



**Stadt
Wien**

Prüf-, Inspektions- und
Zertifizierungsstelle

Forschungsprojekt
**„Brandverhalten von Glas-Glas-Photovoltaik (PV)-Modulen
in neu entwickelten großmaßstäblichen
Fassadenbrandversuchen“**

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
(zu MA 50 – Mi 477429-2023)

Verfasser:

Ing. Stephan Pomper

Dipl.-HTL-Ing. Kurt Danzinger, MSc

Dipl.-Ing. Dieter Werner, MSc, Leiter des Bauphysiklabors der MA 39

Dipl.-Ing. Georg Pommer, Leiter der MA 39

Wien, am 28. Dezember 2023

Die vorliegende Forschungsarbeit entstand unter Federführung der MA 39 in kooperativer Zusammenarbeit mit:

- Baupolizei, Magistratsabteilung 37 - Kompetenzstelle Brandschutz, Frau SR Dipl.-Ing. Irmgard Eder
- IBS – Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Gesellschaft m.b.H., Linz (Brandschutzexpert*innen), Herr Dipl.-Ing. Dr. Günther Schwabegger und Frau Dipl.-Ing. Anna Stanzel, MSc
- Bundesverband Photovoltaic Austria, Wien (Interessensvertretung für PV in Österreich), Frau Dipl.-Ing. Vera Immitzer und Herr Fabian Janisch, BSc
- TPPV Technologieplattform Photovoltaik, Wien (Innovationen der österreichischen PV-Industrie), Frau Dipl.-Ing. Dr. Gabriele Eder
- ADSUM Brandschutz- & Sicherheitsconsult GmbH, Wien (Expert*innen für den anlagentechnischen Brandschutz), Herr Ing. Johann Ettel, MSc

Vielen Dank für die stets kollegiale, lösungsorientierte und unbürokratische Zusammenarbeit!

Dank auch an

- PREFA Aluminiumprodukte GmbH, Herrn Ing. Ernst Gregorites und
- Hilti Austria Industrie GmbH, Herrn Dipl.-Ing. Ondrej Vycital

für die Unterstützung beim Aufbau der Prüfkörper.

Inhalt

1	Kurzfassung.....	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzung.....	1
1.3	Methodik	1
1.4	Ergebnisse	2
1.5	Ausblick.....	2
2	Summary	3
2.1	Initial situation	3
2.2	Objective	3
2.3	Methodology	3
2.4	Results	3
2.5	Prospect.....	4
3	Ausgangslage.....	5
4	Zielsetzung	6
5	Brandverhalten von PV-Modulen	7
5.1	Aufbau von PV-Modulen.....	7
5.2	Montage von PV-Modulen an Fassaden	8
5.3	Brandschutztechnische Eigenschaften von PV-Modulen	10
5.3.1	Brandverhalten	10
5.3.2	Verhalten in Großbrandversuchen.....	11
6	Brandschutztechnische Anforderungen an Fassaden in Österreich	12
6.1	Brandszenarien an Fassaden	12
6.2	Brandschutztechnische Anforderungen an (Hochhaus-) Fassaden.....	13
6.2.1	Anforderungen an das Brandverhalten	13
6.2.2	Anforderungen an die wirksame Einschränkung der Brandweiterleitung	13
6.2.3	Anforderungen speziell für PV-Module	14
7	Brandszenario Fensterausbrand bei automatischer Löschanlage	15
7.1	Angenommenes Brandszenario.....	15
7.2	Brandlasten, Brandleistungen	15
7.3	Sprinkler.....	16
7.4	Brandversuch.....	16
7.4.1	Aufbau und Ausstattung des Brandraums	16
7.4.2	Eckdaten des Brandversuches	17
7.4.3	Anordnung der Thermoelemente auf der Fassade	18

7.4.4	Fotodokumentation	19
7.4.5	Ergebnisse.....	21
8	Festlegung eines Prüfverfahrens.....	27
8.1	Normprüfung nach ÖNORM B 3800-5.....	27
8.2	Entwicklung der Prüfanordnung.....	30
8.2.1	Vergleichende Normversuche nach ÖNORM B 3800-5	30
8.2.2	Alternative Normversuche nach ÖNORM B 3800-5.....	32
8.2.3	Versuche mit veränderter Holzkrippenanordnung.....	33
8.2.4	Entwickelte Prüfanordnung.....	36
9	Prüfungen an PV-Modulen.....	39
9.1	Auswahl der PV-Module.....	39
9.2	Montage der PV-Module	40
9.3	Prüfungen.....	42
9.3.1	Versuch vom 19. Oktober 2023.....	42
9.3.2	Versuch vom 10. November 2023	45
9.3.3	Versuch vom 14. November 2023	47
9.3.4	Versuch vom 20. November 2023	50
9.3.5	Versuch vom 27. November 2023	53
9.3.6	Versuch vom 1. Dezember 2023	56
10	Ergebniszusammenfassung.....	59
11	Diskussion und Ausblick.....	61
12	Verzeichnisse.....	63
12.1	Literaturverzeichnis.....	63
12.2	Abbildungsverzeichnis.....	63
12.3	Tabellenverzeichnis	66

1 Kurzfassung

1.1 Ausgangslage

Durch die Wiener Sonnenstrom-Offensive setzt sich die Stadt Wien das Ziel, im Jahr 2030 ca. 10 % des Strombedarfes von Wien mit Sonnenstrom zu decken.

Um daher das Potenzial von Sonnenstrom verstärkt nutzen zu können, sind beispielsweise Aufstellungsmöglichkeiten für PV-Anlagen zu untersuchen.

Die hier betrachtete Möglichkeit ist die Montage von PV-Modulen an Fassaden, wodurch wenig verschattet und kein Boden versiegelt wird, und die Ausrichtung nicht auf die Mittagszeit ausgelegt ist.

Allerdings ist der Einsatz an Hochhäusern mit einem Fluchtniveau von mehr als 32 m aufgrund der Vorgaben der OIB-Richtlinie 2.3 nicht zulässig. Hier wird eine Brandverhaltensklasse A2 gefordert, die durch die Brandlast der in PV-Modulen unbedingt notwendigen Kunststofffolien nicht gegeben ist.

Um hier dennoch die Möglichkeit der Montage zu untersuchen ohne die Brandschutzanforderungen zu untergraben, wurde dieses Forschungsprojekt von der Magistratsabteilung 39 initiiert.

1.2 Zielsetzung

Ziel ist, ein Prüfverfahren für Glas-Glas-PV-Module in Anlehnung an die ÖNORM B 3800-5 zu entwickeln, dass das Temperaturprofil des Austrittes der Flammen durch eine Fensteröffnung an der Fassade bei einem Raumbrand wiedergibt. Annahme für den Brand ist ein Wohnraum mit 40 m² Grundfläche bzw. 40 m² Brandfläche, mit einer automatischen Löschanlage mit Schutzziel „Verhinderung der vertikalen Flammenübertragung“ in einem Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 32 m.

Um dies zu erreichen, sind großmaßstäbliche Vorversuche erforderlich, weiters das Anpassen der Ausgangversuchsanordnung nach ÖNORM B 3800-5 an die ermittelte Temperaturverteilung der Vorversuche und anschließend die Durchführung von Prüfungen von Glas-Glas-PV-Modulen unter diesen Versuchsbedingungen als Basis für weitere Schritte hinsichtlich Ausarbeitung von brandschutztechnischen Schutzzielen bzw. Lösungen.

1.3 Methodik

Es wurde hier eine Prüfanordnung und Versuchsdurchführung, die die Verwendung einer Holzkrippe als Brandlast, eines Lüfters für den Luftstrom, die Entzündung durch Isopropanol sowie die Beobachtungen während des Versuches regelt, definiert.

Ausgangspunkt waren die Rahmenbedingungen der ÖNORM B 3800-5.

1.4 Ergebnisse

Es wurden 2 Realbrandversuche mit für Wohnräume typischen Brandlasten und praxisnah eingesetzten Sprinklern zur Ermittlung der Temperaturentwicklung durchgeführt. Aus diesen Ergebnissen wurde zweckmäßigerweise am Prüfstand gemäß ÖNORM B 3800-5 ein Brandszenario zur Prüfung von PV-Modulen seitlich von Fensteröffnungen abgeleitet.

Unter diesen verifizierten Versuchsbedingungen wurden Glas-Glas-PV-Module der Brandverhaltensklasse B als Bekleidung eines vorgehängten hinterlüfteten Fassadensystems geprüft (Schutzziele der OIB-Richtlinie 2.3), wobei keine Brandweiterleitung oder Abfallen von großen Teilen beobachtet werden konnte.

1.5 Ausblick

Diese Versuche können als Grundlage für Schlussfolgerungen bzw. in weiterer Folge für brand-schutztechnische Regelungen dienen, die die Anordnung von PV-Modulen an Fassaden von Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 32 m unter genau definierten Systemgrenzen betreffen.

Weiterführende Forschungsprojekte zum Thema PV-Modulen an Balkonen oder im Zusammenhang mit Fensterbändern und einer Anordnung von PV-Modulen direkt oberhalb von Außenwandöffnungen hoher Hochhäuser sind derzeit in Vorbereitung.

2 Summary

2.1 Initial situation

Through the Vienna Solar Power Offensive, the city of Vienna has set itself the goal of providing around 10 % of Vienna's electricity needs with solar power cover up in 2030.

In order to be able to make greater use of the potential of solar power, installation options for PV systems must be examined.

The option considered here is to mount PV modules on facades, which means there is little shade and no floor is sealed, and the orientation is not designed for midday.

However, due to the requirements of OIB Guideline 2.3, use on high-rise buildings with an escape level of more than 32 m is not permitted. A fire behaviour class A2 is required here, which is not possible due to the fire load of the synthetic films that are currently absolutely necessary.

In order to investigate the possibility of assembly without undermining the fire protection requirements, this research project was initiated by the municipal department 39.

2.2 Objective

The aim is to develop a test procedure for glass-glass PV modules based on ÖNORM B 3800-5 that reflects the temperature profile of the flames emerging through a window opening on the facade in the event of a room fire. The assumption for the fire is a living space with a floor area of 40 m² or 40 m² fire area, with an automatic extinguishing system with the protection goal of "preventing vertical flame transmission" in a building with an escape level of more than 32 m.

In order to achieve this, large-scale preliminary tests are required, as well as adapting the initial test arrangement according to ÖNORM B 3800-5 to the temperature distribution determined in the preliminary tests and then carrying out tests on glass-glass PV modules under these test conditions as a basis for further steps in developing fire protection goals and technical solutions to fulfil the building code requirements.

2.3 Methodology

A test arrangement and test procedure was defined here, which regulates the use of a wooden crib as a fire load, a fan for the air flow, ignition by isopropanol and the observations during the test.

The starting point were the general requirements of ÖNORM B 3800-5.

2.4 Results

Two real fire tests were carried out with fire loads typical for living spaces and sprinklers used in practice to determine the temperature development. From these results, a fire scenario was derived for testing PV modules on the side of window openings.

Under these verified test conditions, glass-glass PV modules of fire behaviour class B were tested, whereby no spread of fire or large parts falling off could be observed (protection targets of the OIB guideline 2.3).

2.5 Prospect

These tests can serve as a basis for conclusions and subsequently for fire protection regulations that concern the arrangement of PV modules on the facades of buildings with an escape level of more than 32 m.

Further research projects on the topic of PV modules on balconies or in connection with window strips and an arrangement of PV modules directly above external wall openings in high-rise buildings are currently being prepared.

3 Ausgangslage

Im Rahmen der Wiener Sonnenstrom-Offensive setzt sich die Stadt Wien das Ziel, im Jahr 2025 eine Solarstrom-Leistung von 250 MWp und im Jahr 2030 eine solche von 800 MWp zu erreichen und somit ca. 10 % des Strombedarfes von Wien mit Sonnenstrom zu decken [1]. Um dieses Ziel zu realisieren, ist es erforderlich, neben Freiflächen und Dachflächen weitere Aufstellmöglichkeiten für PV-Module zu nutzen.

Naheliegender ist, sich Gedanken zur Montage von PV-Modulen an Fassaden zu machen, insbesondere an Hochhausfassaden, da hier Fläche genutzt werden kann ohne Boden zu versiegeln, kaum Verschattung zu erwarten ist und die Ausrichtung nicht auf die Mittagszeit (Flachdach oder Schrägdach) abzielt und so zumindest zwei Leistungshochs möglich sind.

Die derzeit marktüblichen PV-Module bestehen aus Solarzellen (kristalline Schicht - eingebettet in Kunststofffolien), die für die Umwandlung des Lichts in elektrische Energie verantwortlich sind, sowie den elektrischen Leitern, einem Glas auf der Vorderseite zum Schutz und dem Rahmen. Der Rahmen kann bei sogenannten Glas-Glas-Modulen auch entfallen. Hier sind die PV-Zellen auf beiden Seiten von Gläsern umschlossen. Die Brandlast der unbedingt notwendigen Kunststofffolien, die zur Einbettung der Solarzellen dienen, verhindert eine Klassifizierung der Module in die Brandverhaltensklasse A2, wodurch der Einsatz an Hochhäusern mit einem Fluchtniveau von mehr als 32 m aufgrund der Vorgaben der OIB-Richtlinie 2.3 [2] nicht zulässig ist.

Um dieses Spannungsfeld zwischen notwendiger Montage von PV-Modulen an Hochhausfassaden im Sinne der Energiewende und der Unmöglichkeit dieser Montage aufgrund durchaus sinnvoller Brandschutzanforderungen wesentlich zu verkleinern, wurde dieses Forschungsprojekt von der Magistratsabteilung 39 angestoßen.

Anmerkung: Zum Zwecke der besseren Lesbarkeit wird in weiterer Folge der Begriff „Hochhaus“ in dieser Arbeit gleichgesetzt mit dem nach OIB-Richtlinie 2.3 gültigen Begriff „Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m“. Ist das Fluchtniveau entscheidend für die weiterführende Betrachtung, ist dieses explizit angegeben.

4 Zielsetzung

Ziel dieses Forschungsprojektes ist daher, in großmaßstäblichen Vorversuchen nach Festlegung gewisser Rahmenbedingungen (Ausgangspunkt: Hochhaus mit einem Fluchtniveau von mehr als 32 m, mit einer Löschanlage mit Schutzziel „Verhinderung der vertikalen Flammenübertragung“) einen Raumbrand zu erzeugen und das nach Austritt der Flammen durch eine Fensteröffnung an der Fassade entstehende Temperaturprofil zu ermitteln. Dieses soll in weiterer Folge am Laborprüfstand gemäß ÖNORM B 3800-5 [3] reproduzierbar nachgestellt, PV-Module diesem Prüfszenario ausgesetzt und die Ergebnisse dokumentiert werden.

Die Projektschritte gliedern sich dabei wie folgt:

1. Durchführung von Brandversuchen zur Ermittlung der Temperaturentwicklung an Fassadenoberflächen bei einem Fensterausbrand, die auch sonstige in Hochhäusern gemäß OIB-Richtlinie 2.3 geforderte Brandschutzmaßnahmen berücksichtigen, insbesondere automatische Löschanlagen (Sprinkleranlage)
2. Übertragung dieser Ergebnisse speziell was die angesetzte Brandlast betrifft auf den normgemäßen Prüfstand für Fassadenbrandprüfungen nach ÖNORM B 3800-5
3. Prüfung von Glas-Glas-PV-Modulen der Brandverhaltensklasse B in diversen, praxisnahen Anordnungen am Prüfstand nach ÖNORM B 3800-5 unter den zuvor verifizierten Versuchsbedingungen; falls notwendig: Entwicklung von konstruktiven Lösungen, damit die brandschutztechnischen Schutzziele an Fassaden erreicht werden können
4. Diskussion der Ergebnisse mit den Projektpartner*innen
5. Erarbeitung von strategischen Handlungsanleitungen zur Montage von Glas-Glas-PV-Modulen der Brandverhaltensklasse B an Hochhäusern unter Einbeziehung von zuvor ermittelten Rahmenbedingungen

Die Ergebnisse sollen bei erfolgreichem Forschungsabschluss helfen, Glas-Glas-PV-Module der Brandverhaltensklasse B an Fassaden von Hochhäusern mit einem Fluchtniveau von mehr als 32 m zu etablieren, ohne dabei die Schutzziele des Brandschutzes an Fassaden zu untergraben.

Einerseits könnte dadurch ein weiterer Mosaikstein für die erfolgreiche Umsetzung der Wiener Sonnenstrom-Offensive geliefert werden, andererseits wird die Vorreiterrolle der Stadt und ganz Österreich zu den die Gesellschaft bewegenden Themen unserer Zeit weiter ausgebaut (vgl. Brandschutz bei Fassadenbegrünungen).

Im deutschsprachigen Raum ist der Magistratsabteilung 39 kein ähnliches Forschungsvorhaben zum Thema bekannt.

5 Brandverhalten von PV-Modulen

5.1 Aufbau von PV-Modulen

Grob können PV-Module in zwei Hauptkategorien eingeteilt werden, in Glas-Glas-Module und Glas-Folie-Module, die jeweils in gerahmter und rahmenloser Form produziert werden.

Glas-Glas-Module zeichnen sich durch eine hohe Tragfähigkeit, guten Widerstand gegen Witterungseinflüsse, eine gute Wärmeabfuhr und höhere Langlebigkeit als Glas-Folie-Module aus, während Glas-Folie-Module im allgemeinen kostengünstiger sind und ein geringeres Gewicht aufweisen.

In dieser Arbeit werden nur Glas-Glas-Module betrachtet, aufgrund der jedenfalls brennbaren Rückseite von Glas-Folie-Modulen sind diese aufgrund des höheren Kunststoffanteils für ein Anbringen an Hochhaus-Fassaden egal welcher Höhe brandschutztechnisch grundsätzlich nicht geeignet.

Der prinzipielle Aufbau eines Glas-Glas-Moduls kann wie folgt skizziert werden:

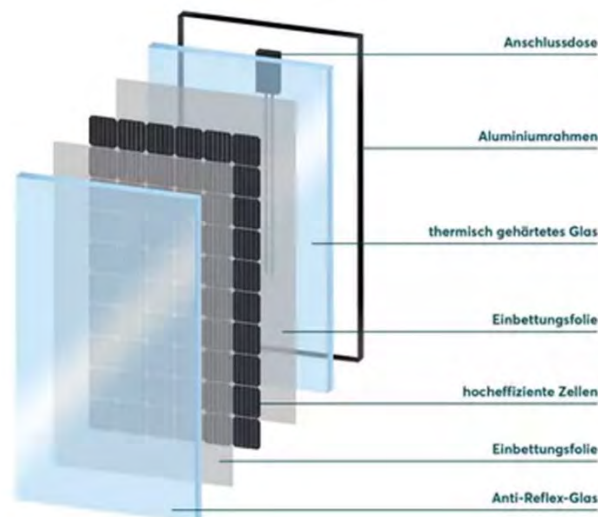


Abbildung 5-1: Schichtaufbau eines typischen PV-Moduls

Glastypen und -kombinationen bei Glas-Glas-PV-Modulen

(übliche Glasdicken reichen von 2 x 2 mm bis 2 x 12 mm, die Glasdicke wird durch die statischen Anforderungen bestimmt):

- Gussglas oder Floatglas
 - ESG –Einscheibensicherheitsglas
 - TVG – Teilvorgespanntes Glas
- jeweils auch in Kombination und auch mit Antireflex-Beschichtung (AR-Beschichtung)

Materialien für die polymere Einbettungsfolie:

- Polyvinylbutyral (PVB)
- Ethylen-Vinylacetat (EVA)
- Ionomer
- Polyolefin (POE oder TPO)

Übliche Schichtdicken betragen 0,76 mm je Einbettungsfolie.

Derzeit in Verwendung befindliche Zellen:

- Dickschicht PV-Module aus monokristallinem c-Silicium
- Dickschicht PV-Module aus polykristallinem c-Silicium
- Dünnschicht-PV-Module mit amorphem Silizium (a-Si)
- Dünnschicht-PV-Module mit Cadmium-Tellurid (CdTe)
- Dünnschicht-PV-Module mit Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS)

Die Anschlussdose aus Kunststoff ist in der Regel mit Silikon-Klebstoff mit dem Modul verklebt.

Rahmen (üblicherweise Aluminiumrahmen mit Rahmendichtband):

- Mit Rahmen: für dünnere Glasscheiben
- Ohne Rahmen: für dickere Glasscheiben

5.2 Montage von PV-Modulen an Fassaden

PV-Module werden an Fassaden standardmäßig als äußerste Schicht einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade angebracht.

Bei hinterlüfteten Fassaden handelt es sich um Fassaden mit einem Hinterlüftungsraum zwischen Wärmedämmung und Fassadenbekleidung bzw. bei ungedämmten Aufbauten zwischen tragendem Untergrund und Fassadenbekleidung.

Der Hinterlüftungsraum ist durch Zuluftöffnungen an der Unterseite und Abluftöffnungen an der Oberseite der Wand oder Wandabschnitte (z. B. geschoßweise Hinterlüftung) mit der Außenluft verbunden und ermöglicht dadurch einen ständigen Luftwechsel.

Vorgehängte hinterlüftete Fassaden bestehen aus (siehe folgende Abbildung):

- Bekleidungselement (Außenschicht)
- Hinterlüftungsraum
- Unterkonstruktion
- Befestigungselement
- Verbindungselement
- Verankerungselement
- gegebenenfalls Wärmedämmung
- gegebenenfalls Ergänzungsteil [4]

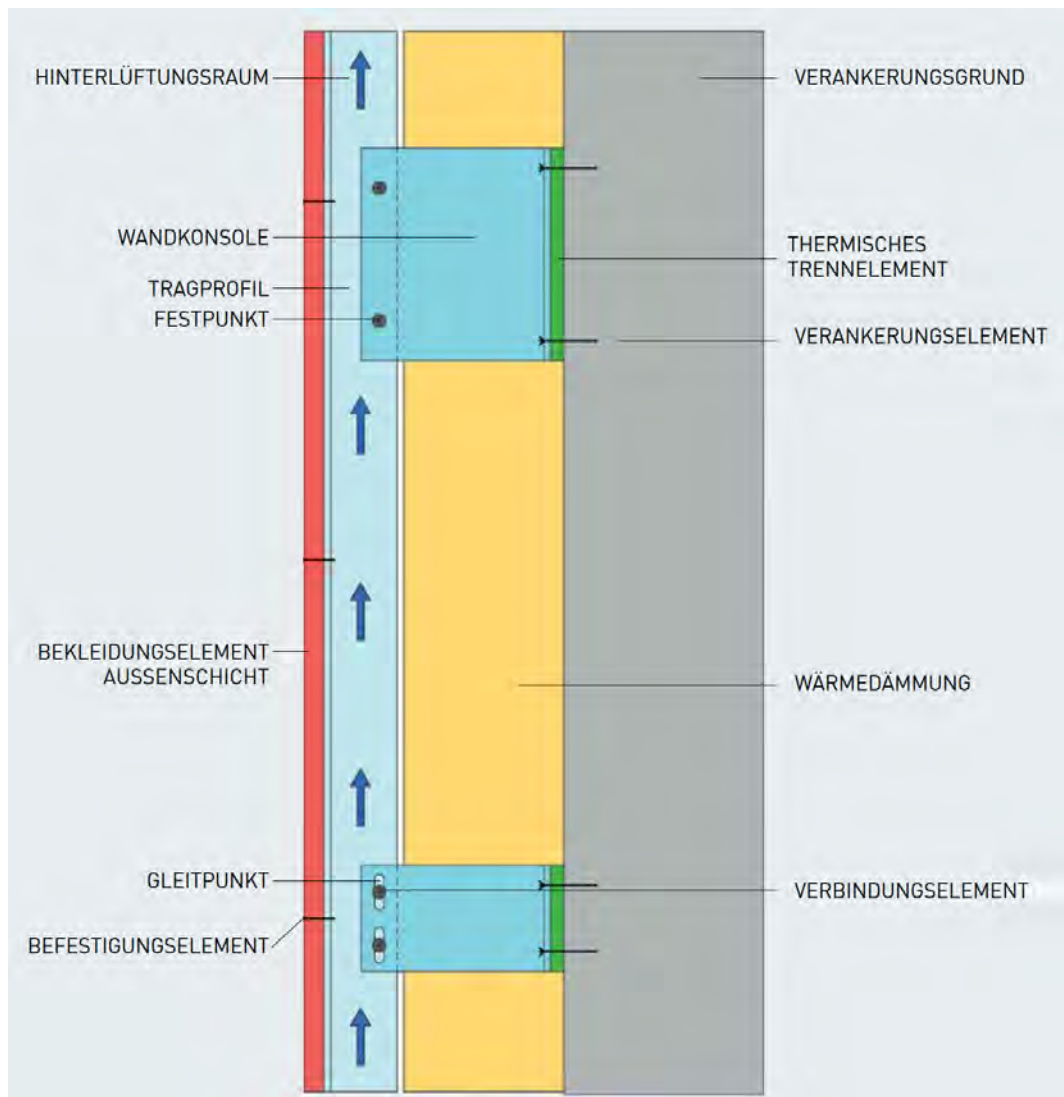


Abbildung 5-2: hinterlüftetes Fassadensystem (Prinzipskizze, aus [4])

Die wichtigsten Komponenten sind:

- Bekleidungselemente (Außenschicht, in diesem Fall Glas-Glas-PV-Module)
Die Außenschicht wird aus Elementen mit offenen oder geschlossenen Fugen oder aneinander stoßenden oder sich überdeckenden Elementen hergestellt. Sie dient dem Witterungsschutz und der Fassadengestaltung.
- Hinterlüftungsraum
Der Hinterlüftungsraum ist ein von Außenluft durchströmter Bereich zwischen der Innenseite der Bekleidungselemente und der Außenseite der Wärmedämmung. Dieser dient dem Feuchteschutz der dahinterliegenden Schichten, der Ableitung von Feuchtelasten von innen oder außen sowie der Ableitung des sommerlichen Wärmestaus. Die Hinterlüftungsspaltbreite beträgt bei den gängigen hinterlüfteten Fassadensystemen zwischen 40 mm und 100 mm.

