht diesen Temperaturen ausgesetzt sind.

6 Strategische Handlungsanleitung

Aus den bei den Versuchen gewonnenen Erkenntnissen ergeben sich für künftige Anwendungen von Grünfassaden folgende richtungsweisende Empfehlungen der MA 39:

Ausgangspunkt der Überlegungen und Empfehlungen sind die derzeitigen Anforderungen an den Brandschutz von Fassadenbegrünungen, definiert im Fassadenbegrünungsleitfaden der MA 22.

- Die im Fassadenbegrünungsleitfaden definierte nachweisfreie Variante von Begrünungen in den Gebäudeklassen 4 und 5 einer geschoßweisen Abschottung mittels mindestens 20 cm auskragendem, durchgehendem Profil aus Stahlblech (Dicke mind. 1,0 mm) ist bestätigt und kann so beibehalten werden. Anmerkung: Aufgrund der Detailbeobachtungen beim Versuch mit Efeu hält die MA 39 einen positiven Ausgang eines Brandversuches in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5 mit einer Abschottung mit einer verringerten Auskragungstiefe etwa auf 15 cm für möglich. Eine belastbare Aussage darüber kann jedoch erst nach positiver Absolvierung eines zugehörigen Brandversuches gemacht werden.
- Fassadengebundene metallische Trogsysteme auf metallischer Unterkonstruktion mit Edelstahlbefestigung an der Fassade entsprechen den brandschutztechnischen Schutzziele an Fassaden in den Gebäudeklassen 4 und 5 dann, wenn auch sie mit einer geschoßweisen Brandabschottung aus einem mindestens 10 cm auskragenden, durchgehendem Profil aus Stahlblech (Dicke mind. 2,0 mm) ausgestattet sind.

- Vor die Fassade vorgeseetzte Begrünungsformen in Zusammenhang mit nichtbrennbaren (z.B. metallischen) Rankhilfen haben einen Mindestabstand zur Fassadenoberfläche oder zu einem Balkon o.ä. von 40 cm aufzuweisen, damit es über die Begrünung nicht zu einer Brandweiterleitung kommt.
- Die Ergebnisse dieser Studie haben aus Sicht der MA 39 keine Auswirkungen auf die brandschutztechnischen Anforderungen an Fassadenbegrünungen für Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m.
- Weiterhin gilt: Fassadenbegrünungen sind zu pflegen und in einem vitalen, funktionalen Zustand zu erhalten (Bauwerksbuch, eindeutige Regelung der Zuständigkeit für Pflege und Erhaltung der Begrünung). Erforderliche Pflegemaßnahmen sind bereits in der Planung zu berücksichtigen und gegebenenfalls im Bauwerksbuch festzuhalten.

Diese Schlussfolgerungen aus den Versuchen sind nun mit den Expertinnen und Experten zum Thema, insbesondere mit jenen der MA 37 – KSB (Kompetenzstelle Brandschutz der Wiener Baupolizei) zu diskutieren, um danach im besten Fall weitere einfache und klare Regelungen für die beschriebenen Konstruktionen im Fassadenbegrünungsleitfaden einzuarbeiten.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

- [1] Werner, Dieter; Pommer, Georg; Danzinger, Kurt; Pomper, Stephan, Studie zum Thema „Brandverhalten von Grünfassaden in großmaßstäblichen Versuchen“, Magistratsabteilung 39 – Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien, Wien, 2018 abgerufen unter <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=480> [18. November 2020]
- [2] ÖNORM B 3800-5: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 5: Brandverhalten von Fassaden - Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen, Austrian Standards Institute, Wien, 2013
- [3] Leitfaden Fassadenbegrünung, Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22, Wien, 2019
- [4] Kordina, K., Jeschar, R., Bechtold, R., Ehlert, K.-P., Wesche, J., Brandversuche Lehrte, Schriftenreihe „Bau- und Wohnforschung“ des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn-Bad Godesberg, 1978
- [5] OIB-Richtlinie 2: Brandschutz, OIB-330.2-012/19, Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 2019
- [6] OIB-Richtlinie 2.3: Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m, OIB-330.2-015/19, Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 2019
- [7] Brandwein, Thorwald, Statistisches über Brände mit Kletterpflanzen und Strategien zu ihrer Vermeidung, 2015, abgerufen unter https://www.brandfeuer.de/images/e/ea/Statistisches_%C3%BCber_Br%C3%A4nde_mit_Kletterpflanzen_-_Thorwald_Brandwein_10.03.2015.pdf [19. November 2020]