- Unterkonstruktion
Unterkonstruktionen für vorgehängte hinterlüftete Fassaden können aus Metall, Holz oder faserverstärkten Kunststoffen und Kombinationen aus diesen Werkstoffen hergestellt werden. Die Unterkonstruktion dient dazu, die Bekleidungselemente mit dem Verankerungsgrund zu verbinden. Die Unterkonstruktion hat bei einer Montage an Hochhausfassaden aus metallischen Werkstoffen mindestens der Brandverhaltensklasse A2 zu bestehen. Eine metallische Unterkonstruktion ist auch bei PV-Modulen die übliche Montageweise.
- Befestigungselement
Befestigungselemente sind Elemente, die das Bekleidungselement an der Unterkonstruktion mechanisch durch Metallelemente oder mittels Kleben befestigen. In diesem Projekt waren die PV-Module mechanisch über Schienen gehalten.
- Wärmedämmung
Thermisch isolierende Schicht zwischen Verankerungsgrund und Hinterlüftungsraum; die Wärmedämmung kann – je nach Material – auch brand- und schallschutztechnische Funktionen erfüllen. Sie hat an einer Hochhausfassade mindestens der Brandverhaltensklasse A2 zu entsprechen.

5.3 Brandschutztechnische Eigenschaften von PV-Modulen

5.3.1 Brandverhalten

Die Grundlagen zur Prüfung des Brandverhaltens von PV-Modulen liegen – da es sich um eine hochbautechnische Anwendung handelt – in den einschlägigen Prüf- und Klassifizierungsnormen von Bauprodukten. Auch in elektrotechnischen Normen, zum Beispiel der OVE EN IEC 61730-2 [8], sind Brandprüfungen definiert; diese stellen oftmals jedoch nicht die Szenarien dar, die sich bei einem Brand im Hochbaubereich ergeben und können daher nicht als äquivalent zu den bewährten Prüfmethoden gesehen werden. Sie werden auch in dieser Arbeit nicht weiter beschrieben. Maßgeblich sind somit die Brandverhaltensklassen gemäß EN 13501-1 [6].

Viele der Komponenten von PV-Modulen sind grundsätzlich als „nichtbrennbar“ (mindestens der Brandverhaltensklasse A2 gemäß EN 13501-1 entsprechend) einzuordnen:

- die Glasschichten
- der Metallrahmen (abhängig von einer etwaigen Oberflächenbeschichtung und deren Brennwert)
- die Solarzellenebene

Verbleiben also nach Abbildung 5.1 insbesondere die Einbettungsfolien. Die Einbettungsfolien, egal ob aus EVA, PVB, POE oder TPO weisen einen relativ hohen Brennwert auf (in hausinternen Versuchen nach EN ISO 1716 [9] Verbrennungswärmen von 30 MJ/kg bzw. 20 MJ/m² und mehr). Das bedeutet, dass sie trotz ihrer geringen Dicke nicht unter die für die Brandverhaltensklasse A2 vorgesehene Grenze des Brennwertes von maximal 4,0 MJ/m² fallen (siehe Tabelle 1 der EN 13501-1) und damit eine Einstufung in diese Klasse nicht möglich ist.

Marktübliche Glas-Glas-PV-Module erreichen daher im Normalfall mit den angegebenen Dicken der Einbettungsfolien die Brandverhaltensklasse B. Im Vergleich dazu zeigt sich, dass Glas-Kunststoff-Module Brandverhaltensklassen von D oder schlechter aufweisen, sodass ihr Einsatz an Hochhausfassaden per se nicht realisierbar ist. Diese Klassifizierungen beruhen auf dem derzeitigen Stand der der MA 39 und dem IBS Linz bekannten Prüfdaten.

5.3.2 Verhalten in Großbrandversuchen

Hier zeigt die Prüferfahrung aus Prüfungen nach ÖNORM B 3800-5, dass PV-Module (montiert als Bekleidung einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade) immer dann zu einer unzulässigen Brandweiterleitung beitragen, wenn es aufgrund von Temperatureinwirkungen bzw. –spannungen zu einer Rissbildung oder gar einem Bruch der Glasschichten kommt. Dadurch gelangt die Temperatur zu den Einbettungsfolien, die rasch in Mitbrand geraten und dann oftmals vollflächig über die gesamte Modulgröße in „Vollbrand“ stehen. Es entstehen Flammen, die das darüber hängende Modul überstreichen und dort zu einer Rissbildung oder gar einem Bruch der Glasschichten beitragen. Somit kommt es dann zu einer Brandweiterleitung nach oben hin entlang der Fassade; im schlimmsten Fall sowohl an der Glasschicht an der Vorderseite als auch an jener im Hinterlüftungsspalt. Ein positives Prüfergebnis ist dann nicht mehr möglich.

Derzeit entwickeln Modulhersteller*innen/Fassadensystemanbieter*innen konstruktive Lösungen, wie die Temperatur im Brandfall von den Modulen abgelenkt werden kann. Diese beziehen sich – ähnlich wie bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden mit anderen Bekleidungen – auf geschoßweise bzw. im Fenstersturzbereich montierte auskragende Brandabschottungen aus Stahlblech, die bei einem Fensterausbrand ein Ablenken der Flammen nach vorne und weg von den Modulen bewirken, sodass es eben nicht zu einer zu großen thermischen Beanspruchung der Glasschichten kommt. Derartige Konstruktionen befinden sich gerade in Prüfung und die ersten Ergebnisse lassen es realistisch erscheinen, dass mit geschoßweisen auskragenden Brandabschottungen – ähnlich wie bei sonstigen vorgehängten hinterlüfteten Fassaden – positive Resultate in Prüfungen nach ÖNORM B 3800-5 erzielt werden.

6 Brandschutztechnische Anforderungen an Fassaden in Österreich

6.1 Brandszenarien an Fassaden

Prinzipiell werden drei Szenarien beschrieben, wie es zu einem Brand an einer Fassade kommen kann [4]:

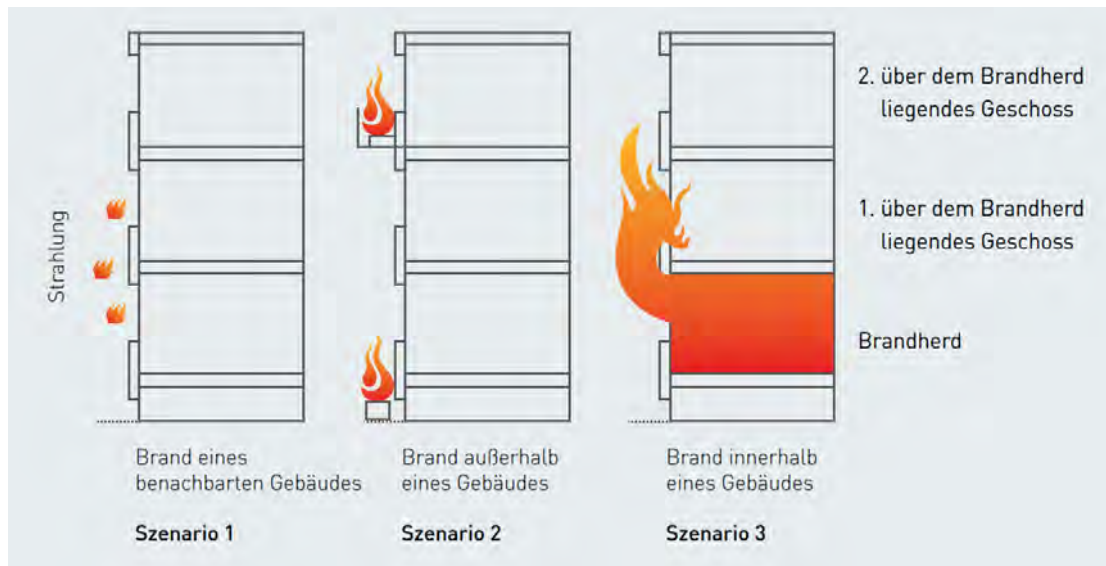


Abbildung 6-1: Brandzenarien an einer Gebäudeaußenwand (Prinzipiskizze, aus [4])

- Ausbreitung eines Brandes auf die Fassade durch Strahlung eines Brandes eines benachbarten Gebäudes
- Ausbreitung eines Brandes auf die Fassade von einer Brandquelle, die sich neben der Fassade befindet (z. B. Brand auf einem Balkon oder einer Mülltonne oder eines vor der Fassade geparkten Autos)
- Brand, der in einem Raum im Inneren des Gebäudes ausgebrochen ist und sich durch Öffnungen in der Fassade (Fenster, Türen usw.) auf die Fassade ausbreitet.

In Bezug auf den häufigsten Fall, einem Zimmerbrand, wurde festgestellt, dass Flammen, die auf die Fassade treffen, Längen von bis zu 5 Metern über dem Rand der Öffnung (d.h. zwei Stockwerke über der Brandquelle) aufweisen, unabhängig vom Fassadensystem und den verwendeten Materialien. Die Flammenlänge hängt dabei ab von der Brandlast, der Größe und der Geometrie der Fenster. In weiterer Folge spielt die Brandausbreitung über das Fassadensystem eine entscheidende Rolle, die vor allem von den brandschutztechnischen Eigenschaften der Außenbekleidung beeinflusst wird.

Zu den Hauptfaktoren, die die Brandausbreitung über eine Fassade charakterisieren, gehören daher:

- Brandverhaltensklasse der Materialien des Fassadensystems
- Vorhandensein von Lufträumen, die Teil des Fassadensystems sind. Wenn Flammen in einen Luftraum eindringen, können sie sich aufgrund des Kamineffekts um das bis zu 10-fache ihrer ursprünglichen Länge ausdehnen, unabhängig von den Eigenschaften der Materialien. Dieser Effekt kann zu einer schnellen vertikalen Brandausbreitung führen, die unter der Fassadenverkleidung "versteckt" ist.

Basierend auf diesen allgemeinen Mechanismen eines Fassadenbrandes hat Österreich daher die folgenden Regelungen im brandschutztechnischen Bereich formuliert.

6.2 Brandschutztechnische Anforderungen an (Hochhaus-) Fassaden

In den OIB-Richtlinien 2 [5] und 2.3 (Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m) sind sowohl Anforderungen an das Brandverhalten als auch an die wirksame Einschränkung der Brandweiterleitung entlang der Fassade sowie an die wirksame Einschränkung des Herabfallens großer Fassadenteile gestellt.

Da sich die vorliegende Arbeit mit Fassaden im Hochhausbereich beschäftigt, beschränken sich die weiteren Ausführungen auf die Anforderungen aus der OIB-Richtlinie 2.3.

Selbstredend schicken die OIB-Richtlinien voraus, dass Photovoltaikanlagen entsprechend dem Stand der Technik sicher geplant, errichtet und geprüft werden müssen, und verweisen für den Schutz der Einsatzkräfte auf die OVE-Richtlinie R 11-1 (PV-Anlagen – Zusätzliche Sicherheitsanforderungen, Teil 1: Anforderungen zum Schutz von Einsatzkräften [10]). Diese wird in dieser Arbeit ebenso wenig beleuchtet wie sonstige elektrotechnische Eigenschaften, die brandschutztechnischen Überlegungen fokussieren auf die baulichen Ausführungen.

6.2.1 Anforderungen an das Brandverhalten

Die Tabelle 1 der OIB-Richtlinie 2.3 gibt in Zeile 1.2 die Anforderungen an das Brandverhalten vorgehängter hinterlüfteter Fassadensysteme vor. Die Brandverhaltensklassen beziehen sich auf die europäische Norm EN 13501-1.

1.2 Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete		
1.2.1	Gesamtsystem <i>oder</i>	A2-d1
1.2.2	Einzelkomponenten	
	- Außenschicht	A2-d1
	- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	A2 / A2
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2

Abbildung 6-2: Anforderungen an das Brandverhalten von hinterlüfteten Fassadensystemen (Auszug, aus [2])

Das bedeutet also, dass alle Komponenten mindestens der Klasse A2 entsprechen müssen, was in der Regel für die Unterkonstruktion den Werkstoff Metall nach sich zieht und für die Dämmschicht den Werkstoff Mineralwolle.

Da – wie zuvor ausgeführt – marktübliche PV-Module maximal die Brandverhaltensklasse B erreichen, ist somit eine Anordnung derartiger Module an Hochhausfassaden zunächst ausgeschlossen.

6.2.2 Anforderungen an die wirksame Einschränkung der Brandweiterleitung

Gemäß Punkt 2.3.1 der OIB-Richtlinie 2.3 sind Fassaden (z.B. Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete Fassaden) so auszuführen, dass bezogen auf das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß eine Brandweiterleitung über die Fassade und das Herabfallen großer Fassadenteile wirksam eingeschränkt wird.

Diese Anforderung wird jedenfalls erfüllt, wenn ein positiver Prüfbericht einer hierfür akkreditierten Prüfstelle gemäß ÖNORM B 3800-5 vorliegt. Hier kann auf eine nationale Prüfnorm zurückgegriffen werden, da noch keine europäisch harmonisierte Norm für die brandschutztechnische Prüfung von Fassaden vorliegt.

Aufgrund der Ausführungen in 5.3.2 wird diese Anforderung eine geringere Hürde darstellen, positive Prüfungen nach ÖNORM B 3800-5 werden in Kürze vorliegen.

6.2.3 Anforderungen speziell für PV-Module

In der aktuellen Version der OIB-Richtlinie 2.3 aus dem Mai 2023 werden erstmals speziell auf PV-Module abgestimmte Anforderungen gestellt. Diese lauten in Punkt 2.18.1 wie folgt:

- a) Bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 32 m sind in Bereichen, bei denen ein Löschangriff von außen möglich ist, Photovoltaik-Module in Brandverhaltensklasse B-d1 ausreichend. Anderenfalls müssen sie Punkt 1.4 der Tabelle 1 (*Anmerkung: das sind sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge, Anforderung A2-d1*) entsprechen.
- b) Bezogen auf das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß muss eine Brandweiterleitung und das Herabfallen großer Photovoltaik-Modulteile wirksam eingeschränkt werden.
- c) Entsteht durch die Photovoltaikanlage ein Hinterlüftungsspalt, so ist eine geschoßweise Abschottung des Hinterlüftungsspalts erforderlich; anderenfalls sind die zutreffenden Anforderungen für das gesamte System einschließlich der Photovoltaik-Module einzuhalten.

Dies entschärft nun ein wenig die Anforderungen an das Brandverhalten, die im Kapitel 6.2.1 geschildert wurden, da nun marktübliche PV-Module der Brandverhaltensklasse B in „niedrigen Hochhäusern“ eingesetzt werden dürfen, wenn ein Löschangriff von außen möglich ist.

„Hohe Hochhäuser“, die, wie eingangs erwähnt, wohl der Hauptmarkt für PV-Fassadenmodule wären, sind jedoch weiterhin nicht belegbar. Das führt also wieder zum Ausgangspunkt dieser Forschungsarbeit.

Nun besteht für diese hohen Hochhäuser, also Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 32 m nach Punkt 4.4 der OIB-Richtlinie 2.3 die zusätzliche Anforderung, dass zumindest die Errichtung einer automatischen Löschanlage mit dem Schutzziel „Verhinderung der vertikalen Flammenübertragung“ notwendig ist. Da diese unmittelbaren Einfluss auf den Raumbrand und dadurch auf das Austreten der Flammen aus dem Raum durch die Fensteröffnung an die Fassade nimmt, ist nun im ersten Projektschritt zu klären, welche Temperaturen an der Fassade bei einem derartigen Brandszenario unter Einbeziehung dieser automatischen Löschanlage zu erwarten sind.

7 Brandszenario Fensterausbrand bei automatischer Löschanlage

Durch ein geeignetes Brandszenario sollen für Räume, die mit einer Löschanlage zur Verhinderung des vertikalen Flammenüberschlags ausgestattet sind, in einem Brandversuch Temperaturen an der Außenfassade bei einem Austritt dieses Brandes auf die Fassade ermittelt werden.

7.1 Angenommenes Brandszenario

In Zusammenarbeit mit ADSUM Brandschutz- & Sicherheitsconsult und IBS – Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung wurden folgende auf [7] und Erfahrung basierende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Brand eines Wohnraums mit 40 m² Grundfläche bzw. 40 m² Brandfläche
 - Brandlast 1085 MJ/m² (entsprechen 300 kWh/m²)
 - Spezifische Brandleistung 310 kW/m²
- Löschanlage mit Schutzziel „Verhinderung der vertikalen Flammenübertragung“
 - Die Löschanlage deckt einen Bereich nahe der Fassadenöffnung ab, welcher nicht signifikant zum Brandgeschehen beiträgt. Ein Sprühradus von 1,5 m wurde angenommen.
 - Daraus resultierend wird eine Brandfläche im Raum mit 35 m² zum Brand und somit zur Energiefreisetzung betragen.
 - 35 m² x 310 kW/m² ergibt somit eine maximale Brandleistung von 10.850 kW.

7.2 Brandlasten, Brandleistungen

Der unter 7.1 festgelegte Brand soll mittels gestapelten Holzpaletten nachgestellt werden:

- bei einer Lagerhöhe von 0,5 m ist in [7] eine max. spez. Wärmefreisetzungsrate 1.249 kW/m² angegeben.
- bei einer Lagerhöhe von 1,5 m ist in [7] eine max. spez. Wärmefreisetzungsrate 3.745 kW/m² angegeben.

Diese Werte lassen darauf schließen, dass zwischen der Lagerhöhe und der Wärmefreisetzungsrate im relevanten Höhenbereich ein linearer Zusammenhang besteht und, dass somit interpoliert werden kann.

Im Brandversuch wurde die Brandleistung von 10.850 kW durch 6 Palettenstapel mit einer Gesamtgrundfläche von 5,8 m² umgesetzt. Es handelte sich um 6 Stapel mit jeweils 6 Paletten übereinander und um eine Stapelhöhe von 0,9 m.

Die spezifische maximale Brandleistung für einen Palettenstapel von 0,9 m ergibt ~ 2.248 kW/m². Die maximale gesamte Brandleistung ergäbe folglich 13.040 kW, falls eine ausreichende Sauerstoffzufuhr gegeben ist.

Der oberhalb definierte Brand eines Wohnraumes mit einer aktiven Fläche von 35 m² kann somit durch den Palettenstapel auf der sicheren Seite abgedeckt werden.

7.3 Sprinkler

Die Ausführung der automatischen Löschanlage mit dem o.a. Schutzziel erfolgt durch Montage zweier Schirmsprinkler, hängend:

- K-Faktor: $k = 80$
- Druck am Sprinkler: $p = 0,35 \text{ bar}$
- Auslösetemperatur: 68 °C
- RTI Wert: 80

7.4 Brandversuch

7.4.1 Aufbau und Ausstattung des Brandraums

Als Versuchsraum dienen 2 längsseitig zu einem Raum zusammengestellte 20-Fuß-Schiffscontainer, bei denen an der Vorderseite Fensteröffnungen angeordnet sind, und die innen mit Feuerschutzplatten in der Klassifikation EI30 (Typ Promatect) geschützt sind. An der Rückseite befinden sich zwei Zuluftöffnungen mit einer geometrisch freien Fläche von $2,2 \text{ m}^2$ (was die Zuluftsituation über z.B. eine geöffnete Wohnungstür abbilden soll).

Die Größe der Zuluftöffnung ist so angesetzt, dass es zu einem unterventilierten Brand und somit zum Austritt von unverbrannten Brandgasen aus den Fensteröffnungen kommt. In weiterer Folge kommt es zur Zündung der Brandgase vor der Fassade und zu einer entsprechend hohen Temperatureinwirkung in diesem Bereich. Dieses Verhalten (Flammen vor einer Fensteröffnung) ist auch bei realen Brandfällen oftmals zu beobachten.

Die Maße des 20-Fuß-Schiffscontainers betragen: $6.055 \times 2.435 \times 2.591 \text{ mm}$ (L x B x H) in der Standardausführung.

Daraus ergibt sich ein Raum mit einer Fläche von ca. $27,6 \text{ m}^2$.

An der offenen Vorderseite sind innen im Container symmetrisch 2 Sprinkler an der Decke angebracht. Der Abstand der Sprinkler von den Fensteröffnungen beträgt ca. 30 cm von der Vorderkante, der Abstand der Sprinkler zueinander beträgt 2,0 m.

Die Einweg-Paletten wurden auf einer Brandwaage ($3 \times 1,4 \text{ m}$, mittels Schienensystem auf $3,6 \text{ m} \times 1,6 \text{ m}$ erweitert) aufgelegt.

7.4.2 Eckdaten des Brandversuches

Brandlast:

Verwendete Einwegpaletten:	36 Stück, aufgestapelt auf 6 Stapeln zu je 6 Stück
Gesamtgewicht der Paletten:	496 kg
Fläche der gestapelten Paletten:	$3,6 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} = 5,8 \text{ m}^2$
Fläche Zuluft:	2 Öffnungen zu je $1,0 \times 1,1 \text{ m}$ (H x B) (an Containerrückseite)
Zündquelle:	1 Liter Ethanol in einer Blechwanne (26 cm x 26 cm)

Aufbau simulierte Fassade:

Stahlunterkonstruktion mit „vorgehängten hinterlüfteten“ Gipsplatten der Brandverhaltensklasse A1
(7,60 m x 7,30 m (H x B))

Thermoelemente:

Typ:	Nickel-Chrom/Nickel-Aluminium-Draht (Typ K), gemäß EN 60584-1,
geforderte Präzision:	$\pm 4 \text{ K}$
Abstand zur Fassade:	ca. 1 cm

Sprinkler:

2 Stück Sprinklerköpfe K80 mit 80 l/min ausgelöst über Phiolen bei einer Auslösetemperatur von 68 °C, Abstand zur Fensteröffnung 30 cm.

Fensteröffnung in der Fassade:

2 Stück mit je $1,50 \text{ m} \times 1,20 \text{ m}$ (B x H)

7.4.3 Anordnung der Thermoelemente auf der Fassade

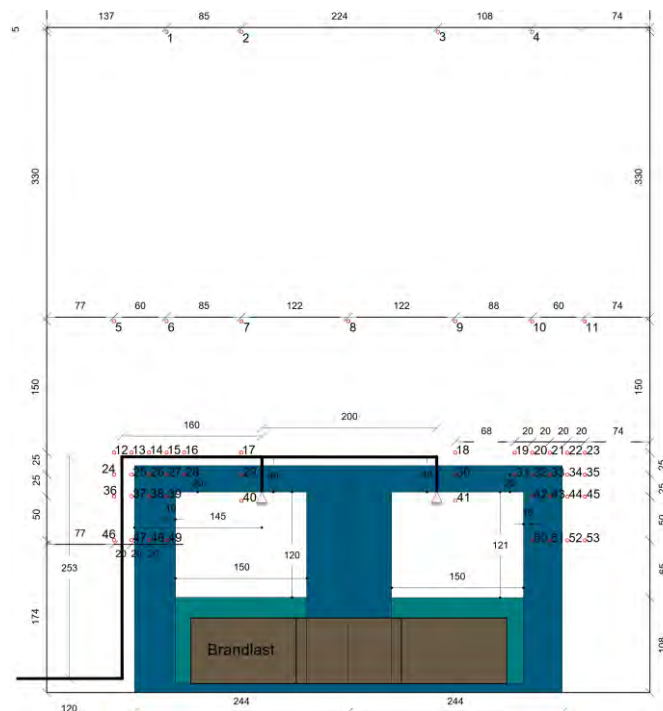


Abbildung 7-1: Temperaturmessstellennetz zur Ermittlung der thermischen Beanspruchung der Fassade

Die Temperaturmessung wurde in den Bereichen der Ecken des Sturzbereiches (Bereich A und Bereich B) konzentriert, um so den relevanten Temperaturverlauf in Abhängigkeit des Abstandes zu den Fensteröffnungen zu ermitteln.

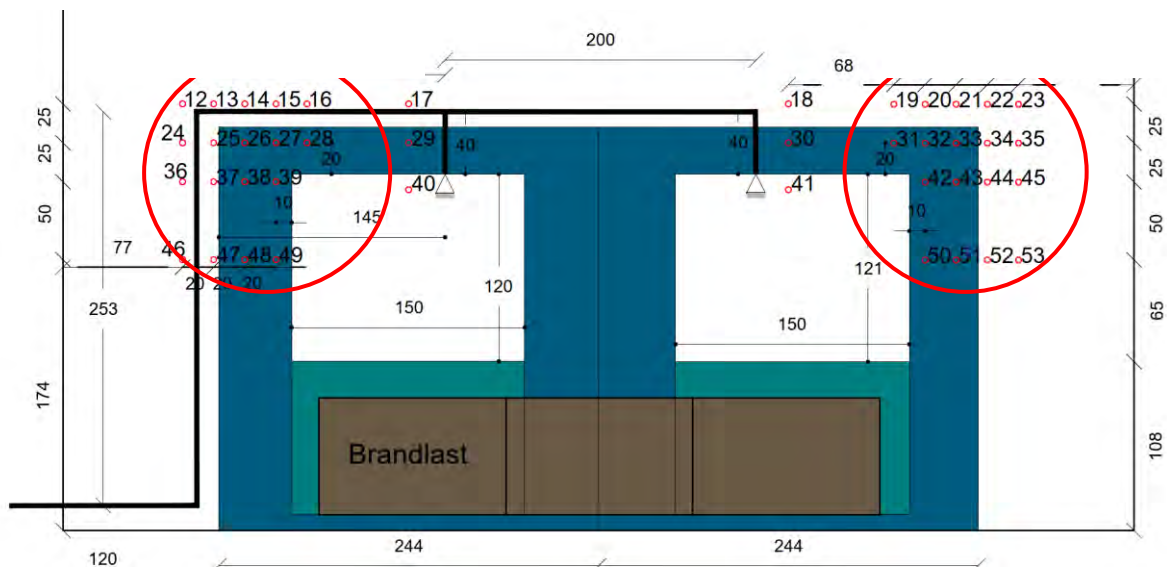


Abbildung 7-2: Ansicht Fassade – Detail Temperaturmessstellen in den Bereichen um die simulierten Fensteröffnungen

7.4.4 Fotodokumentation



Abbildung 7-3: Aufbau der Fassade



Abbildung 7-4: Position eines Sprinklers



Abbildung 7-5: Brandlast im hinteren Raumteil abgebildet durch gestapelte Einwegpaletten



Abbildung 7-6: Versuchsdurchführung (der Flammenaustritt am Fenstersturz ist ersichtlich)



Abbildung 7-7: Ansicht des Brandraums von hinten mit den beiden Zuluftöffnungen



Abbildung 7-8: In Brand setzen des Ethanols in einer Wanne unter dem Palettenstapel

7.4.5 Ergebnisse

7.4.5.1 Brandversuch vom 27. Juni 2023

Die folgenden Diagramme zeigen die Temperaturverläufe in den Bereichen A, B und dem Sturzbereich der beiden Öffnungen sowie im Brandraum selbst, jeweils in Abhängigkeit der Versuchsdauer.

Der erste Sprinkler im Innenraum hat 3 Minuten 30 Sekunden nach der Entzündung ausgelöst.

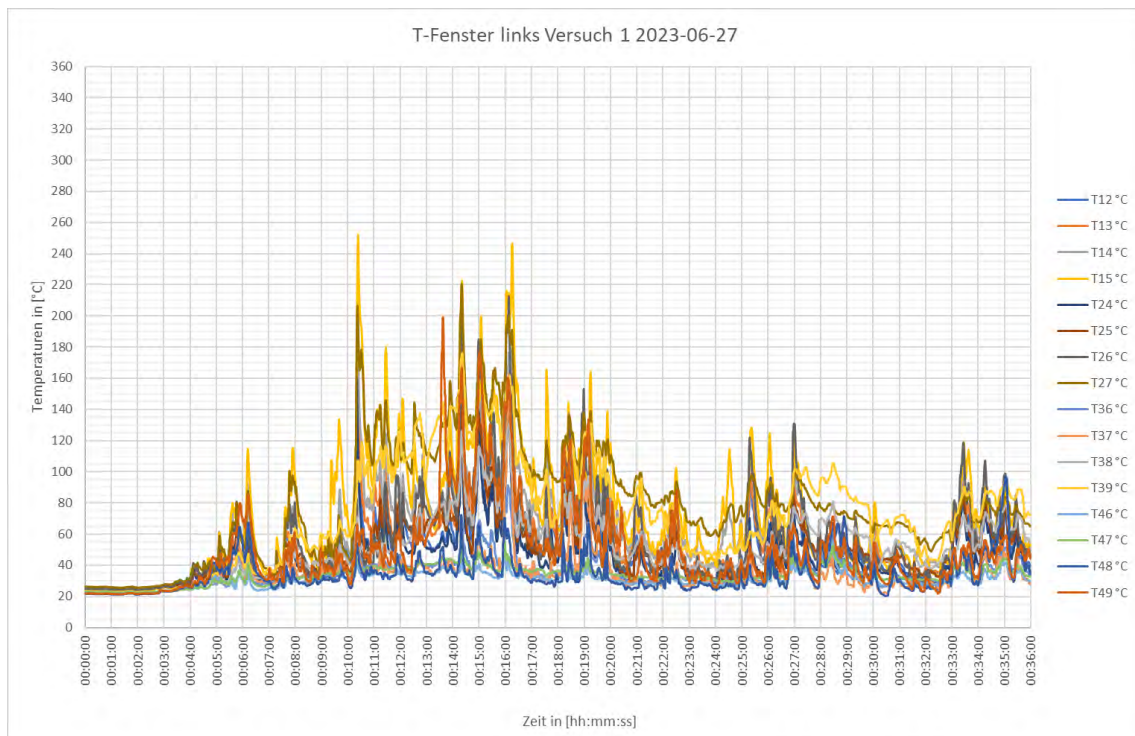


Abbildung 7-9: Temperaturen in [° C] gemessen im Bereich A

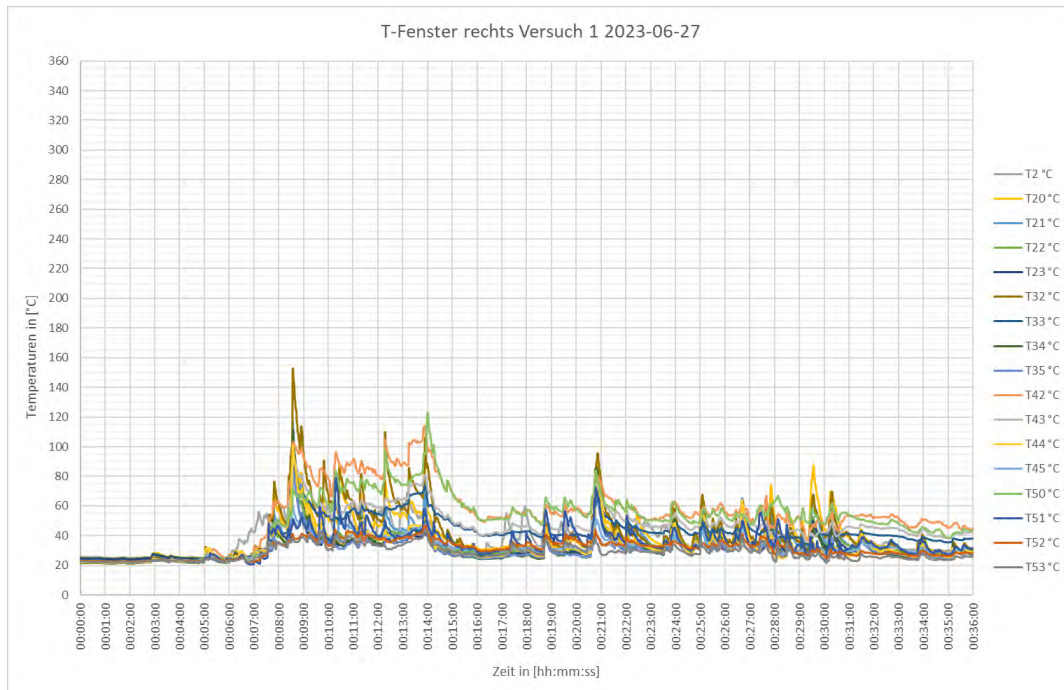


Abbildung 7-10: Temperaturen in [° C] gemessen im Bereich B

Hinweis zu den deutlich geringeren Temperaturen im Bereich B:

Es herrschte ein leichter, von vorne auf die Fensteröffnungen einwirkender Seitenwind, der die heißen Rauchgase während der Versuche in Richtung des Bereiches A ablenkte.

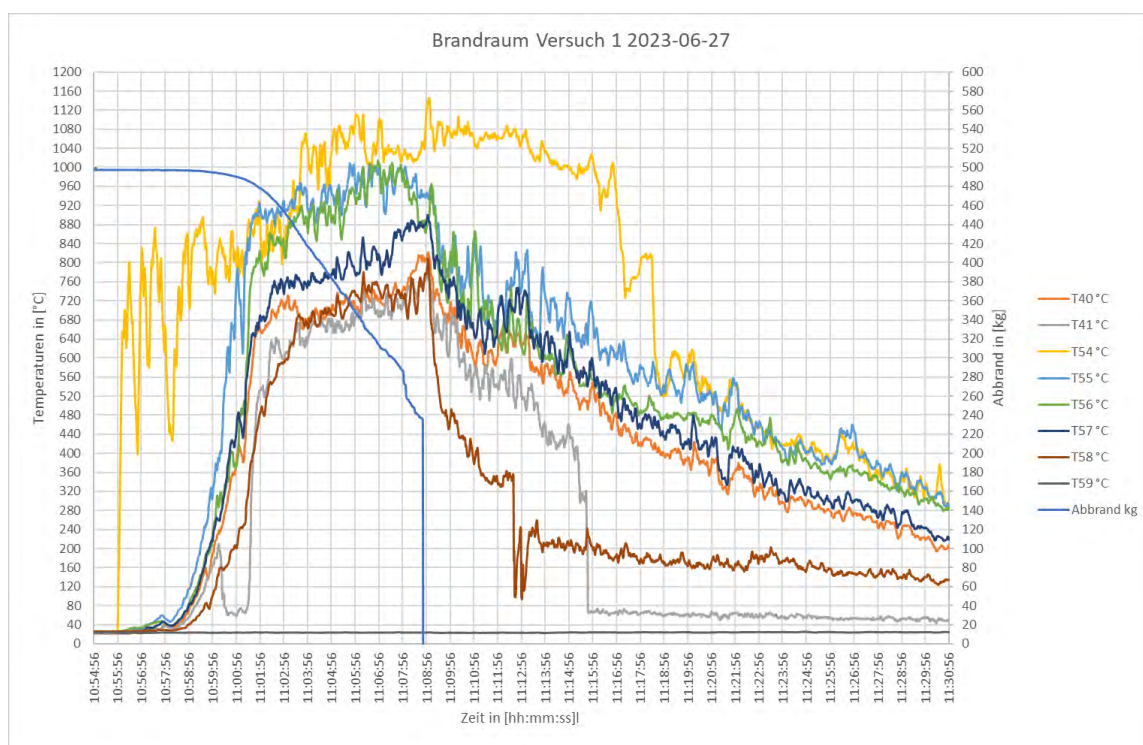


Abbildung 7-11: Temperaturen in [° C] gemessen im Brandraum (Die Brandwaage zur Bestimmung des Abbrandes versagte ab der 14. Minute des Versuches.)

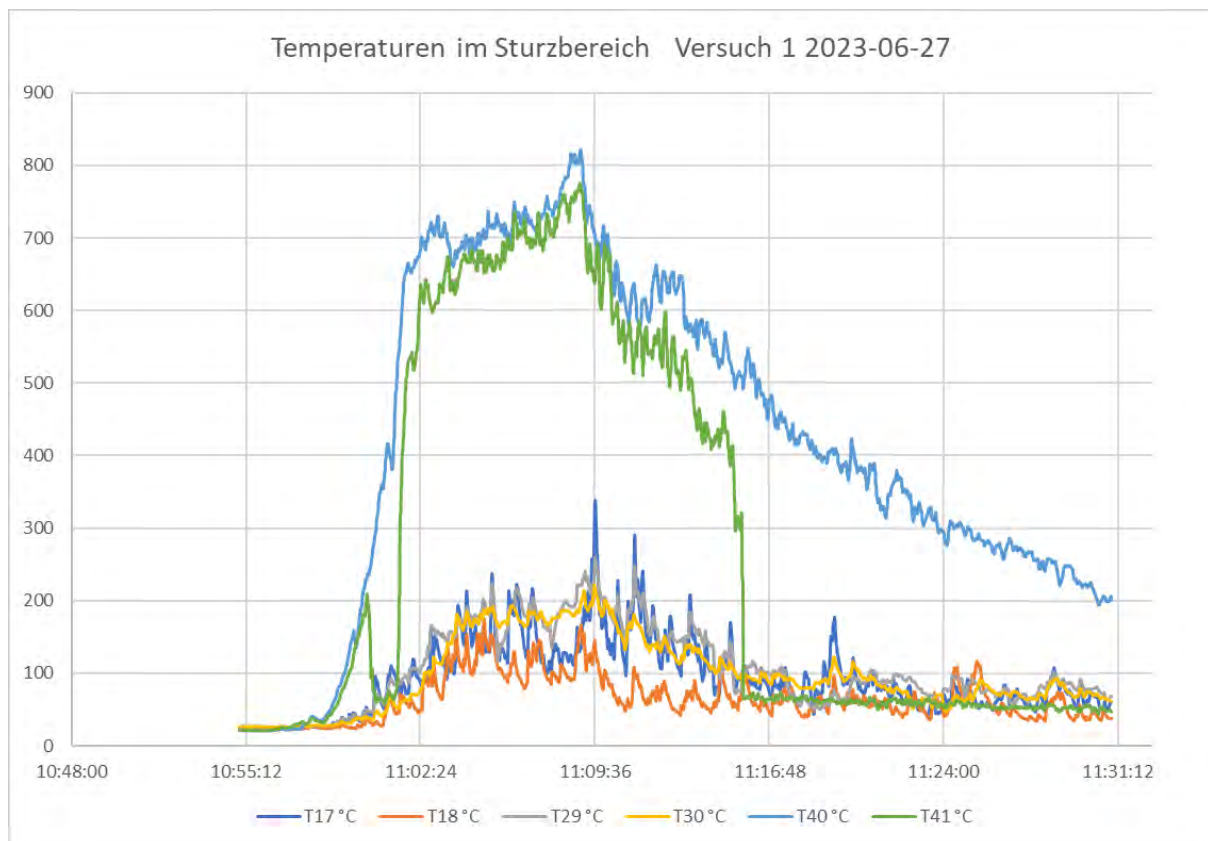


Abbildung 7-12: Temperaturen in [°C] gemessen im Sturzbereich

Die maximalen Temperaturen im Sturzbereich der Fenster betrugen bis zu 800 °C, gemessen wurden diese an den beiden Messpunkten 40 und 41. Im Brandraum betrugen die maximalen Temperaturen bis zu 1100 °C.

7.4.5.2 Brandversuch vom 28. Juni 2023

Im Sinne einer Doppelbestimmung der Versuchsergebnisse wurde am folgenden Tag nach Abkühlen des Versuchsraumes ein identischer Versuch durchgeführt.

Die folgenden Diagramme zeigen wiederum die Temperaturverläufe in den Bereichen A, B und dem Sturzbereich der beiden Öffnungen sowie im Brandraum selbst, jeweils in Abhängigkeit der Versuchsdauer.

Der erste Sprinkler im Innenraum hat 4 Minuten 05 Sekunden nach der Entzündung ausgelöst.

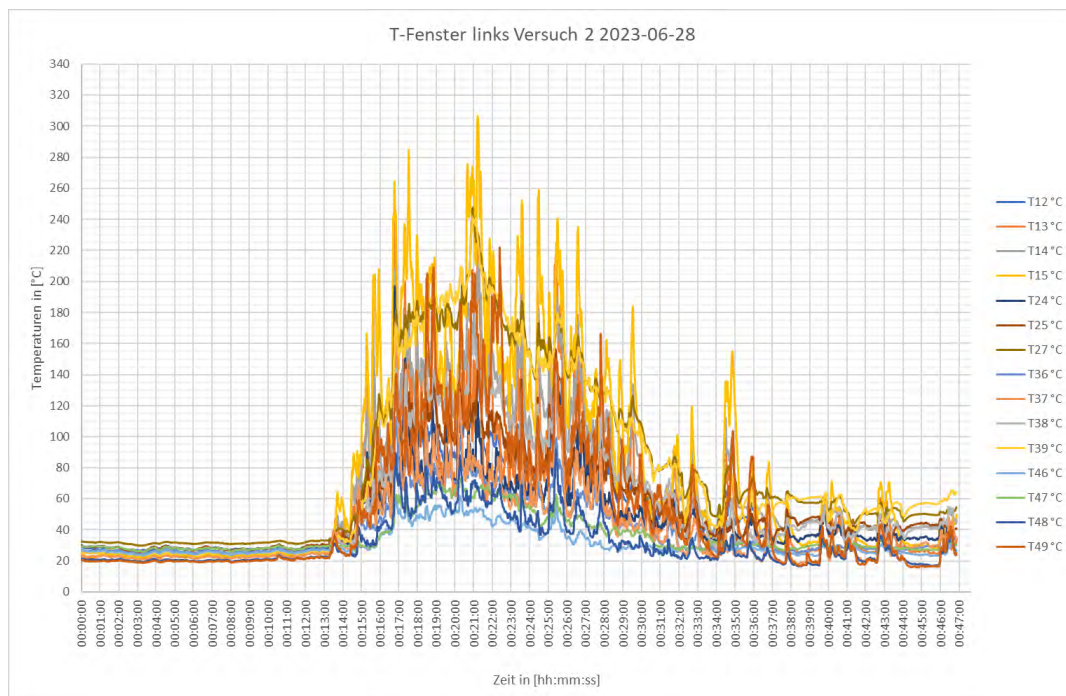


Abbildung 7-13: Temperaturen in [°C] gemessen im Bereich A

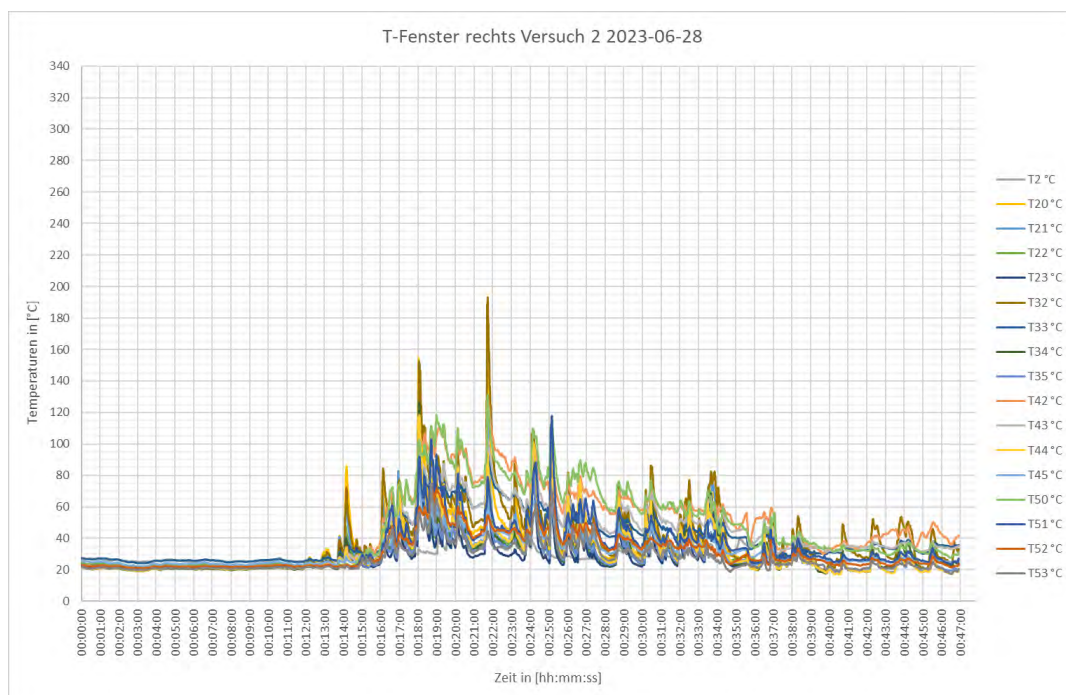


Abbildung 7-14: Temperaturen in [°C] gemessen im Bereich B

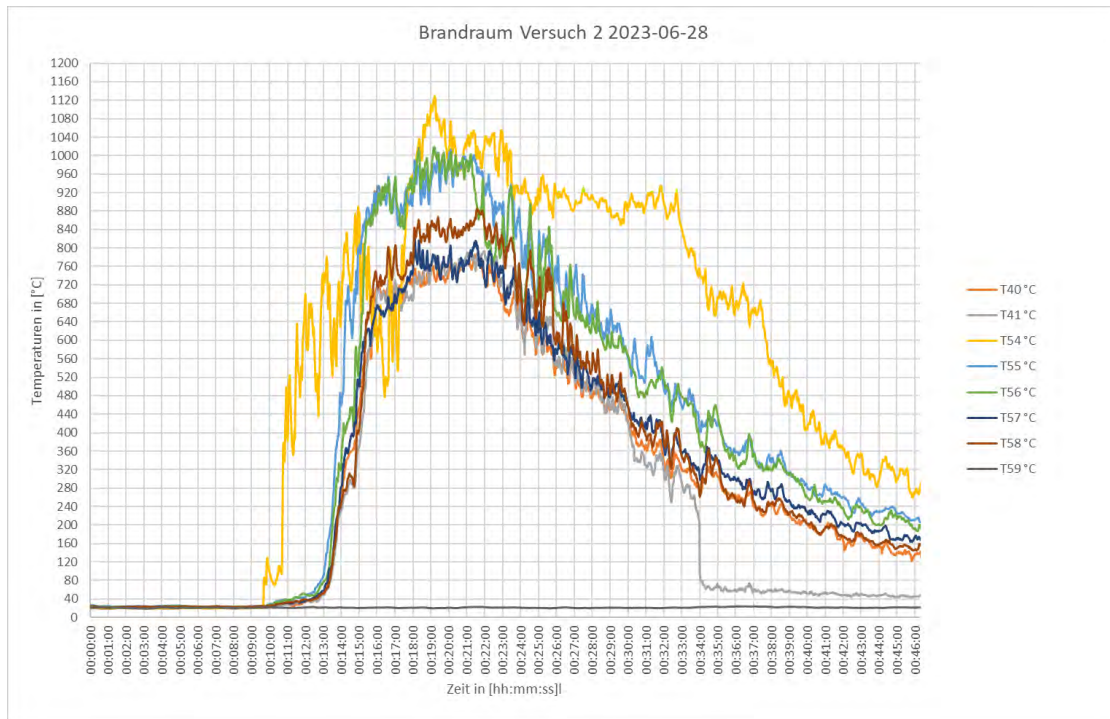


Abbildung 7-15: Temperaturen in [° C] gemessen im Brandraum

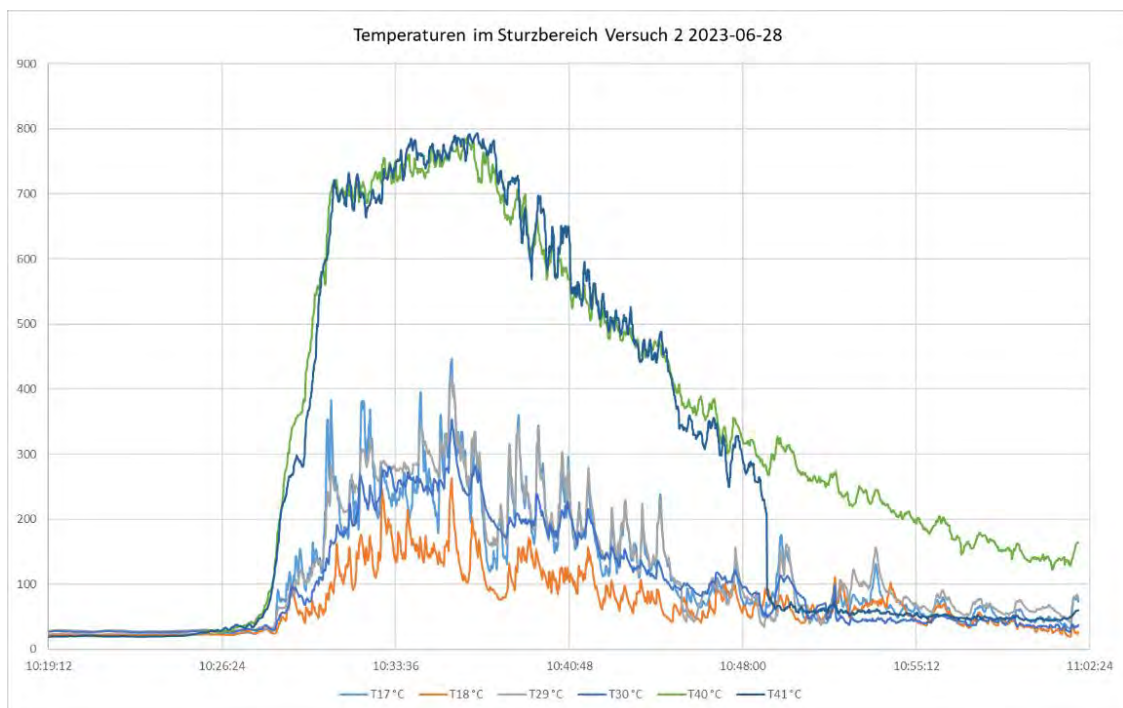


Abbildung 7-16: Temperaturen in [° C] gemessen im Sturzbereich

Die maximalen Temperaturen im Sturzbereich der Fenster betrugen bis zu 800 °C, gemessen wurden diese an den beiden Messpunkten 40 und 41. Im Brandraum betrugen die maximalen Temperaturen bis zu 1100 °C.