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: brandschutztechnische Anforderungen an Grünfassaden (aus [3]).....	14
Abbildung 3-2: Skizze von nachweisfreien Varianten der Montage von Fassadenbegrünungen (aus [3]).....	15
Abbildung 4-1: beispielhafte Ansicht des Fassadenprüfstandes, Maße in mm (aus [2])	20
Abbildung 4-2: Lage der Thermoelemente, Maße in mm (aus [2])	22
Abbildung 4-3: Dimension der Brandabschottung, 20 cm Auskragung	26
Abbildung 4-4: Gesamtansicht der Prüfanordnung vor dem Versuch	26
Abbildung 4-5: Anordnung der Temperaturmessstellen beim Versuch 1 (Maße in cm)	27
Abbildung 4-6: Temperaturverläufe an den Thermoelementen 100 mm vor der Begrünung	29
Abbildung 4-7: Temperaturverläufe an den Thermoelementen innerhalb der Begrünung	30
Abbildung 4-8: Temperaturverläufe an den Thermoelementen 50 mm vor der Begrünung	30
Abbildung 4-9: Grünfassade vor der Fassadenbrandprüfung	32
Abbildung 4-10: Fassadenbegrünung während des Versuches (ca. 5,5 Minuten)	32
Abbildung 4-11: Fassadenbegrünung nach einer Versuchsdauer von ca. 20 Minuten ...	32
Abbildung 4-12: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung	32
Abbildung 4-13: Skizze der Montage des Aluminiumtrogsystems am Prüfstand, Anordnung der Brandabschottung im Sturzbereich	34
Abbildung 4-14: Montage der Unterkonstruktion am Prüfstand sowie der Tröge an der Unterkonstruktion.....	34
Abbildung 4-15: Detailaufnahme der erdbefüllten und bepflanzteten Tröge	36
Abbildung 4-16: Dimension der auskragenden Brandabschottung aus Stahlblech.....	36
Abbildung 4-17: Temperaturverläufe, Versuch 2	38
Abbildung 4-18: Grünwandsystem am Prüfstand vor der Fassadenbrandprüfung, Brandabschottung 30 cm auskragend	39
Abbildung 4-19: Fassadenbegrünung während der Brandprüfung	39