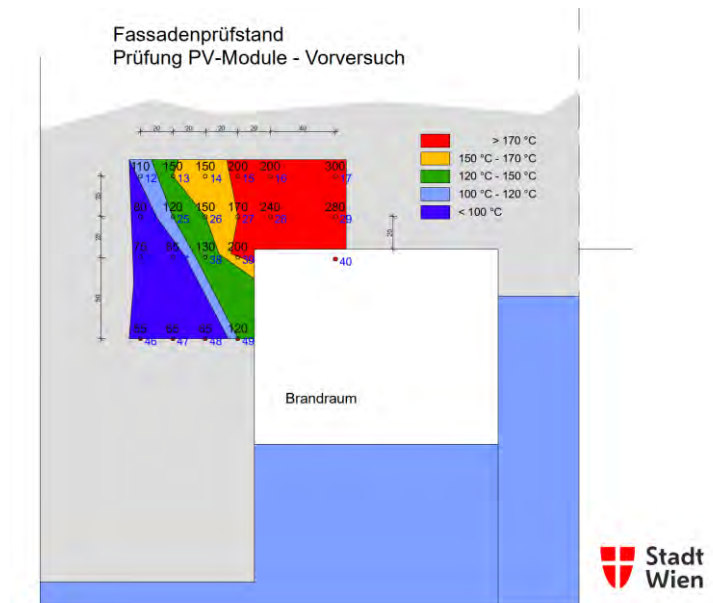


Abbildung 7-17: Temperaturverteilung an der Fassade - Brandversuch vom 27. Juni 2023

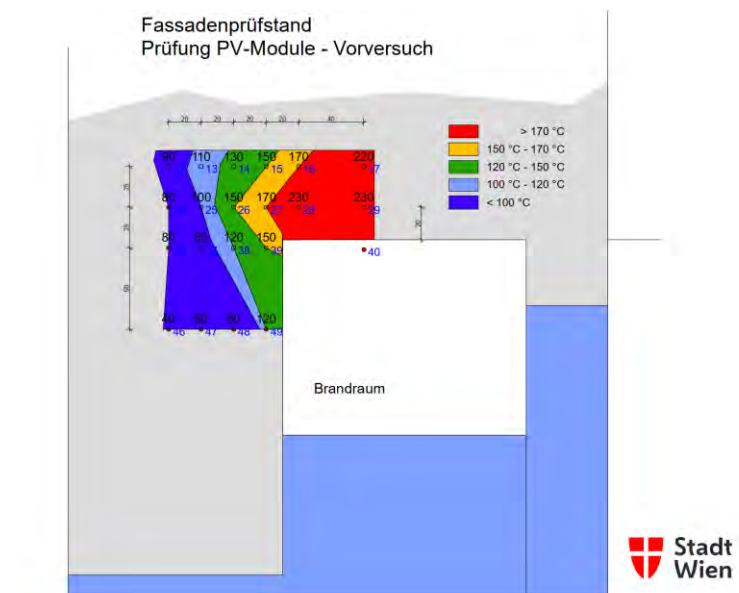


Abbildung 7-18: Temperaturverteilung an der Fassade - Brandversuch vom 28. Juni 2023

Aufgrund der festgestellten Temperaturen im Sturzbereich von über 800 °C, die – ohne zusätzliche konstruktive Vorkehrungen – wiederum zu derartigen thermischen Belastungen bzw. Spannungen im Glas führen, dass die Phänomene nach Kapitel 5.3.2 zu erwarten sind, konzentriert sich die weitere Vorgehensweise auf die Bereiche neben bzw. zwischen den Öffnungen (Fenster) in der Fassade. Es gilt das Ziel, dazu eine Prüfanordnung zu entwickeln, die die Temperaturen dieser beiden zufriedenstellend übereinstimmenden Brandversuche wiedergibt und als Grundlage für weitere Brandversuche mit PV-Modulen dient.

8 Festlegung eines Prüfverfahrens

Ziel ist es, ein Prüfverfahren zu entwickeln, welches die Temperaturen aus den Realbrandversuchen in Kapitel 7 für Bereiche neben Fenstern auf der sicheren Seite abdeckt. Die Bereiche oberhalb von Öffnungen (über dem Sturz) werden nicht weiter betrachtet und für diese Bereiche können die in Folge erarbeiteten Ergebnisse auch nicht angewandt werden, da dort die Temperaturen über mehrere Minuten über 700 °C betragen.

Zweckmäßigerweise wurde danach getrachtet, ein Prüfverfahren in Anlehnung an die ÖNORM B 3800-5, die die relevante nationale Prüfnorm für Fassadenbrandprüfungen darstellt, zu entwickeln. In diesem Fall wird der Prüfkörper auf einem witterungsunabhängigen Versuchsstand analog dem originalen Einbauzustand angebracht und durch eine bestimmte Brandlast bei natürlichen Lüftungsbedingungen thermisch beansprucht.

Die Größe der Brandlast, ihre Anordnung und Belüftung sowie die geometrische Anordnung wirken zusammen und sollen nun ein Szenario wie es für den Feueraustritt aus einem Fenster eines sich im Vollbrand befindlichen Raumes mit oben beschriebener automatischer Löschanlage mit dem Schutzziel „Verhinderung der vertikalen Flammenübertragung“ auf eine Fassade wirkt, bilden.

Kriterien für die Beurteilung des Prüfkörpers sind die Brandausbreitung, Temperaturen sowie das Herabfallen von großen Teilen der Konstruktion (gemäß ÖNORM B 3800-5, Pkt. 6).

8.1 Normprüfung nach ÖNORM B 3800-5

Die ÖNORM B 3800-5 dient grundsätzlich 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 auf die anliegende Fassade einwirkt. 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 – im normgemäßen Prüfungsfall – 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.

Der thermische Angriff der Flammenspitze im über dem Brandherd liegenden Geschoss 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.

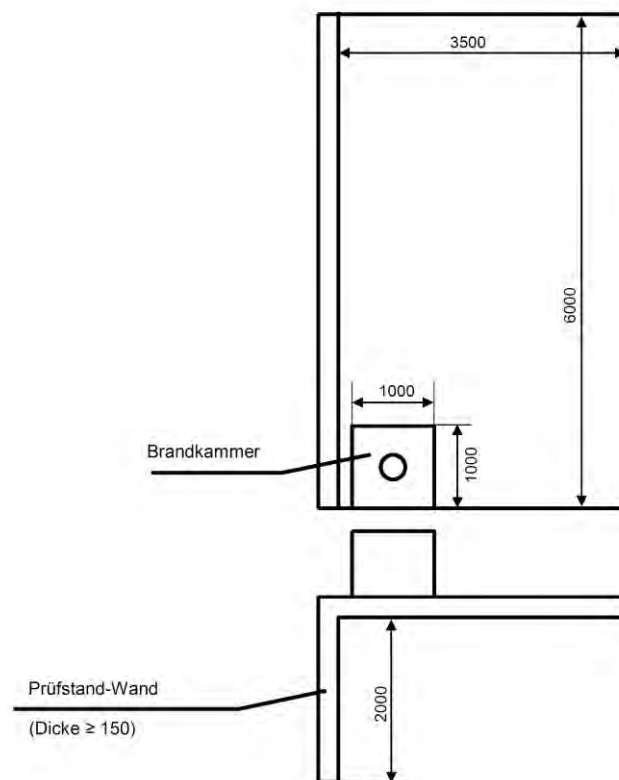


Abbildung 8-1: beispielhafte Ansicht und Grundriss des Fassadenprüfstandes, Maße in mm (aus [3])

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 Luftstrom ($400 \text{ m}^3/\text{h}$) 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 Fassadenkonstruktion
- Thermoelement 2 m oberhalb der Sturzkante, 10 cm vor der Fassade
- Thermoelement 2 m oberhalb der Sturzkante, mittig in der Fassadenkonstruktion
- Thermoelement an der Oberkante des Prüfstandes, 10 cm vor der Fassade
- Thermoelement an der Oberkante des Prüfstandes, mittig in der Fassadenkonstruktion

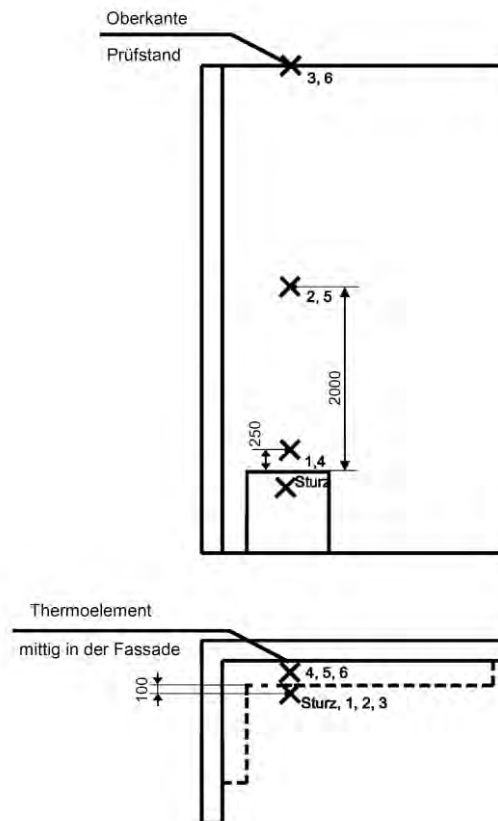


Abbildung 8-2: Lage der Thermoelemente, Maße in mm (aus [3])

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 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 m² oder mit Massen > 3 kg).


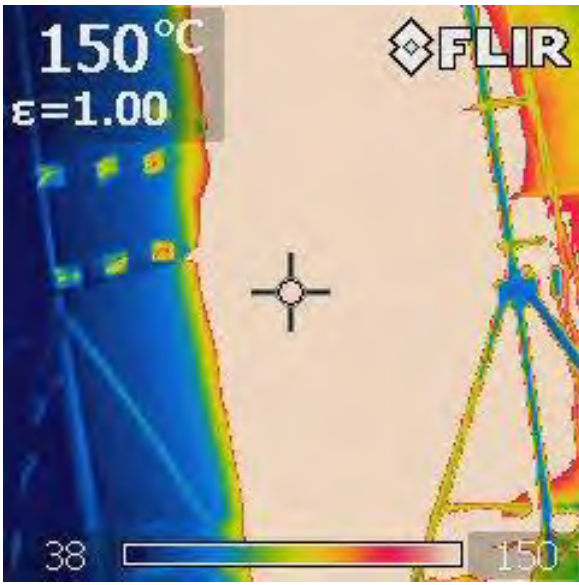
Mit den Prüfergebnissen kann somit vorhergesagt werden, ob eine Fassade eine Brandausbreitung ausgehend vom zweiten über dem Brandherd liegenden Geschoss begünstigt, und ob aus diesem Bereich eine Gefährdung, insbesondere durch das Herabfallen großer Teile, besteht. Analog dazu sind die brandschutztechnischen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

8.2 Entwicklung der Prüfanordnung

8.2.1 Vergleichende Normversuche nach ÖNORM B 3800-5

Ausgangsbasis ist die beschriebene Versuchsanordnung gemäß ÖNORM B 3800-5 mit einer Vielzahl zusätzlicher Temperaturmessstellen, um hier einen Temperaturvergleich mit den beiden Vorversuchen in Linz durchführen zu können. Diese wurden bei einer Reihe von normgemäßen Prüfungen montiert, exemplarisch ist in Folge eine Prüfung vom 1. Juni 2023 beschrieben.

Es wurde die normgemäße Holzkrippe mit einer Gesamtmasse von $25 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$ verwendet. Die Entzündung der Krippe erfolgte mit einer offenen Flamme über zwei in die unterste Lage eingeschobenen Blechwannen, gefüllt mit jeweils 200 ml Isopropanol. Die Zuschaltung eines Lüfters mit ca. $400 \text{ m}^3/\text{h}$ erfolgte in der 2. Minute des Versuches

	
<p>Abbildung 8-3: Versuchsanordnung gemäß ÖNORM B 3800-5 (exemplarisch normgemäße Prüfung an einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade, Prüfung vom 1. Juni 2023)</p>	<p>Abbildung 8-4: IR-Aufnahme während des ÖNORM B 3800-5 gemäßen Brandversuches (rechts Brandkammerbereich)</p>

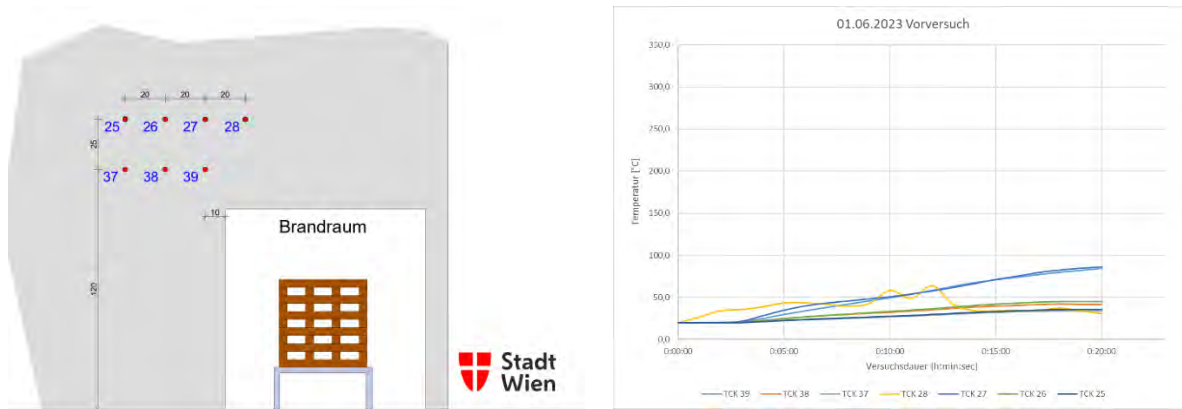


Abbildung 8-5: zusätzliche Temperaturmessstellenanordnung neben der Brandkammer und gemessene Temperaturen bei einer Normprüfung nach ÖNORM B 3800-5

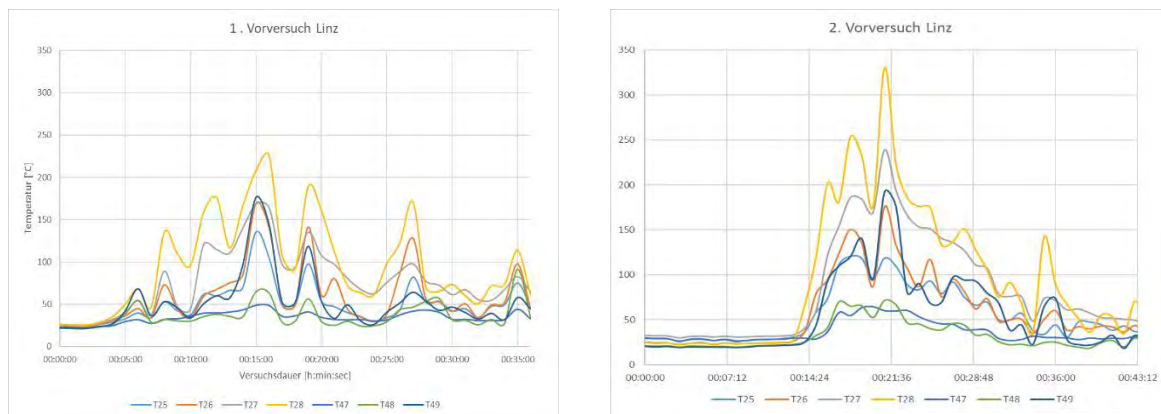


Abbildung 8-6: zum Vergleich: Temperaturverläufe der beiden Vorversuche in Linz im Bereich neben den Fensterstürzen

Die Vergleiche zeigten, dass bei normgemäßen Prüfungen nach ÖNORM B 3800-5 die Temperaturausbreitung seitlich der Brandkammer, also des simulierten Fensters, zu gering ist, während im Sturzbereich zu hohe Temperaturen gemessen werden. Das Prüfzenario nach ÖNORM B 3800-5 kann daher nicht unverändert für das Nachstellen eines Fensterausbrandes unter Einbeziehung einer Löschanlage verwendet werden.

Als nächster Schritt wurde daher eine Verschiebung der Holzkrippe in den Randbereich der Brandkammer vorgenommen.

8.2.2 Alternative Normversuche nach ÖNORM B 3800-5

In einem Versuch am 17. Juli 2023 wurde die Versuchsanordnung abgeändert, indem die normgemäße Holzkrippe (25 kg \pm 1 kg) an den Rand der Brandkammer verschoben wurde. Alle anderen Schritte (Entzündung, Lüfter, Lüfterleistung, etc.) wurden entsprechend ÖNORM B 3800-5 durchgeführt.



Abbildung 8-7: Flammenaustritt aus dem Brandraum während des Brandversuches

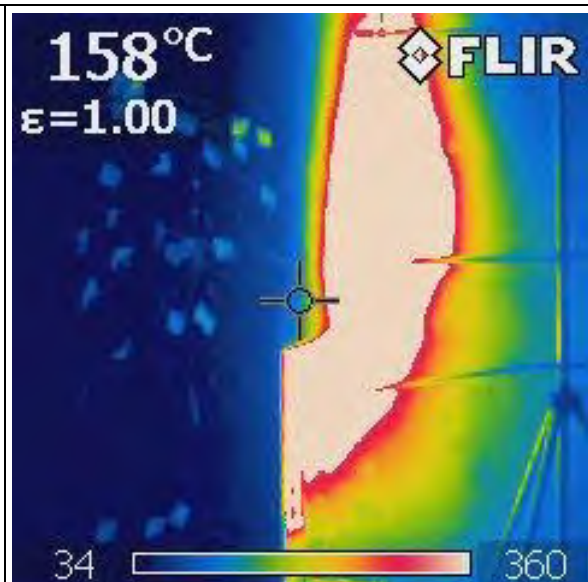


Abbildung 8-8: IR-Aufnahme während des Versuches

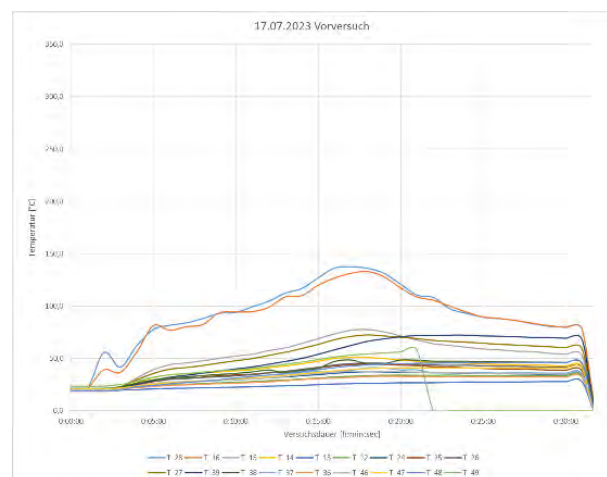
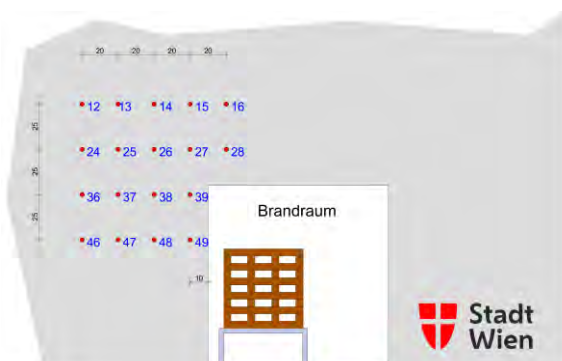


Abbildung 8-9: Temperaturmessstellenanordnung und gemessene Temperaturen

Erkennbar ist, dass sich die Temperaturen im Bereich neben der Brandkammer um etwa 50 °C erhöhen. Im Vergleich mit den festgestellten Temperaturen der Linzer Versuche sind die Werte jedoch immer noch um durchschnittlich knapp 100 °C zu niedrig (siehe folgende Abbildungen).

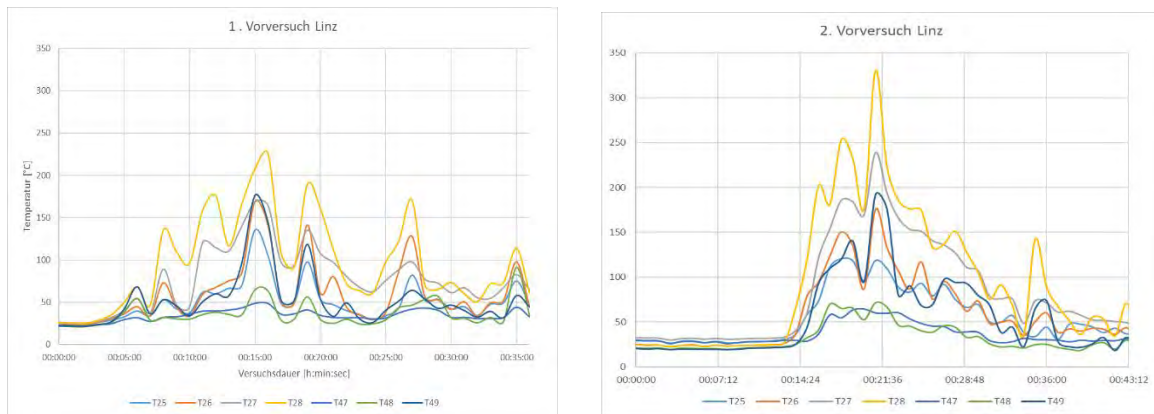


Abbildung 8-10: zum Vergleich: Temperaturverläufe der beiden Vorversuche in Linz im Bereich neben den Fensterstürzen

Es wurde daher entschieden, in nächsten Versuchen die Holzkippengeometrie und –anordnung zu verändern.

8.2.3 Versuche mit veränderter Holzkippenanordnung

Durch weitere Versuche mit veränderten Holzkippengeometrien und einer erhöhten Position der Holzkippe wurde versucht, die Temperatúrausbreitung weiter anzupassen und die Flammen in den Sturz-Eckbereich zu führen, aber auch diese Versuche zeigten eine zu geringe Erhöhung der Temperaturen im Messbereich neben der Kammer.



Abbildung 8-11: Veränderte Geometrie der Holzkippe

Im nächsten Schritt wurde eine Holzkippe (Gewicht ca. 10 kg) direkt neben der Brandkammer positioniert, und eine weitere Holzkippe mit identischem Gewicht im Eckbereich der Brandkammer.



Abbildung 8-12: Halbierte Holzkrippen



Abbildung 8-13: Aufnahme während des Brandversuches

Bereits bei diesem Brandversuch konnte eine gute Annäherung an die Vorversuche in Linz erreicht werden. In weiteren Versuchen wurde festgestellt, dass die Holzkrippe, die in der Brandkammer installiert war, nur ganz gering zu einer Temperaturerhöhung im seitlichen Bereich führt, sodass auf diese in weiterer Folge verzichtet wurde.

In einem Versuch vom 30. August 2023 wurde dann nur eine Holzkrippe mit einem Gewicht von 9 kg mit einem Abstand von 10 cm zur Prüfstands Oberfläche seitlich neben der Brandkammer verwendet. Alle anderen Schritte (Entzündung, Lüfter, Lüfterleistung, etc.) wurden in Anlehnung an die ÖNORM B 3800-5 durchgeführt. Der Versuch wurde nach 16 Minuten (Maximalwert der Wärmefreisetzung der Holzkrippe) beendet.



Abbildung 8-14: Aufnahme der Holzkrippenanordnung

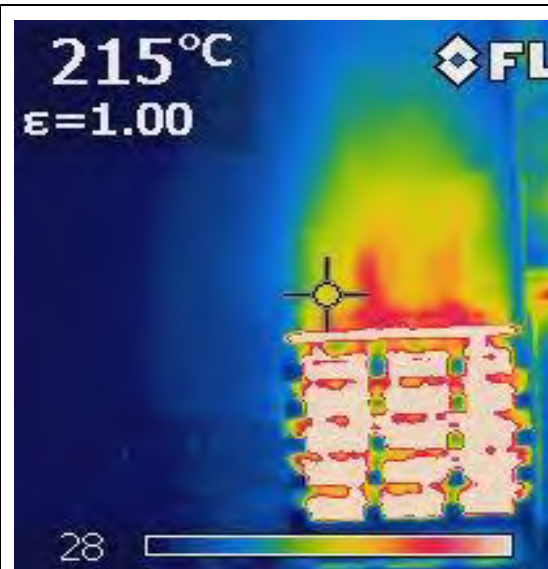


Abbildung 8-15: IR-Aufnahme während des Brandversuches

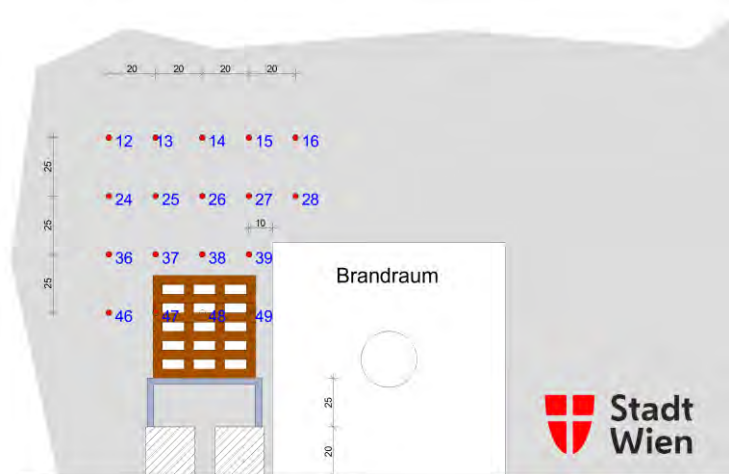
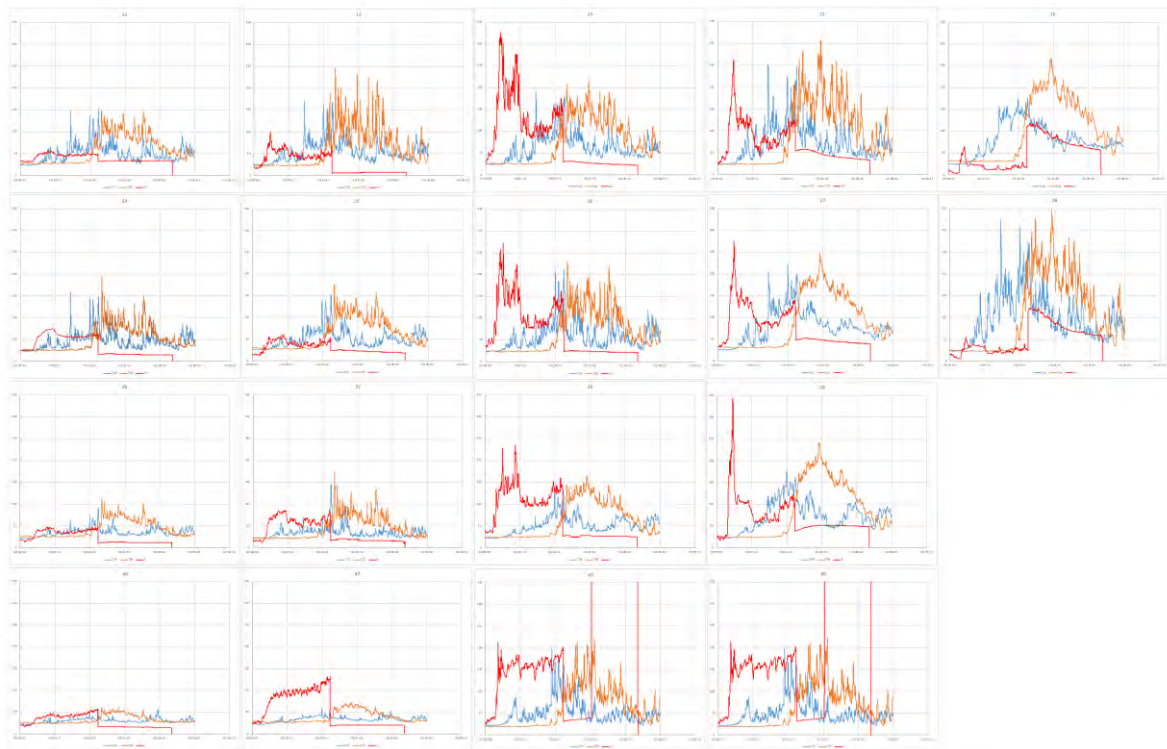


Abbildung 8-16: Versuchsanordnung und Temperaturmessstellen



Legende:

- Temperaturkurve vom 30.08.2023
- Temperaturkurve vom 1. Vorversuch Linz
- Temperaturkurve vom 2. Vorversuch Linz

Abbildung 8-17: Temperaturvergleich mit den Vorversuchen Linz

Hier zeigt sich ganz klar eine zu hohe Temperatur im Zeitraum des aktivierten Lüfters von der 2. Minute des Brandversuches bis zur ca. 5. Minute, sowie im Zwischenraum zwischen Holzkrippe und Prüfstandsoberfläche.

Daher wurde entschieden, eine Reduzierung des Luftstromes von 400 m³/h auf 200 m³/h vorzunehmen und eine nichtbrennbare Platte (Gipsplatte, Calciumsilikat-Platte, etc.) als abschirmendes Element zwischen Holzkrippe und Prüfstandsoberfläche anzuordnen.

8.2.4 Entwickelte Prüfanordnung

Aufgrund dieser zahlreichen Vorversuche am Fassadenprüfstand der MA 39 (von denen nur einige exemplarisch beschrieben wurden und den Weg skizzieren sollen) wurde eine Anordnung von Holzkrippe und Lüfter sowie der Volumenstrom und das Gewicht der Holzkrippe festgelegt, die die gemessenen Temperaturen an der Fassadenfläche der Versuche vom 27. Juni und 28. Juni 2023 wiedergibt:

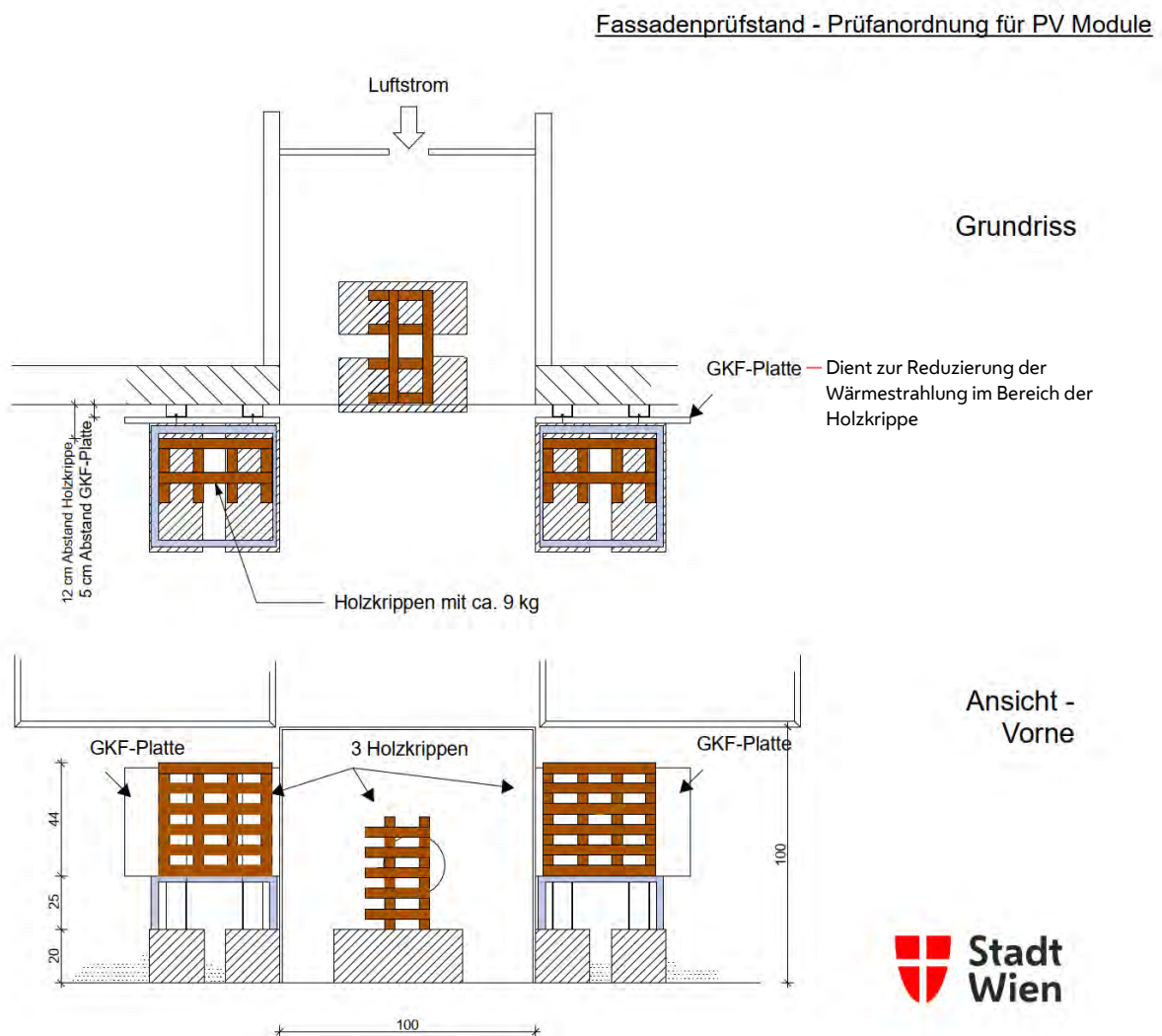


Abbildung 8-18: Prinzip der entwickelten Prüfanordnung am Fassadenprüfstand

Die Anordnung des Prüfstandes in einem Raum ist so zu wählen, dass sowohl der Abbrand der Brandlast als auch der Abbrand des Prüfkörpers unter den Lüftungsbedingungen erfolgen kann und dass für eine ausreichende Abführung der Rauchgase gesorgt ist.

8.2.4.1 Brandlast- und Geometriedesign

Zur Herstellung der Holzkrippe sind gehobelte Fichtenholzstäbe – jeweils mit einer Breite von 4 cm, einer Höhe von 4 cm und einer Länge von 50 cm bzw. 25 cm – zu verwenden. Die Stäbe müssen so konditioniert werden, dass diese für den Zweck der Prüfung eine Holzfeuchte von maximal 10 % aufweisen. Aus einer Gesamtmasse von $9 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$ ist eine Holzkrippe herzustellen, indem die Stäbe in Lagen zu je 4 bzw. 2 Stäben kreuzweise vernagelt werden. Dabei muss ein Nagel (Senkkopf blank; mit der Abmessung $2,8 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$) im äußersten Schnittpunkt jeweils zwei Stäbe verbinden. So entsteht eine Holzkrippe mit einer Grundfläche von $0,5 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$ und einer Höhe von 0,48 m. Das Holz-Luft-Verhältnis beträgt somit durch die kreuzweise versetzte Lage der Stäbe annähernd 1:1.

Die Holzkrippe muss in einer Höhe von 0,25 m auf einer allseits offenen Metallunterkonstruktion angeordnet werden. Dieser Unterbau ist so auszuführen, dass eine ausreichende Durchlüftung der Holzkrippe sichergestellt ist. Diese Metallunterkonstruktion wiederum wird auf eine Erhöhung von 20 cm gestellt (z.B. gebildet aus 2 Porenbetonsteinen), um die erforderliche Höhe im Bezug zur Brandkammeröffnung zu erreichen. Der seitliche Abstand der Holzkrippe von den Wänden der Brandkammer muss jeweils 0,25 m betragen. Die unterste Lage der Stäbe muss parallel zu den Seitenwänden der Brandkammer liegen.

Die Vorderseite des Holzstapels soll ca. 12 cm vor dem PV-Modul beziehungsweise vor der äußeren Ebene der Fassade (Außenschicht des Prüfkörpers) positioniert werden. Speziell wenn das PV-Modul direkt hinter der Holzkrippe montiert wird ist eine GKF-Platte, Calcium-Silikatplatte (Platten ohne Beitrag zum Brand) zwischen Holzkrippe und PV-Modul zu positionieren. Die Oberkante der nichtbrennbaren Platte darf die oberste Lage der Stäbe nicht überschreiten, die Breite soll die Holzkrippe mit ca. 10 cm Überstand abschirmen.

Für die Durchführung eines Brandversuches für PV-Module seitlich der Fensteröffnung ist die Holzkrippe in der Fensteröffnung nicht erforderlich.

Zur Sicherstellung eines kontinuierlichen Flammenaustritts aus der Brandkammeröffnung (Fenster) ist ein zusätzlicher Luftstrom durch eine runde Öffnung (Durchmesser 0,3 m) in der Rückwand der Brandkammer einzublasen. Die Frischluft hat einen Volumenstrom von $200 \text{ m}^3/\text{h}$ aufzuweisen. Die Zuschaltung des Lüfters hat im Falle der Verwendung der Holzkrippe nach der teilweisen Entflammung nach der zweiten Minute zu erfolgen.

In die unterste Lage der Holzstäbe, jeweils in den Zwischenraum, ist eine Blechwanne (25 mm breit, 500 mm lang und 20 mm hoch) einzuschieben. Unmittelbar vor Beginn der Prüfung (frühestens 5 Minuten vor Prüfbeginn) ist in die bzw. jede Blechwanne 200 ml Isopropanol zu füllen. Die Entzündung des Isopropanols hat mit einer offenen Flamme zu erfolgen.

Entsprechend der ÖNORM B 3800-5 ist die Ausbildung des Prüfkörpers in seiner Konstruktion, den verwendeten Baustoffen, seinen Ausführungs- und ihrer Einbauart detailgetreu der praktischen Anwendung bzw. den einschlägigen Verarbeitungsgrundsätzen bzw. Werkvertragsnormen entsprechen. Dies betrifft insbesondere auch Kleinteile wie z. B. Dämmstoffhalter, Dübelhülsen, thermische Trennungen und Dichtungen.

Die Brandkammeröffnung ist mit einem praxisgerecht ausgebildeten Fenstersturz bzw. mit einer praxisgerecht ausgebildeten Fensterleibung anzubinden.

Wenn in der praktischen Ausführung der Bauart Fugen, Verbindungen oder sonstige Strukturierungen vorhanden sind, die die ebene Außenfläche verändern, so sind diese in die Gestaltung des Prüfkörpers systemgerecht aufzunehmen. Die Kanten-, Rand- bzw. oberen Abschlüsse sind ebenfalls entsprechend der realen Ausführung zu gestalten.

Um eine Brandausbreitung in der etwaigen Hinterlüftungsebene feststellen zu können, sind im Hinterlüftungsspalt Thermoelemente anzuordnen (mindestens oberhalb der Holzkrippe – 25 cm über der Sturzhöhe und 75 cm über Sturz).

8.2.4.2 Versuchsdurchführung

Die Umgebungstemperatur muss während der Prüfung im Bereich zwischen 5 °C und 30 °C liegen. Im Falle der Verwendung einer Holzkrippe als Brandlast ist diese frühestens eine Stunde vor Prüfbeginn zu platzieren. Frühestens 5 Minuten vor Prüfbeginn ist das Isopropanol in die Blechwannen zu füllen.

Mit der Zündung des Isopropanols in den beiden Blechwannen durch eine offene Flamme beginnt die Prüfung ($t = 0 \text{ min}$).

Nach Ablauf der zweiten Prüfminute ($t = 2 \text{ min}$) ist der Lüfter für den zusätzlichen Verbrennungsluftstrom zuzuschalten.

Der Prüfungsverlauf ist fotografisch in Zeitabständen unter 2 Minuten oder durch eine kontinuierliche Aufzeichnung mittels einer Videokamera zu dokumentieren.

Die Prüfung endet frühestens nach 30 Minuten, sofern keine Branderscheinungen am Prüfaufbau mehr feststellbar sind. Die Prüfung endet spätestens zu dem Zeitpunkt, an dem weder optisch noch durch Messungen Branderscheinungen feststellbar sind.

8.2.4.3 Beobachtungen während der Prüfung

Folgende Beobachtungen sind während der Prüfung vorzunehmen:

- visuelle Beobachtung der Flammenausbreitung;
- visuelle Beobachtung des Herabfallens großer Teile; große Teile sind Plattenteile oder Elemente mit Flächen über $0,4 \text{ m}^2$ oder mit Massen über 3 kg.

9 Prüfungen an PV-Modulen

9.1 Auswahl der PV-Module

In Vorgesprächen mit der TPPV Technologieplattform Photovoltaik, Wien (Innovationen der österreichischen PV-Industrie) und dem Bundesverband Photovoltaic Austria, Wien (Interessensvertretung für PV in Österreich) wurde eine Auswahl der zu prüfenden PV-Module getroffen. Die Auswahl wurde auch aufgrund der von den Hersteller*innen für die vertikale Montage, nach derzeitigem Stand, vorgesehenen PV-Modulen getätigt. Die folgende Liste fasst die möglichen Komponentenvariationen zusammen; die orange gefärbten Felder stellen die für die Versuche ausgewählten Moduleigenschaften dar. So erscheint beispielsweise ein gängiges Modul mit Glasdicken von je 2 mm aufgrund von bisheriger Prüferfahrung nicht sinnvoll, da derart dünne Glasscheiben bei Temperatureinwirkung rasch brechen, dadurch die brennbaren Folieneinlagen offenliegen und es so zu einem schnellen Mitbrand des Moduls kommt (abgesehen von den mechanischen Eigenschaften, die bei hohen Hochhäusern notwendig sind).

Verbaute Modulmaterialien		Für Brandversuch ausgewählte Faktoren		
Frontscheibe - Glas (VSG Glas)				
2x2 mm gängig	2x3 mm	2x4 mm	2x6 mm	2x8 mm
Polymere Einbettungsfolie				
EVA	PVB gängig	Polyolefin	Ionomer	Silikon
Zelle: PV aktives Material				
c-Silizium (mono)	c-Silizium (poly)	Dünnschicht-CIGS hat ev. weniger Einkapselungsmaterial	Dünnschicht-CdTe	Organische PV
Rückseite				
meist Glas (Dicke 2-8 mm)	Baumaterial-Platten	Metallplatten	polymeres Backsheet	
Rahmen und Verklebung				
mit Al-Rahmen	ohne Al-Rahmen			
Polymere Anschlussdose				
Kunststoff-Dose	Kunststoff-Dose			
Silikon-Klebstoff ohne Vergußmasse	Silikon-Klebstoff Vergußmasse			

Konstruktion-Charakteristika

Modulgröße				
klein (~50 cm x 70cm)	mittel (~100 cm x 160cm) ältere Standards	groß (120 cm x 210cm) in die Größe geht es		
Abstand zwischen Modulen				
Kante an Kante	1-3 cm Abstand	Klebefuge		
Fassadenkonstruktion (hinterlüftete Kaltfassade)				
Hinterlüftungsspalt (Abstand Modul-Wand)	Luftstrom ja/nein	Isolation ja/nein	Brandriegel ja/nein	
Anbringung Fassade				
Horizontal	Vertikal (zwischen Fenster)			

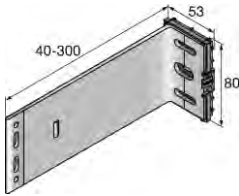
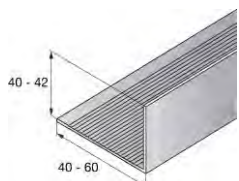
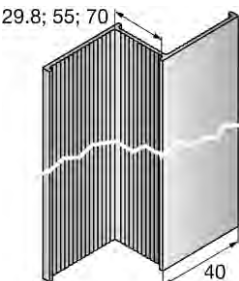
Tabelle 9-1: Übersichtstabelle Variationen von PV-Modulen

Zudem wurde in gemeinsamer Abstimmung vorab festgelegt, dass die PV-Module seitlich der Brandkammer und nicht direkt über der Brandkammer zu montieren waren, da die Versuche ja darauf abzielen sollen, eine bestimmte Anordnung der Module zu ermöglichen und eben diese bestimmte Anordnung eine Montage direkt oberhalb eines Fensters und damit im bei einem Fensterausbrand kritischsten Bereich (siehe auch die Temperaturentwicklung in den Versuchen aus Kapitel 7) aus brandschutztechnischen Gründen nicht vorsieht.

9.2 Montage der PV-Module

Die Montage erfolgte in Form eines vorgehängten Fassadensystems mit handelsüblichen Materialien:

- Hilti Konsole MFT-FOX VI 120 M 6.5, Länge 120 mm, Werkstoffzusammensetzung: EN AW-6063 T66, thermische Trennung: Polypropylen, 6 mm
- MFT-DF M Montageelement, Werkstoffzusammensetzung: EN AW-6063 T66
- Kunststoff-Schraubdübel HRD-H
- Metallbau-Selbstbohrschrauben S-AD 01 LSS 5.5x25 und 5.5x19
- Profil MFT-L 60x50x2,0 R 6m, Werkstoffzusammensetzung: EN AW-6063 T66
- EJOT Dämmstoffhalter, DM: 90 mm, Werkstoff: Kunststoff und Edelstahl
- Dämmstoffbefestiger HIF, DM 8 mm, Schlagdübel, Werkstoffmaterial: Polypropylen oder Polyethylen (E-d2)
- Agraffe MFT, Aluminium EN AW-6063 T66
- Steinwolle – Dämmplatte für hinterlüftete Fassaden Rockwool Fixrock 035, 120 mm dick, 1000 mm x 625 mm
- MFT-Z Schiene, 30 mm x 78 mm, Werkstoffzusammensetzung: EN AW-6063 T66

Konsole:	
MFT Profil:	
MFT Z Profil:	

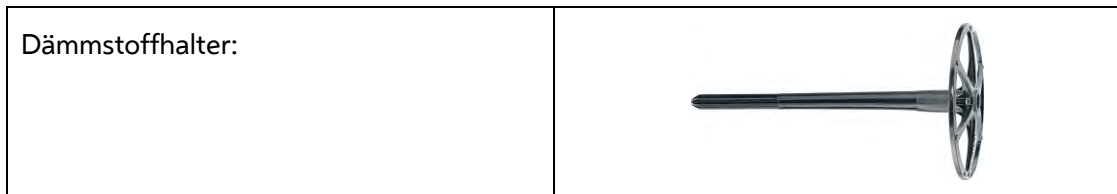


Abbildung 9-1: Komponenten der Unterkonstruktion

Werkstoffmaterial EN AW-6063

Dichte: 2700 kg/m^3

Schmelzbereich: $585 - 650 \text{ }^\circ\text{C}$

Wärmeleitfähigkeit: $200 - 220 \text{ W/mK}$

Die MFT Z Profile zusammen mit den Metall-Selbstbohrschrauben wurden auch für die Befestigung der Module verwendet.