Abbildung 4-20: Brandabschottung – Ablenkung der Flamme	39
Abbildung 4-21: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung	39
Abbildung 4-22: Skizze der Prüfanordnung inkl. Brandabschottung	40
Abbildung 4-23: Dimension des neu montierten Stahlbleches mit Gesamttiefe von 330 mm.....	40
Abbildung 4-24: Anordnung der Temperaturmessstellen beim Versuch 3 (Maße in cm)	41
Abbildung 4-25: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 8, Versuch 3	43
Abbildung 4-26: Temperaturverläufe Messstellen in und an den Trögen, Versuch 3	43
Abbildung 4-27: Grünwandsystem am Prüfstand der MA 39 vor der Fassadenbrandprüfung.....	45
Abbildung 4-28: Flammenhöhe erreicht ca. 1,7 m von Sturzoberkante während der Brandprüfung.....	45
Abbildung 4-29: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung.....	45
Abbildung 4-30: Fassadenbegrünung nach der Prüfung.....	45
Abbildung 4-31: Skizze der Prüfanordnung ohne Brandabschottung.....	46
Abbildung 4-32: Prüfaufbau ohne Brandabschottung im Sturzbereich.....	46
Abbildung 4-33: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 8, Versuch 4.....	48
Abbildung 4-34: Temperaturverläufe Messstellen in und an den Trögen, Versuch 4	49
Abbildung 4-35: Fassadenbegrünung unmittelbar beim Start des Versuches	50
Abbildung 4-36: Fassadenbegrünung während des Versuches (Versuchsdauer 14 Minuten).....	50
Abbildung 4-37: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung (Versuchsdauer 22 Minuten).....	50
Abbildung 4-38: Fassadenbegrünung nach der Prüfung.....	50
Abbildung 4-39: Skizze eines der beiden Elemente der vorgesetzten Edelstahlnetzkonstruktion.....	52
Abbildung 4-40: Abstand zwischen Prüfstand und vorgesetzter Konstruktion.....	52
Abbildung 4-41: Vermessen des Abstandes von 700 mm	52

Abbildung 4-42: Ansicht der beiden Elemente nebeneinander, Gesamtfläche somit 3,0 m x 3,0 m	52
Abbildung 4-43: Anordnung der Temperaturmessstellen beim Versuch 5 (Maße in cm)	54
Abbildung 4-44: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 6, Versuch 5	56
Abbildung 4-45: Temperaturverläufe Messstellen 7 bis 9 (Prüfstandebene), Versuch 5	57
Abbildung 4-46: Temperaturverläufe Messstellen 10 bis 18 (auf Rankhilfe), Versuch 5	57
Abbildung 4-47: Fassadenbegrünung unmittelbar vor dem Start des Versuches	59
Abbildung 4-48: Fassadenbegrünung während des Versuches (nach 4 Minuten)	59
Abbildung 4-49: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung	59
Abbildung 4-50: Fassadenbegrünung nach der Prüfung	59
Abbildung 4-51: Skizze eines der beiden Elemente der vorgesetzten Edelstahlnetzkonstruktion	60
Abbildung 4-52: Abstand zwischen Prüfstand und vorgesetzter Konstruktion	60
Abbildung 4-53: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 6, Versuch 5	62
Abbildung 4-54: Temperaturverläufe Messstellen 7 bis 9 (Prüfstandebene), Versuch 5	62
Abbildung 4-55: Temperaturverläufe Messstellen 10 bis 18 (auf Rankhilfe), Versuch 5	63
Abbildung 4-56: Fassadenbegrünung unmittelbar vor dem Start des Versuches	64
Abbildung 4-57: Fassadenbegrünung während des Versuches (ca. 4,5 Minuten)	64
Abbildung 4-58: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung	64
Abbildung 4-59: Fassadenbegrünung nach der Prüfung	64
Abbildung 4-60: Skizze eines der beiden Elemente der vorgesetzten Edelstahlnetzkonstruktion	65
Abbildung 4-61: Abstand zwischen Prüfstand und vorgesetzter Konstruktion	65
Abbildung 4-62: Temperaturverläufe Messstellen 1 bis 6, Versuch 7	67
Abbildung 4-63: Temperaturverläufe Messstellen 7 bis 9 (Prüfstandebene), Versuch 7	68
Abbildung 4-64: Temperaturverläufe Messstellen 10 bis 18 (Rankhilfe), Versuch 7	68

Abbildung 4-65: Fassadenbegrünung unmittelbar vor dem Start des Versuches	70
Abbildung 4-66: Fassadenbegrünung während des Versuches (ca. 5 Minuten).....	70
Abbildung 4-67: Fassadenbegrünung zum Ende der Prüfung.....	70
Abbildung 4-68: Fassadenbegrünung nach 30 Minuten der Prüfung - Versuchsende .	70

7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Übersichtstabelle der Versuchsergebnisse.....	71
--	----