Die folgenden Abbildungen zeigen den Aufbau der Unterkonstruktion.



Etwaige Kabelkanäle von PV-Modulen, die mehrere Elemente verbinden, horizontal oder vertikal geführt, wurden bei den Brandversuchen nicht berücksichtigt. Die Kunststoffanschlußdose war bei allen PV-Modulen vorhanden.


9.3 Prüfungen


9.3.1 Versuch vom 19. Oktober 2023


PV-Modul


Ertex PV-Modul

Allgemeine Daten

 Moduleigenschaften	
Min. Abmessungen	200x200 mm
Max. Abmessungen	2.400x5.000 mm
Modulform	Rechteckig, Sonderformen nach Absprache
Transparenz/Lichtdurchlässigkeit	0-100%
Max. Zellabstand	nach Rücksprache
Min. Zellabstand	4 mm
Zellabstand zur Modulkante	ca. 30 mm
Leistung Modul	abhängig u.A. von Größe, Transparenzgrad, Farbe

 Aufbau eines Moduls	
Glas außen	2-12 mm
Folie	0,76 mm
PV-Zellen	-
Folie	0,76 mm
Glas	2-12 mm
ISO Zwischenschicht	6-16 mm mit Rahmen aus Niro, Alu oder Swiss Spacer
Glas mit low-E Beschichtung	2-12 mm

 Garantien	
Leistungsgarantie	10 Jahre 90% der Leistung; 20 Jahre 80% der Leistung
Produktgarantie	5 Jahre

 Zertifizierungen	
ISO 9001:2008	Managementstandard
ISO 14001:2009	Umweltstandard
BS OHSAS 18001:2007	Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz
Schutzklasse II	elektrische Prüfung
EN14449	VSG Zertifizierung

PV-Modulabmessung: 1015 mm x 2010 mm

Glasdicke: 2 Scheiben zu je 8 mm, Gesamtdicke ca. 16 mm

Gewicht: 75 kg

Anordnung

Ein PV-Modul direkt neben der Brandkammer und mit einem Abstand von 4,5 cm wurde ein zweites PV-Modul darüber, wiederum mit 2 Aluminium Profilen (Breite 12 cm), befestigt.

- 120 mm Steinwolle
- ca. 50 mm Hinterlüftungsspaltbreite ohne horizontaler oder vertikaler Brandschutzmaßnahme
- 1 Holzkrippe mit ca. 9 kg

Temperatur- und Thermoelementverteilung

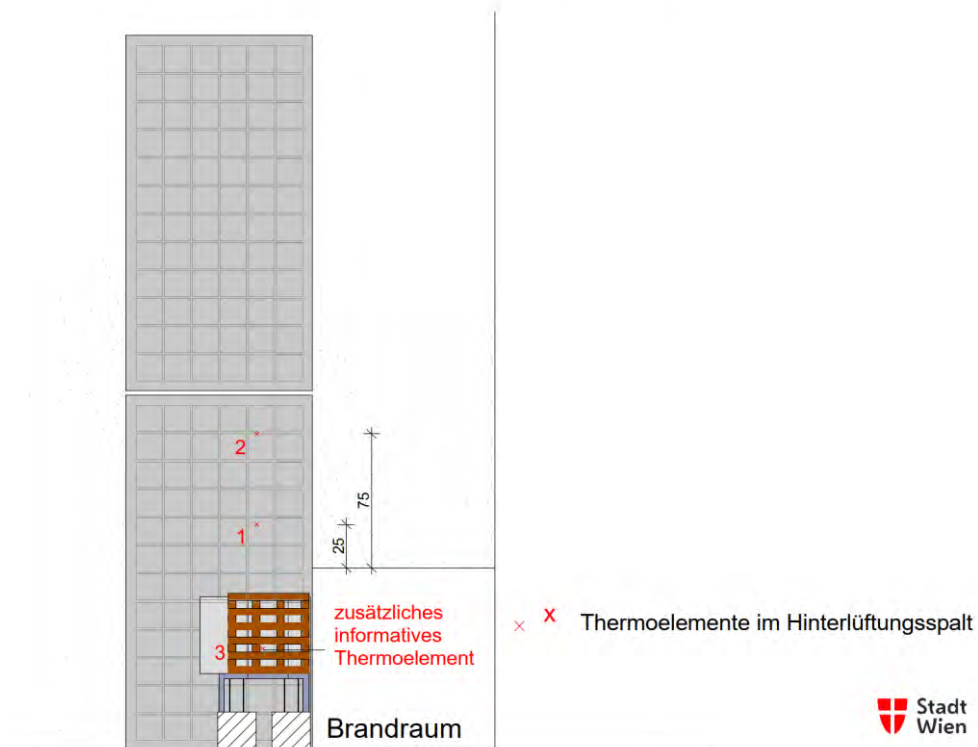


Abbildung 9-6: Prinzipskizze Prüfanordnung

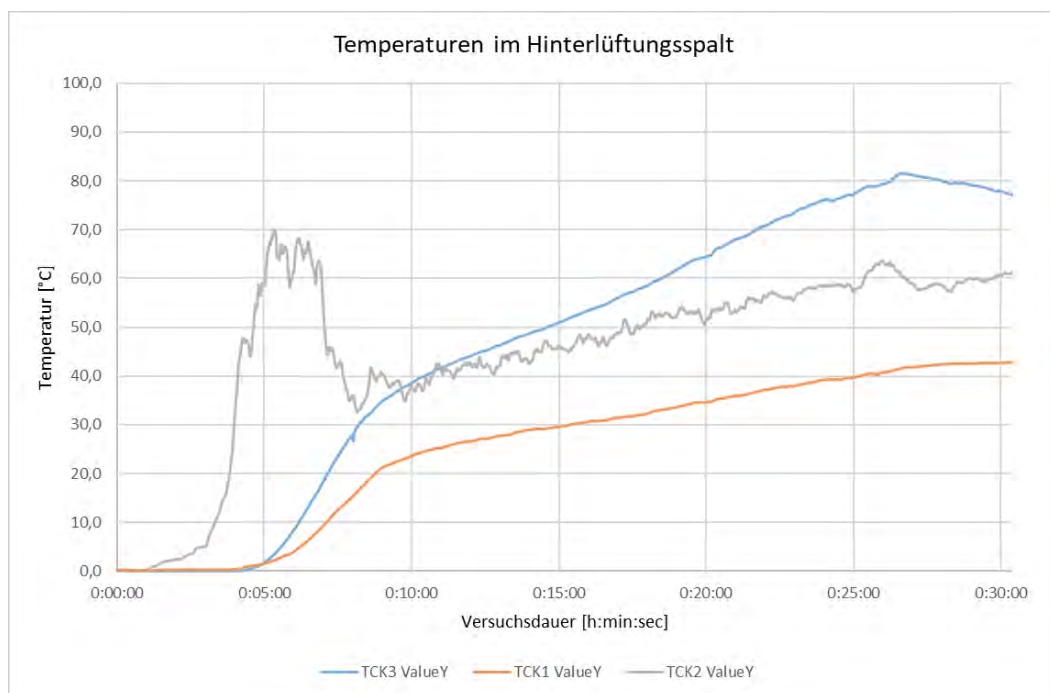


Abbildung 9-7: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt

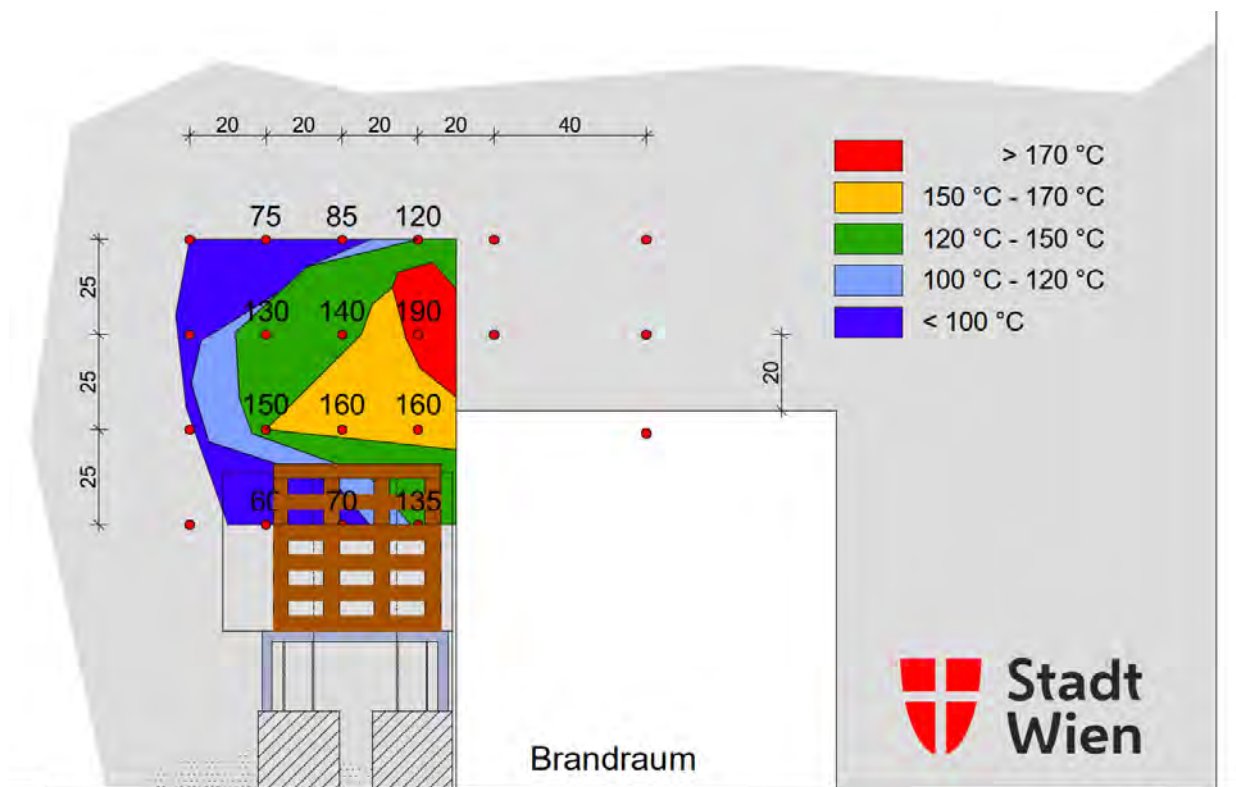
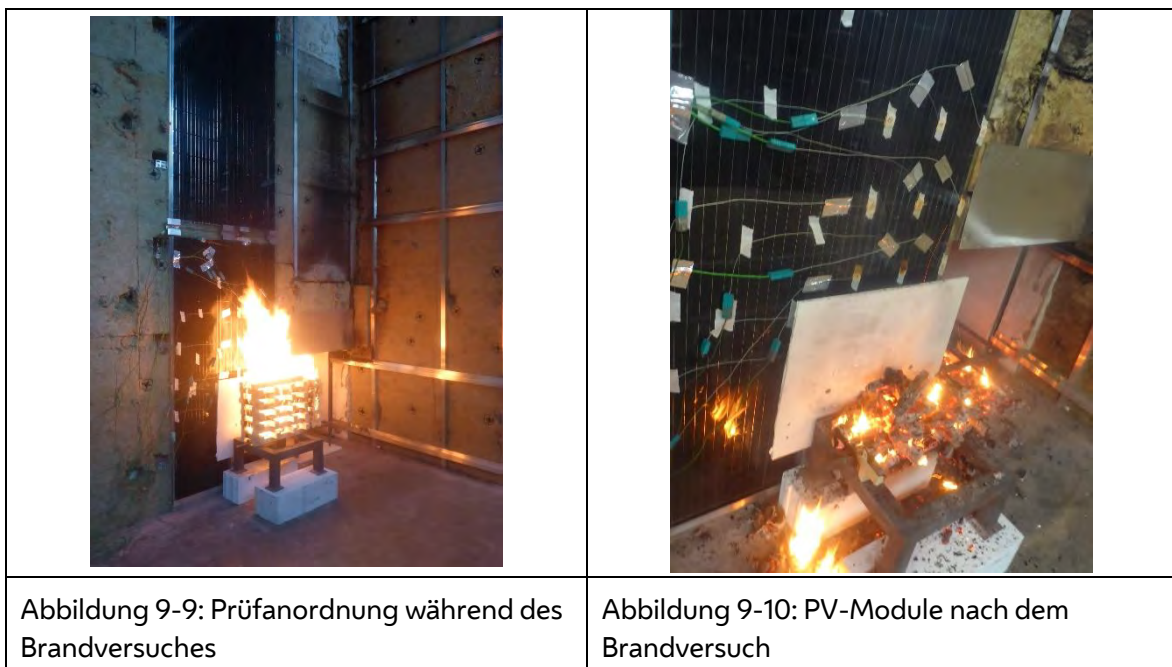


Abbildung 9-8: Temperaturverteilung an der Fassade bzw. PV-Modul Oberfläche



Es konnte unter den gewählten Prüfbedingungen keine optische Brandweiterleitung an den PV-Module während der Prüfung beobachtet werden. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 3 \text{ kg}$) abgefallen. Die Temperaturen zwischen den PV-Modulen und der Dämmung lagen unter $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Es konnte keine Veränderung in der Solarzellenebene und auch an den Aluminiumhalterungen und Profilen konnte keine Beschädigung nach dem Brandversuch festgestellt werden.

9.3.2 Versuch vom 10. November 2023

PV-Modul

Ertex PV-Modul, Spezifikationen wie in 9.3.2

Anordnung

- Unterkante der PV-Module in einer Ebene mit Oberkante der Brandkammeröffnung
- befestigt mit 2 Aluminium Profilen (Breite 12 cm) an Unterkante und Oberkante
- 120 mm Steinwolle
- 50 mm Hinterlüftungsspaltbreite ohne horizontaler oder vertikaler Brandschutzmaßnahme
- 1 Holzkrippe mit ca. 9 kg

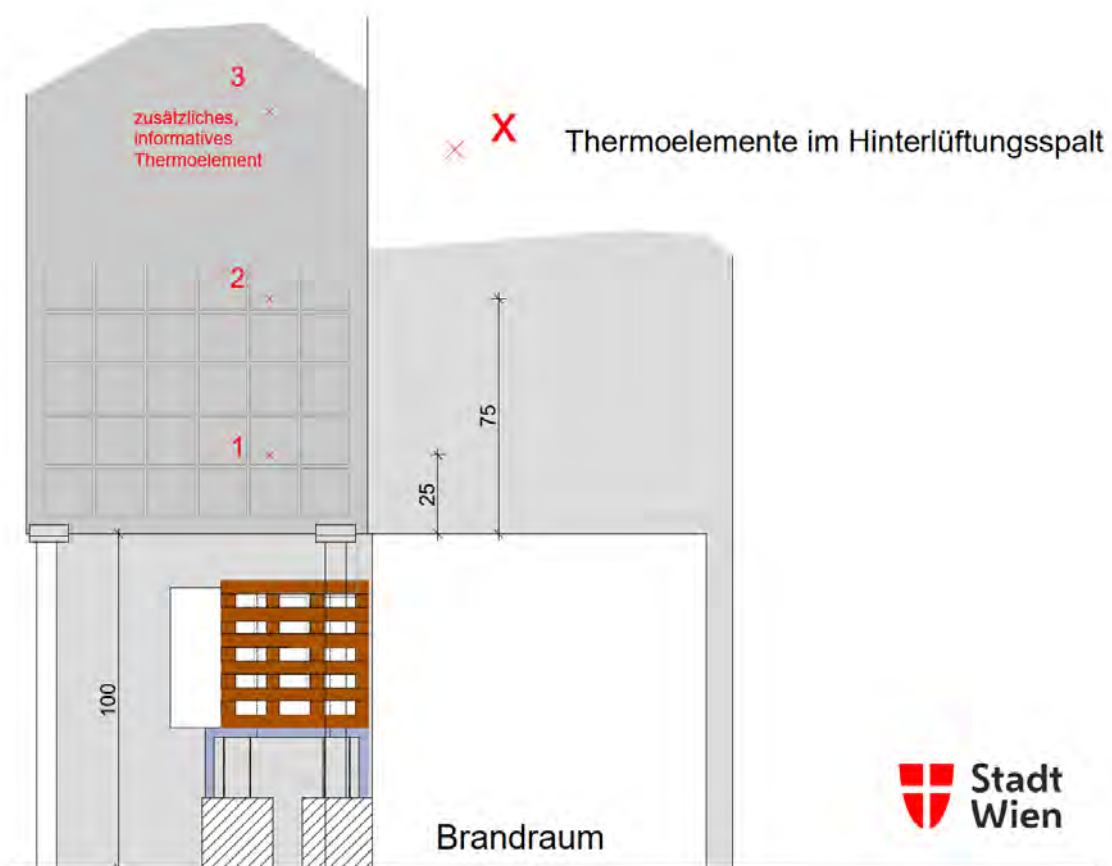


Abbildung 9-11: Prinzipskizze Prüfanordnung



Abbildung 9-12: Prüfanordnung vor dem Brandversuch (die Holzkrippe im Brandraum war nicht Bestandteil des Versuches)



Abbildung 9-13: PV-Module nach dem Brandversuch

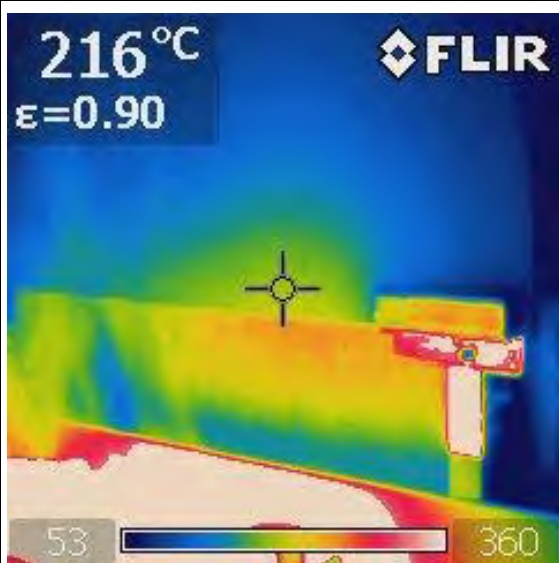


Abbildung 9-14: IR-Aufnahme bei Zusammenbruch der Holzkrippe

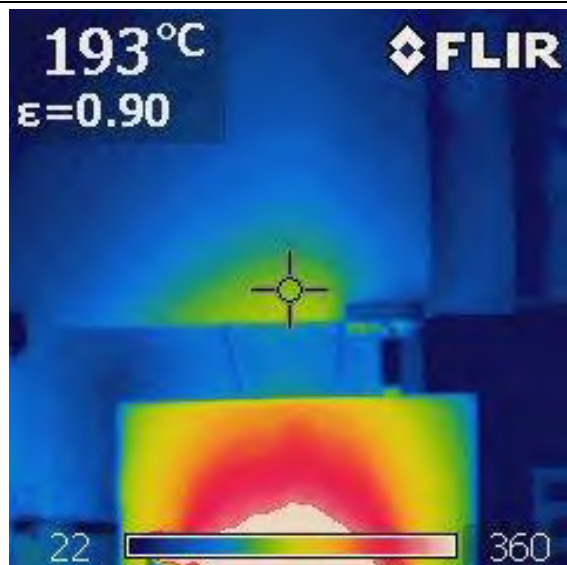


Abbildung 9-15: IR-Aufnahme vor Versuchsende

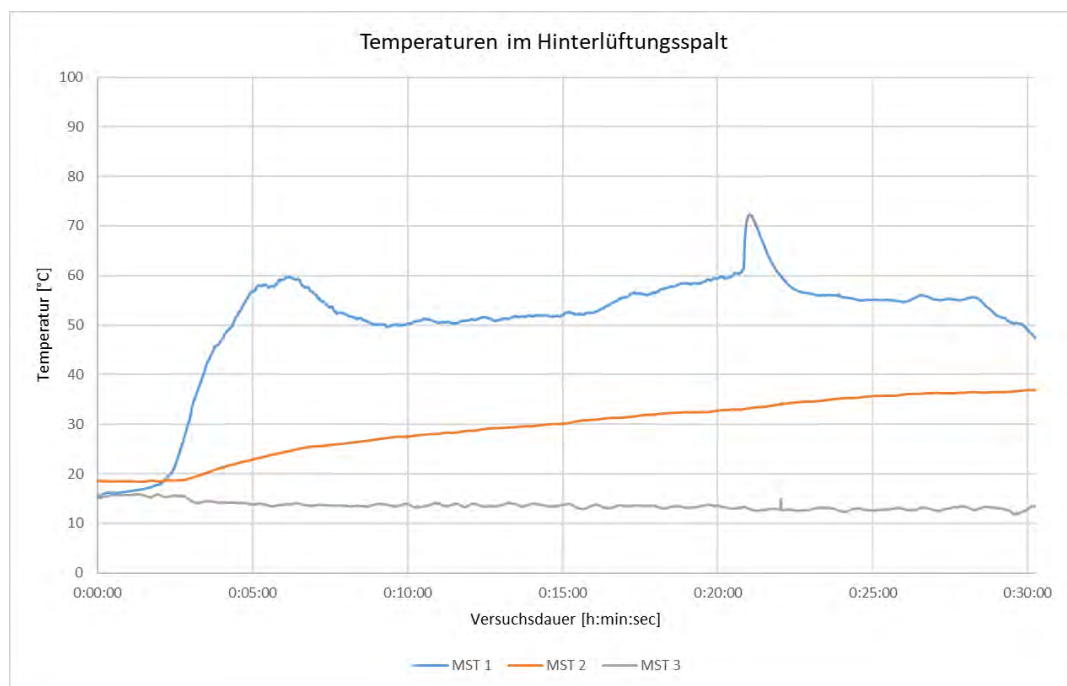


Abbildung 9-16: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt

Es konnte unter den gewählten Prüfbedingungen optisch keine Brandweiterleitung an den PV-Module während der Prüfung beobachtet werden. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 3 \text{ kg}$) abgefallen. Die Temperaturen zwischen den PV-Modulen und der Dämmung (siehe Diagramm 9-16) lagen unter $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Es konnten Veränderungen in der Solarzellenebene (nach 5 Minuten Versuchsdauer) und ein Austritt der verflüssigten Einbettungsfolie (nach 22 Minuten Versuchsdauer) beobachtet werden. An den Aluminiumhalterungen und Profilen konnte keine Beschädigung nach dem Brandversuch festgestellt werden.

9.3.3 Versuch vom 14. November 2023

PV-Modul

Kioto Solar Sonnenkraft 360 WP

Gewicht:	60 kg
Abmessungen:	2020 mm x 1015 mm x 13 mm (H x B x T)
Glasdicke:	2 x 6 mm (TVG)
Lichtdurchlässigkeit:	15 %
Zellen:	72 bifaciale Vollzellen (6x12)
Kristalline Zellen:	157 mm x 157 mm
Betriebstemperatur:	+ 85 °C bis – 40 °C

Anordnung:

- Unterkante des PV-Moduls in einer Linie mit der Oberkante der Brandkammeröffnung, wiederum mit 2 Aluminium Profilen an Ober- und Unterkante (Breite 12 cm) befestigt
- 120 mm Steinwolle
- Komponenten Fassadensystem wie oben
- 60 mm Hinterlüftungsspaltbreite ohne horizontaler oder vertikaler Brandschutzmaßnahme
- 1 Holzkrippe mit ca. 9 kg

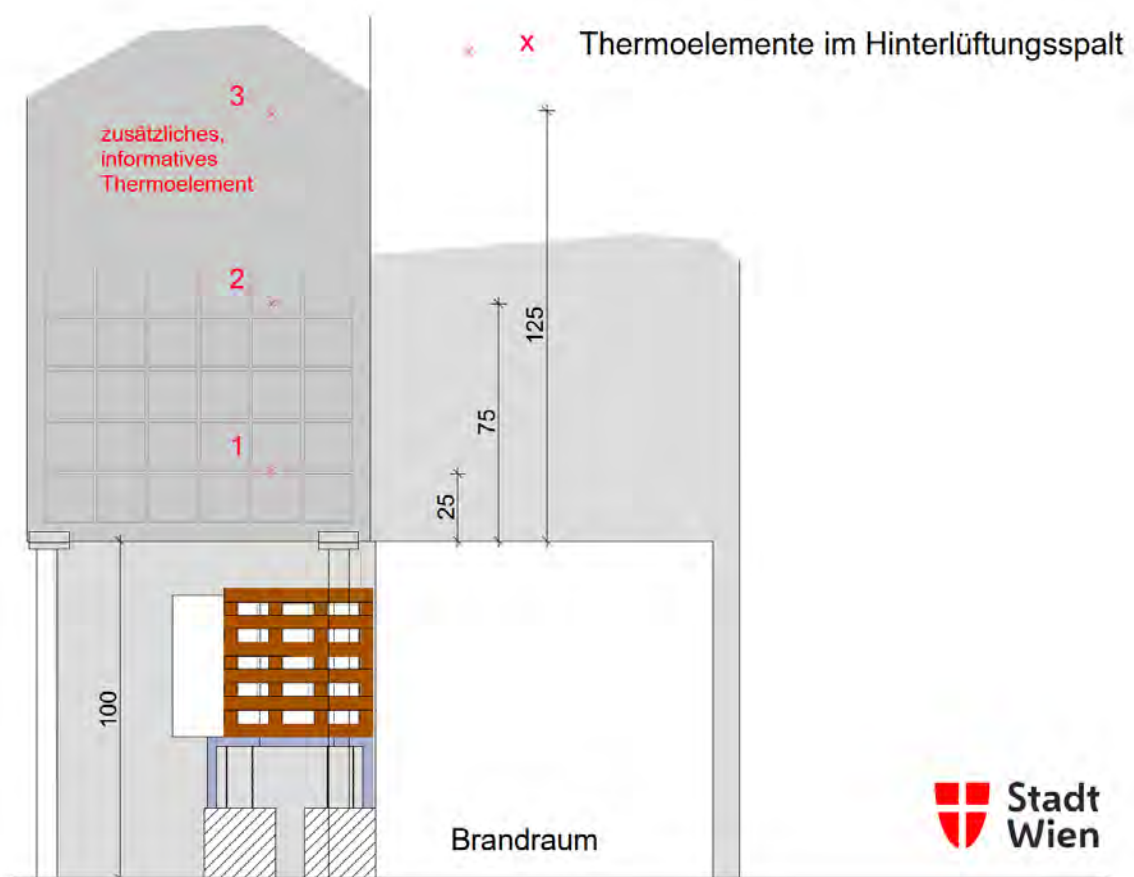


Abbildung 9-17: Prinzipskizze Prüfanordnung



Abbildung 9-18: Prüfanordnung vor dem Brandversuch (Holzkrippe im Brandraum war nicht Bestandteil des Versuches)



Abbildung 9-19: PV-Module nach dem Brandversuch

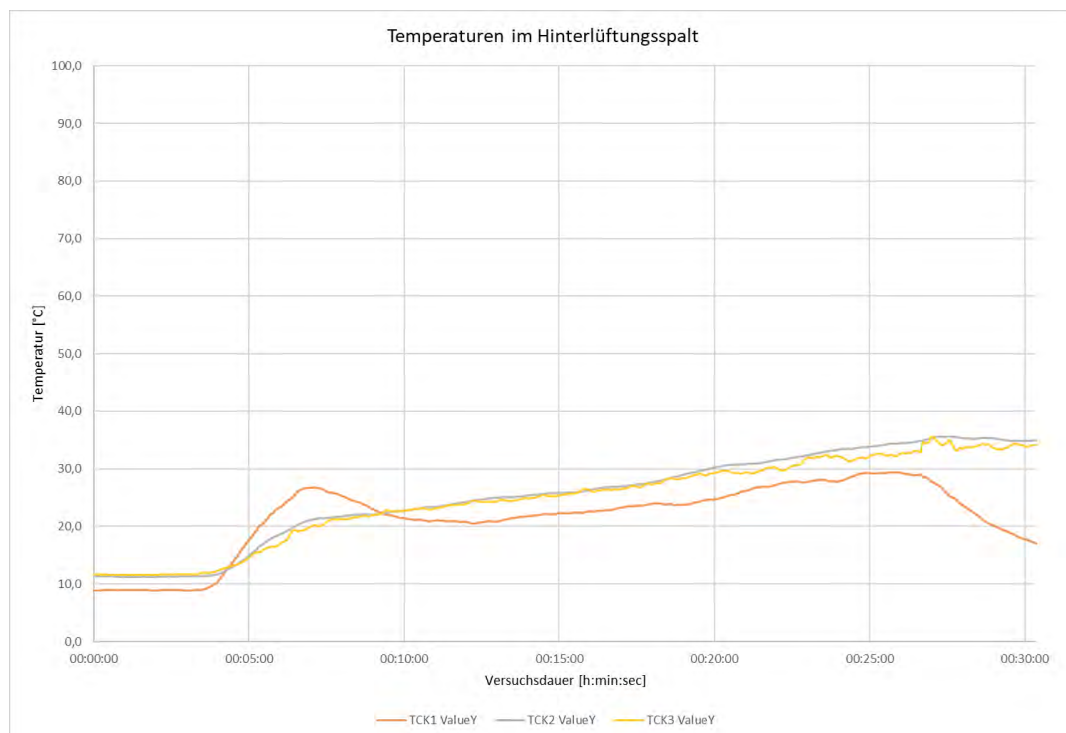


Abbildung 9-20: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt

Es konnte unter den gewählten Prüfbedingungen optisch keine Brandweiterleitung an den PV-Module während der Prüfung beobachtet werden. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 3 \text{ kg}$) abgefallen. Die Temperaturen zwischen den PV-Modulen und der Dämmung lagen unter 100°C . Es konnte eine geringe, optische Veränderung in der Solarzellenebene festgestellt werden. An den Aluminiumhalterungen und Profilen konnte keine Beschädigung nach dem Brandversuch festgestellt werden.

9.3.4 Versuch vom 20. November 2023

PV-Modul

Kioto Solar Sonnenkraft 360 WP, Spezifikation wie in 9.3.3

Anordnung

- Unterkante des PV-Moduls in einer Linie mit der Oberkante der Brandkammeröffnung, wiederum mit 2 Aluminium Profilen an Ober- und Unterkante (Breite 12 cm) befestigt. In einem Abstand von 3 cm wurde ein zweites PV-Modul neben dem zu prüfenden montiert, um etwaige Auswirkungen in horizontaler Richtung zu beobachten.
- 120 mm Steinwolle
- Komponenten Fassadensystem wie oben
- 60 mm Hinterlüftungsspaltbreite ohne horizontaler oder vertikaler Brandschutzmaßnahme
- 1 Holzkrippe mit ca. 9 kg

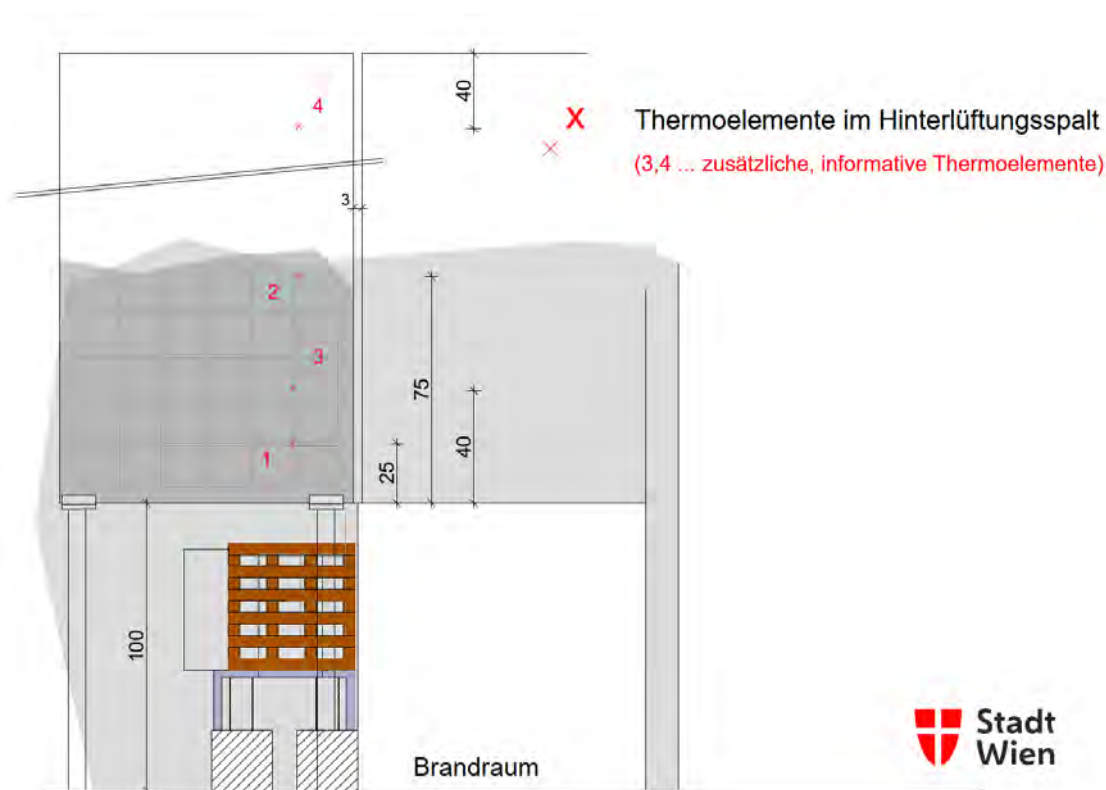


Abbildung 9-21: Prinzipskizze Prüfanordnung



Abbildung 9-22: Prüfanordnung vor dem Brandversuch

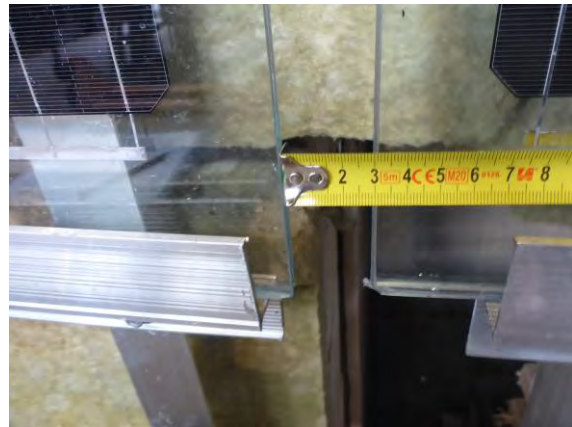


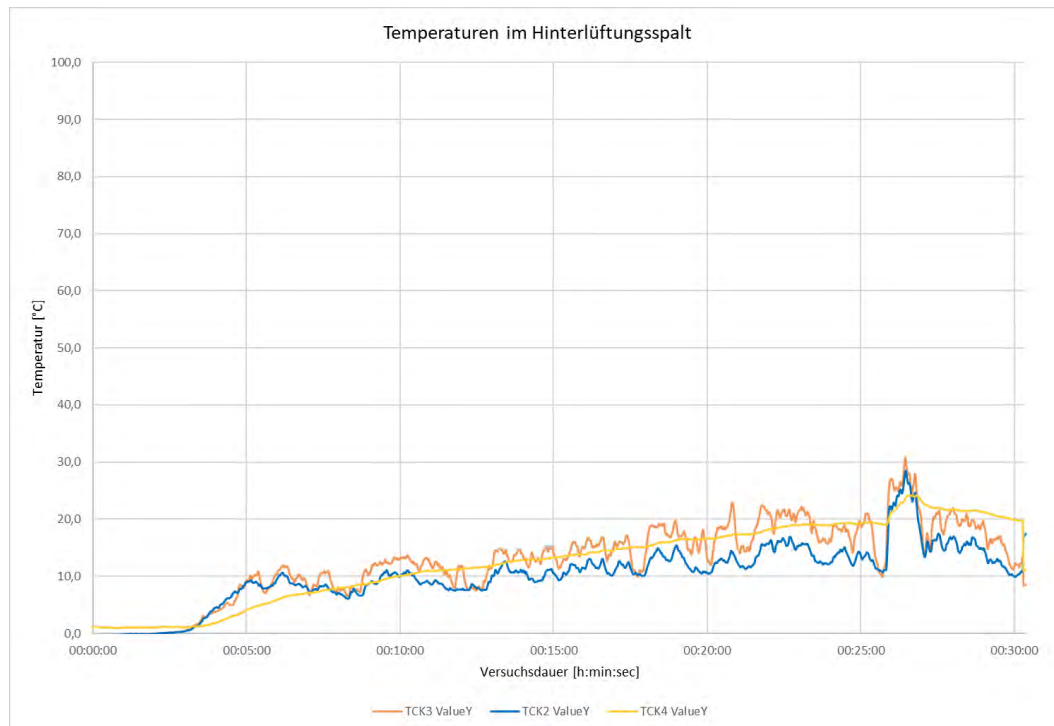
Abbildung 9-23: Prüfanordnung vor dem Brandversuch



Abbildung 9-24: Prüfanordnung während des Brandversuches



Abbildung 9-25: PV-Module nach dem Brandversuch



MST 1 ausgefallen

Abbildung 9-26: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt

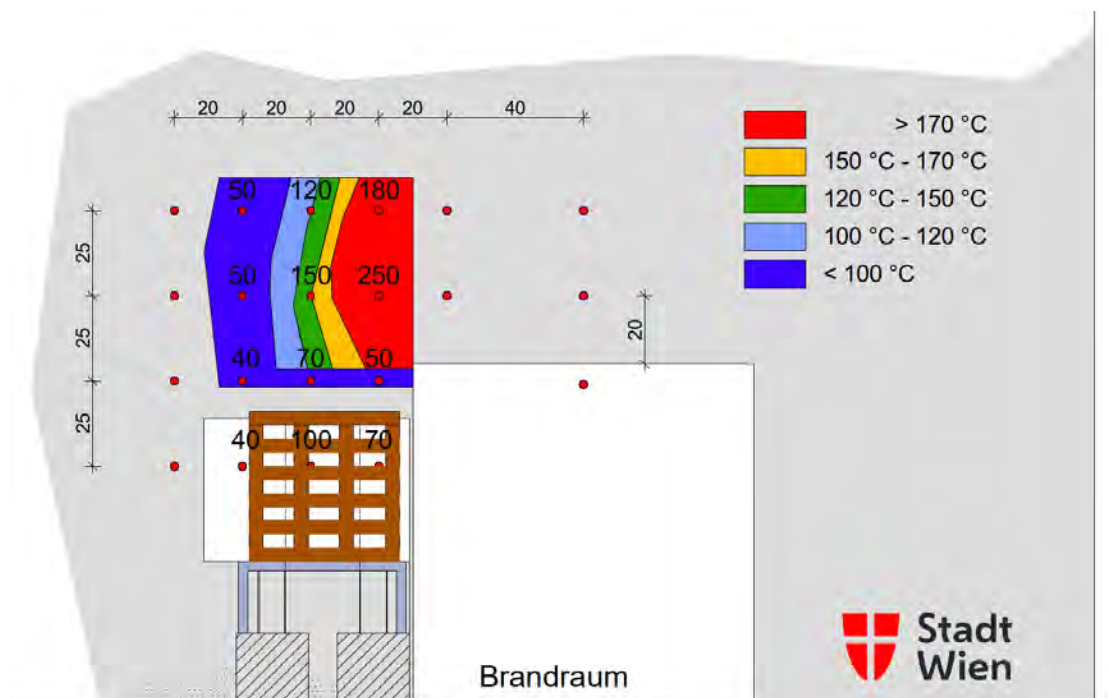


Abbildung 9-27: Temperaturverteilung an der Fassade bzw. PV-Modul Oberfläche

Es konnte unter den gewählten Prüfbedingungen optisch keine Brandweiterleitung an den PV-Module während der Prüfung beobachtet werden. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 3 \text{ kg}$) abgefallen. Die Temperaturen zwischen den PV-Modulen und der Dämmung lagen unter $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Es konnte eine geringe, optische Veränderung in der Solarzellenebene festgestellt werden. An den Aluminiumhalterungen und Profilen konnte keine Beschädigung nach dem Brandversuch festgestellt werden.

9.3.5 Versuch vom 27. November 2023

PV-Modul

Kioto Solar Sonnenkraft 360 WP, Spezifikation wie in 9.3.4

Anordnung

- ein PV-Modul direkt neben der Brandkammer und mit einem Abstand von 4,5 cm wurde ein zweites PV-Modul darüber, wiederum mit 2 Aluminium Profilen (Breite 12 cm) befestigt.
- 120 mm Steinwolle
- Komponenten Fassadensystem wie oben
- 60 mm Hinterlüftungsspaltbreite ohne horizontaler oder vertikaler Brandschutzmaßnahme
- 1 Holzkrippe mit ca. 9 kg

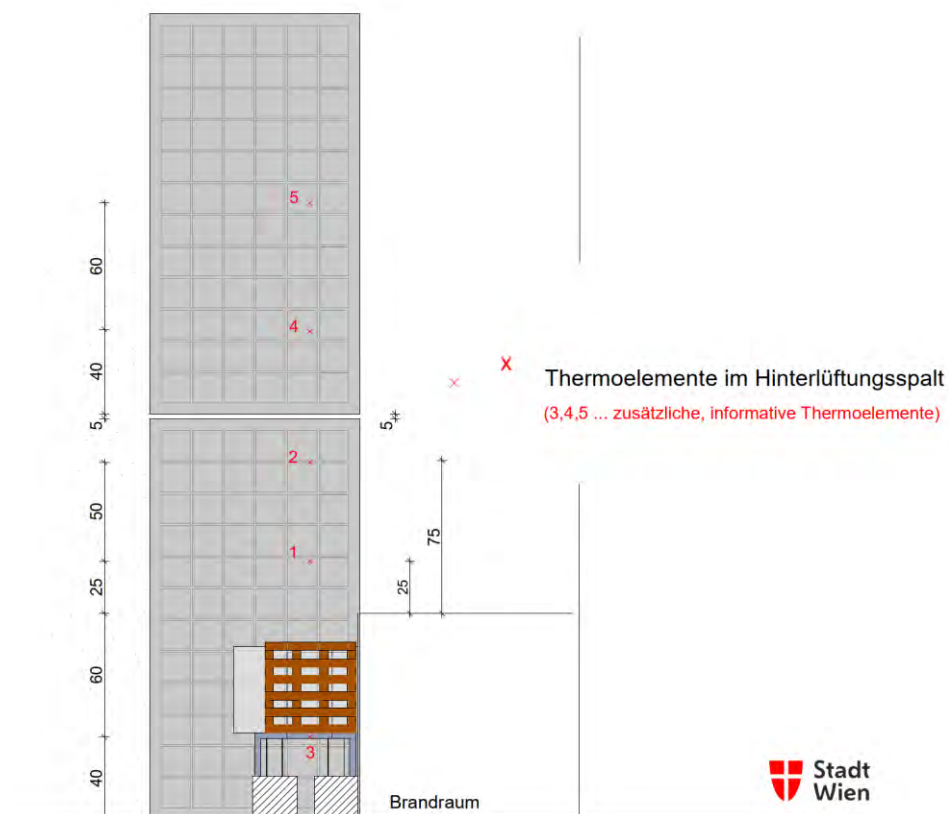


Abbildung 9-28: Prinzipskizze Prüfanordnung



Abbildung 9-29: Prüfanordnung vor dem Brandversuch



Abbildung 9-30: PV-Module Abstand übereinander



Abbildung 9-31: Prüfanordnung während des Brandversuches



Abbildung 9-32: PV-Module nach dem Brandversuch

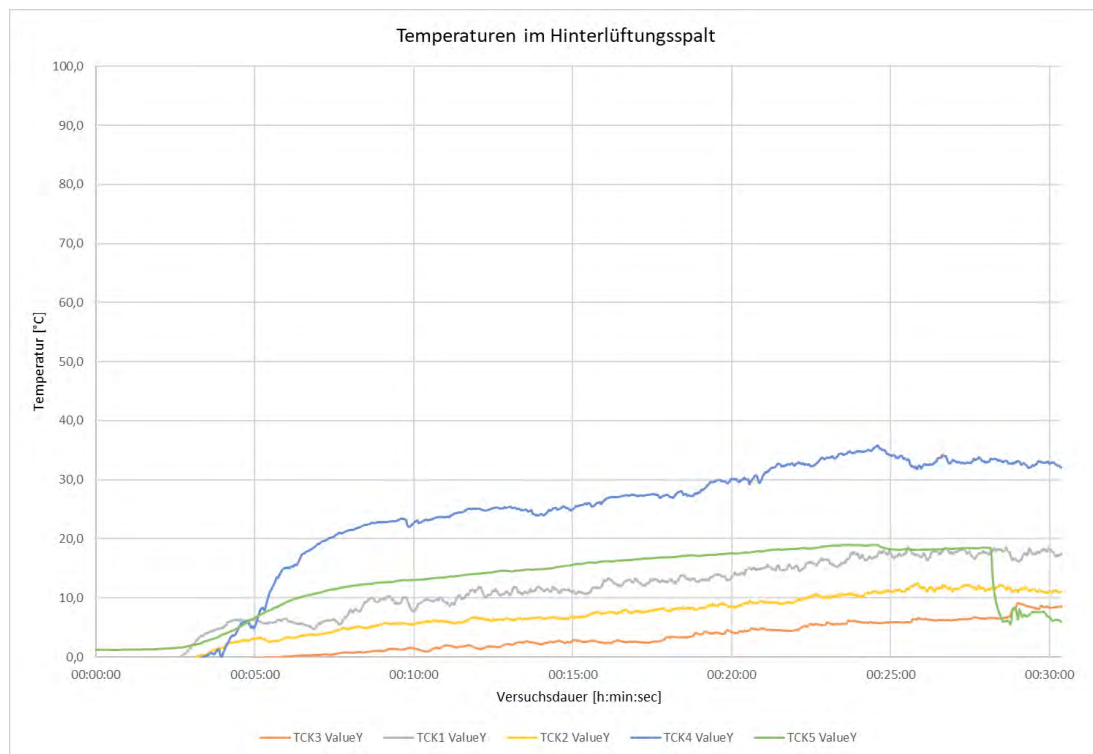


Abbildung 9-33: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt

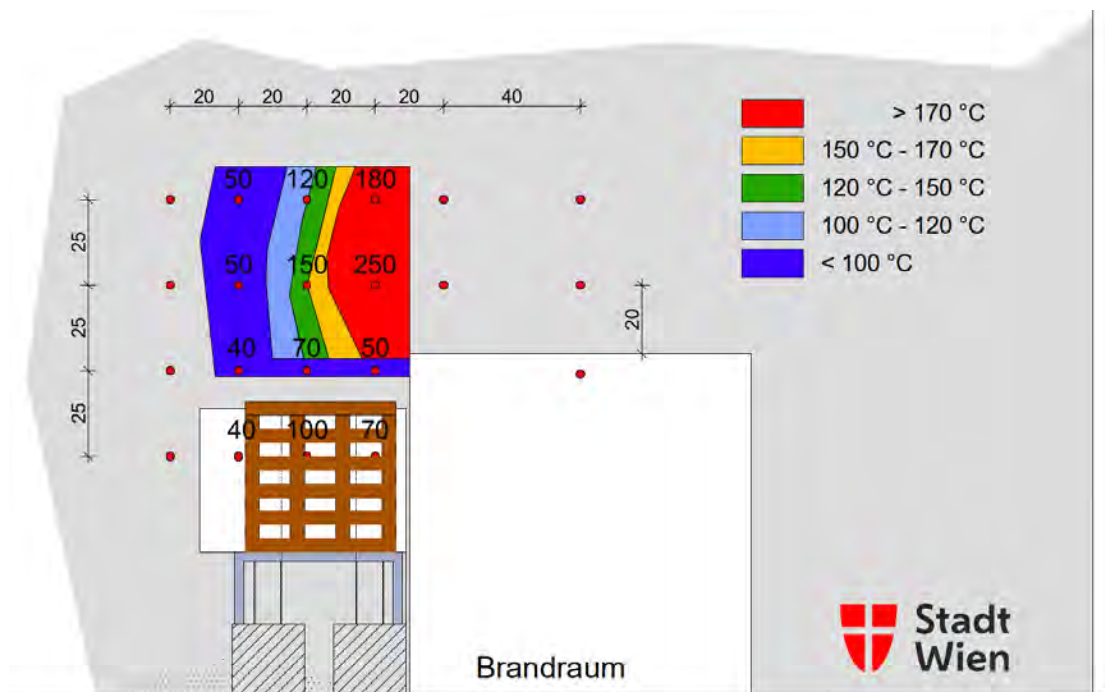


Abbildung 9-34: Temperaturverteilung an der Fassade bzw. PV-Modul Oberfläche

Es konnte unter den gewählten Prüfbedingungen optisch keine Brandweiterleitung an den PV-Module während der Prüfung beobachtet werden. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 3 \text{ kg}$) abgefallen. Die Temperaturen zwischen den PV-Modulen und der Dämmung lagen unter $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Es konnte eine geringe, optische Veränderung in der Solarzellenebene nach dem Brandversuch festgestellt werden. An den Aluminiumhalterungen und Profilen konnte keine Beschädigung nach dem Brandversuch festgestellt werden.

9.3.6 Versuch vom 1. Dezember 2023

PV-Modul

Kioto Solar Sonnenkraft 360 WP, Spezifikation wie in 9.3.4

Anordnung

- ein PV-Modul direkt neben der Brandkammeröffnung und mit einem Abstand von 8 cm wurde ein zweites PV-Modul darüber, wiederum mit 2 Aluminium Profilen an Ober- und Unterkante (Breite 12 cm) befestigt.
- in einem Abstand von 2 cm wurde ein zweites PV-Modul neben dem zu prüfenden oberhalb der Brandkammer montiert, um etwaige Auswirkungen in horizontaler Richtung zu beobachten (dient nicht als Nachweis einer etwaigen Montage oberhalb einer Fensteröffnung!)
- 120 mm Steinwolle
- Komponenten Fassadensystem wie oben
- 60 mm Hinterlüftungsspaltbreite ohne horizontaler oder vertikaler Brandschutzmaßnahme
- 1 Holzkrippe mit ca. 9 kg

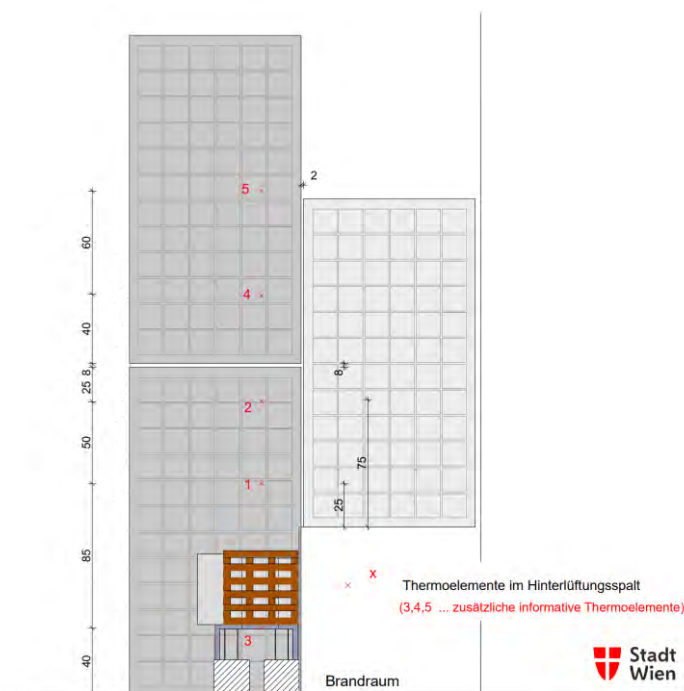


Abbildung 9-35: Prinzipskizze Prüfanordnung



Abbildung 9-36: Prüfanordnung vor dem Brandversuch (Holzkrippe im Brandraum war nicht Teil des Versuches)



Abbildung 9-37: optische Veränderung oberhalb der Holzkrippe

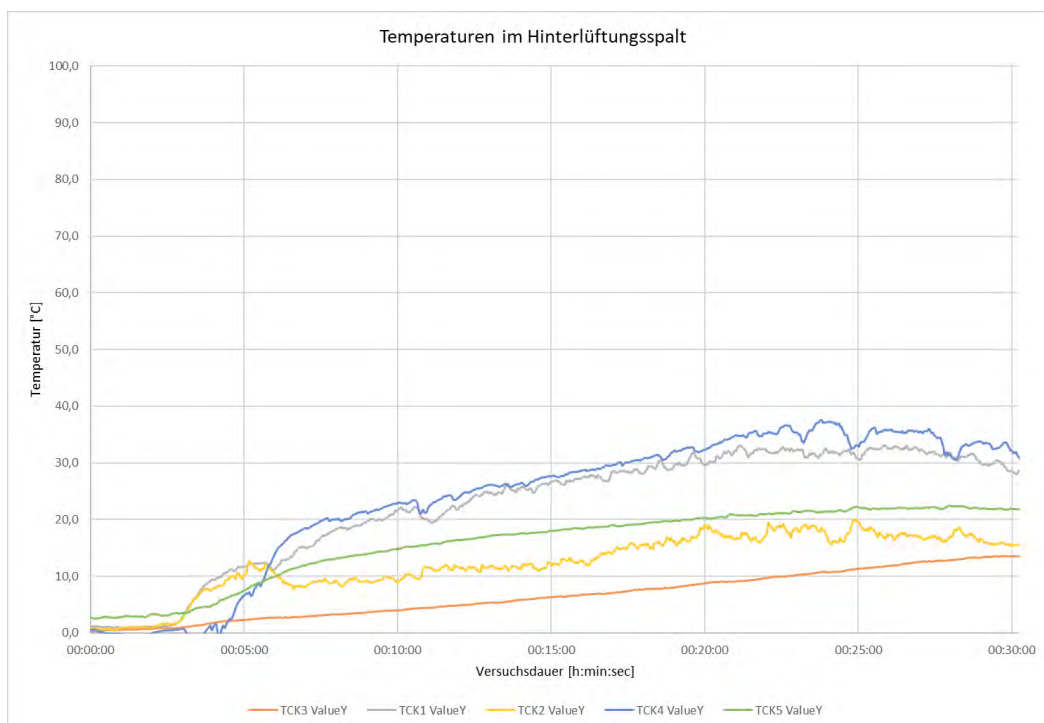


Abbildung 9-38: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt

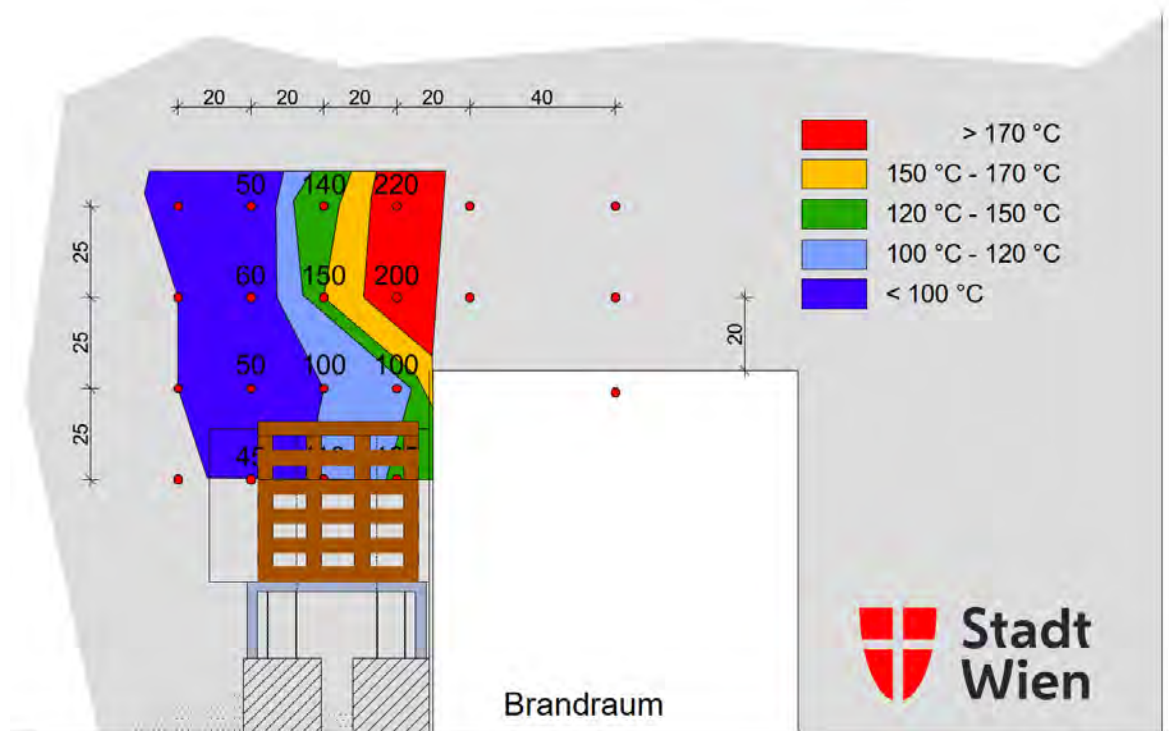


Abbildung 9-39: Temperaturverteilung an der Fassade bzw. PV-Modul Oberfläche

Es konnte unter den gewählten Prüfbedingungen optisch keine Brandweiterleitung an den PV-Module während der Prüfung beobachtet werden. Es sind keine großen Teile ($> 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 3 \text{ kg}$) abgefallen. Die Temperaturen zwischen den PV-Modulen und der Dämmung lagen unter 100 °C . Es konnte eine optische Veränderung in der Solarzellenebene festgestellt werden. An den Aluminiumhalterungen und Profilen konnte keine Beschädigung nach dem Brandversuch festgestellt werden.

10 Ergebniszusammenfassung

Die Ergebniszusammenfassung des gegenständlichen Forschungsprojektes darf anhand der eingangs definierten ersten drei Projektschritte vorgenommen werden.

1. Durchführung von Brandversuchen zur Ermittlung der Temperaturentwicklung an Fassadenoberflächen bei einem Fensterausbrand, die auch sonstige in Hochhäusern gemäß OIB-Richtlinie 2.3 geforderte Brandschutzmaßnahmen berücksichtigen, insbesondere automatische Löschanlagen (Sprinkleranlage)

Es wurden im Sinne einer Doppelbestimmung zwei Realbrandversuche durchgeführt, wobei für Wohnräume typische Brandlasten angesetzt, Sprinkler praxisnah eingesetzt wurden und umfangreiche Temperaturmessungen an einer simulierten Fassadenoberfläche beim Fensterausbrand aus diesem Raum vorgenommen wurden.

2. Übertragung dieser Ergebnisse insbesondere was die angesetzte Brandlast betrifft auf den normgemäßen Prüfstand für Fassadenbrandprüfungen nach ÖNORM B 3800-5

Diese Übertragung stellte den Hauptteil der Forschungsarbeit dar. Es waren rund 20 Versuche am Fassadenprüfstand gemäß ÖNORM B 3800-5 notwendig, um reproduzierbar ähnliche Temperaturverhältnisse am Laborprüfstand zu erreichen wie in den Realbrandversuchen. Schlussendlich konnte eine Anordnung mit einer 9 kg schweren Holzkrippe neben der Brandkammer gefunden werden, wobei auch diese Prüfanordnung im Vergleich zu den Vorversuchen in Linz eher auf der kritischeren Seite liegt, da vor allem zu Beginn der Prüfung trotz Verwendung einer Abschirmung aus nichtbrennbaren Platten zwischen Holzkrippe und PV-Modul durchgehend höhere Temperaturen am PV-Modul gemessen werden als dies an den vergleichbaren Oberflächen bei den Realbrandversuchen der Fall war.

3. Prüfung von Glas-Glas-PV-Modulen (im spannungslosen Zustand) der Brandverhaltensklasse B in diversen, praxisnahen Anordnungen am Prüfstand nach ÖNORM B 3800-5 unter den zuvor verifizierten Versuchsbedingungen

Es konnte bei keinem der Brandversuche eine horizontale oder vertikale Brandweiterleitung beobachtet werden – weder an der Oberfläche noch an der Rückseite der Glas-Glas-Module, bei geprüften Glasschichtdicken von 2 x 6 mm und 2 x 8 mm. Ein Bruch von Glasschichten konnte bei keinem Versuch festgestellt werden, egal ob die Module mit Rahmen oder rahmenlos geprüft wurden. Eine Sekundärbrandgefahr durch abfallende, brennende Teile konnte nicht beobachtet werden.

Es sind keine großen Teile abgefallen ($\geq 0,4 \text{ m}^2$ oder $> 3 \text{ kg}$) oder sonstige wesentliche Teile.

Die gemessenen Temperaturen im ca. 60 mm breiten Hinterlüftungsspalt betrugen maximal ca. 100 °C. An der Unterkonstruktion bzw. den Modulhalterungen konnte keine thermische Beeinträchtigung festgestellt werden. Es wurde jedoch keine Überprüfung hinsichtlich Erhalt von mechanischen Eigenschaften nach den Brandversuchen vorgenommen und somit kann dazu keine Aussage getätigt werden.

Eine optische Veränderung der Solarzellen konnte festgestellt werden. Ein Verflüssigen der Folie (Einbettungsfolie) zwischen den Glasscheiben und deren zähflüssiges nicht-brennendes Austreten konnte beobachtet werden und ist in den Abbildungen 10-1 bis 10-4 beispielhaft dargestellt.

Alle Versuche wurden ohne spezielle Brandschutzmaßnahmen, wie z.B. Brandsperren oder Ablenkungsbleche durchgeführt.



Abbildung 10-1: Austreten von geschmolzener Folie



Abbildung 10-2: optische Veränderung am PV-Modul



Abbildung 10-3: optische Veränderung am PV-Modul



Abbildung 10-4: Austreten von geschmolzener Folie

11 Diskussion und Ausblick

Aus den bei den Versuchen gewonnenen Erkenntnissen ergeben sich für die MA 39 folgende tragfähige Aussagen, die gleichzeitig Empfehlungen für die Applikation von PV-Modulen an hohen Hochhäusern darstellen. Dies gilt ausschließlich für jene Hochhäuser, die zumindest über eine automatische Löschanlage mit dem Schutzziel „Verhinderung der vertikalen Flammenübertragung“ verfügen.

PV-Module mit den anschließend angeführten Eigenschaften wurden dem erarbeiteten Brandszenario eines Fensterausbrandes aus gesprinklerten Räumen unterzogen und haben die Kriterien in Anlehnung ÖNORM B 3800-5 positiv erfüllt.

Positiv geprüfte Konfigurationen – PV-Module

- Glas-Glas-Module mit einer Brandverhaltensklasse B mit einer Mindestdicke der beiden Glasschichten von je 6 mm
- zwei Einbettungsfolien aus beliebigem Polymer mit einer Maximaldicke von je 0,76 mm
- mit Kunststoffanschlussdose
- mit Rahmen mindestens der Brandverhaltensklasse A2 entsprechend oder ohne Rahmen
- Dimensionen der Module bis zu 1200 mm x 2100 mm (B x L)

Die PV-Module wurden in folgenden Konstruktionsanordnungen geprüft und zeigten positive Ergebnisse.

Positiv geprüfte Anordnung der PV-Module als Fassadenelement

- prinzipiell als ein vorgehängtes hinterlüftetes System mit metallischer Unterkonstruktion, egal ob Aluminium oder Edelstahl
- Wärmedämmung aus Mineralwolle mindestens der Brandverhaltensklasse A2 mit einem Schmelzpunkt größer als 1.000 °C
- Hinterlüftungsspaltbreite im bauphysikalisch üblichen Bereich von 40 mm bis 60 mm
- Abstände zwischen PV-Modulen in horizontaler und vertikaler Richtung von 0 bis 50 mm
- Anordnung nicht über Außenwandöffnungen, sondern horizontal neben Außenwandöffnungen, horizontaler Abstand zu den Öffnungen von mindestens 50 mm

Beispielsweise ist auf Basis der Ergebnisse die in anschließender Abbildung skizzierte Anordnung von oben definierten PV-Modulen möglich ohne die brandschutztechnischen Schutzziele, die grundsätzlich an Fassadensysteme entsprechend der OIB-Richtlinie 2.3 gestellt werden, zu beeinträchtigen.

Geprüft wurden Ausbrände aus Räumen (Raumstruktur mit einer Grundfläche vom 40 m²), die mittels einer automatischen Feuerlöschanlage geschützt sind. Daraus abgeleitet können Module auf Basis der Ergebnisse dieses Forschungsberichtes nicht direkt (auch nicht seitlich) an Loggien oder Balkonen angebracht werden, falls diese Bereiche nicht mittels einer automatischen Löschanlage geschützt sind.

Darüber hinaus sind größere Brände, welche im Nahbereich der Fassade auftreten können, durch diesen Forschungsbericht nicht abgedeckt. Dabei könnte es sich beispielhaft um Brände von KFZ oder von Müllsammelstellen handeln. Daraus abgeleitet kann ein gefahrloses Anbringen von PV-Modulen im unteren Bereich von Gebäuden (beispielsweise bis zu einer Höhe von 7 m über dem angrenzenden Gelände) aus diesem Forschungsbericht nicht abgeleitet werden. Die Beurteilung, ob PV-Module im bodennahen Bereich möglich sind, hängt von konkreten Randbedingungen des

Objektes ab und wäre beispielsweise in einem Brandschutzkonzept bzw. in einem Behördenverfahren zu behandeln.

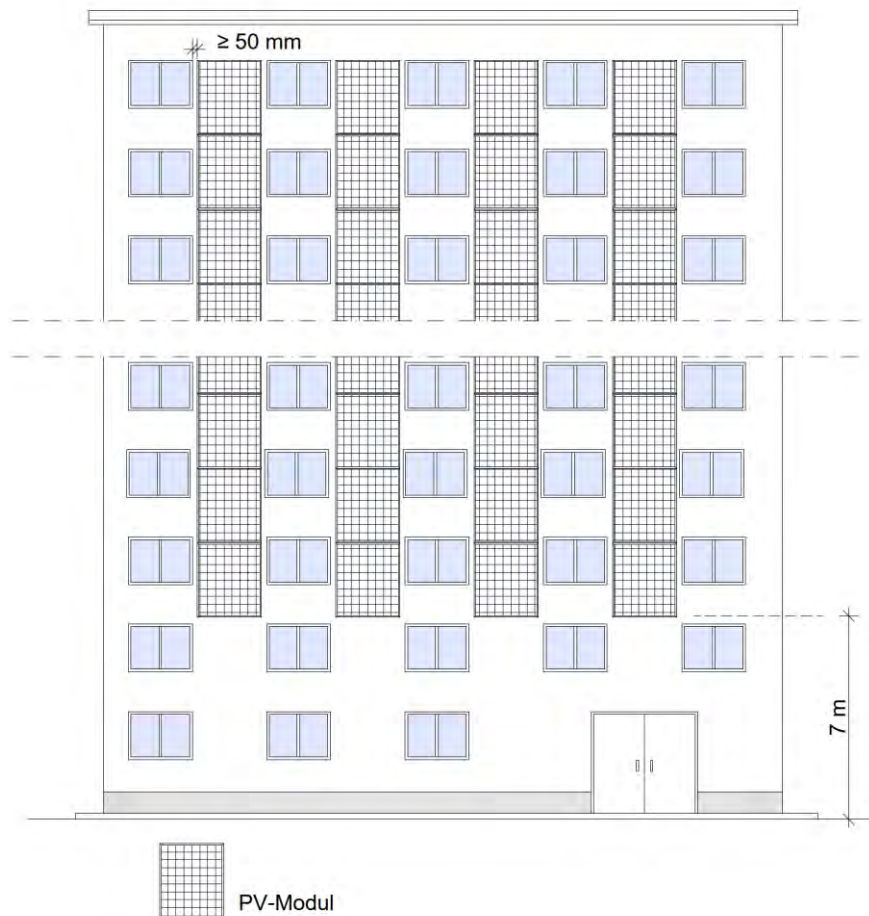


Abbildung 11-1: mögliche Anordnung von PV-Modulen neben Fensteröffnungen

Diese Schlussfolgerungen aus den Versuchen sind nun mit den relevanten Expertinnen und Experten, in Wien insbesondere mit jenen der MA 37 – KSB (Kompetenzstelle Brandschutz der Wiener Baupolizei) sowie der MA 68 (Feuerwehr und Katastrophenschutz) zu diskutieren, um in weiterer Folge brandschutztechnische Regelungen und Möglichkeiten für die Anordnung von PV-Modulen an Fassaden von Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 32 m zu gestalten. Erste experimentell belastbare Grundlagen dafür wurden mit dieser Arbeit geschaffen. In diesem Zusammenhang wären auch Vorgaben hinsichtlich der Führung der Verkabelung an der Fassade und in das Gebäude inkl. möglicherweise erforderlicher Abschottungen festzulegen.

Für die Anwendung von PV-Modulen an Balkonen oder im Zusammenhang mit Fensterbändern und einer Anordnung von PV-Modulen direkt oberhalb von Außenwandöffnungen hoher Hochhäuser ist jedenfalls eine weiterführende Forschung erforderlich. Zudem sind in nächster Zeit Weiterentwicklungen (auch brandschutztechnischer Natur) bei PV-Modulen und deren Befestigung zu erwarten, sodass sich auch dadurch zusätzliche Felder ihrer Fassadenapplikation ergeben können.

12 Verzeichnisse

12.1 Literaturverzeichnis

- [1] Wiener Sonnenstrom-Offensive, Stadt Wien, abgerufen unter <https://sonnenstrom.wien.gv.at/> [6. Dezember 2023]
- [2] OIB-Richtlinie 2.3: Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m, OIB-330.2-032/23, Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 2023
- [3] ÖNORM B 3800-5: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 5: Brandverhalten von Fassaden - Anforderungen, Prüfungen und Bewertungen, Austrian Standards Institute, Wien, 2023
- [4] Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden (ÖFHF): Brandschutz bei hinterlüfteten Fassaden, www.oefhf.at, 2018
- [5] OIB-Richtlinie 2: Brandschutz, OIB-330.2-029/23, Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 2023
- [6] ÖNORM EN 13501-1: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, Austrian Standards Institute, Wien, 2020
- [7] vfdb Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, vfdb TB 04-01, Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Münster, Braunschweig, 2020
- [8] OVE EN IEC 61730-2: Photovoltaik (PV) Module - Sicherheitsqualifikation - Teil 2: Anforderungen an die Prüfung, Austrian Standards Institute, Wien, 2018
- [9] ÖNORM EN ISO 1716: Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten - Bestimmung der Verbrennungswärme (des Brennwertes), Austrian Standards Institute, Wien, 2019
- [10] OVE-RICHTLINIE R 11-1: PV-Anlagen – Zusätzliche Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Anforderungen zum Schutz von Einsatzkräften der Feuerwehr, 2022

12.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1: Schichtaufbau eines typischen PV-Moduls	7
Abbildung 5-2: hinterlüftetes Fassadensystem (Prinzipskizze, aus [4]).....	9
Abbildung 6-1: Brandzenarien an einer Gebäudeaußenwand (Prinzipskizze, aus [4])	12
Abbildung 6-2: Anforderungen an das Brandverhalten von hinterlüfteten Fassadensystemen (Auszug, aus [2])	13
Abbildung 7-1: Temperaturmessstellennetz zur Ermittlung der thermischen Beanspruchung der Fassade.....	18
Abbildung 7-2: Ansicht Fassade – Detail Temperaturmessstellen in den Bereichen um die simulierten Fensteröffnungen	18
Abbildung 7-3: Aufbau der Fassade.....	19
Abbildung 7-4: Position eines Sprinklers.....	19
Abbildung 7-5: Brandlast im hinteren Raumteil abgebildet durch gestapelte Einwegpaletten	19
Abbildung 7-6: Versuchsdurchführung (der Flammenaustritt am Fenstersturz ist ersichtlich)	19
Abbildung 7-7: Ansicht des Brandraums von hinten mit den beiden Zuluftöffnungen	20

Abbildung 7-8: In Brand setzen des Ethanol in einer Wanne unter dem Palettenstapel	20
Abbildung 7-9: Temperaturen in [° C] gemessen im Bereich A.....	21
Abbildung 7-10: Temperaturen in [° C] gemessen im Bereich B	22
Abbildung 7-11: Temperaturen in [° C] gemessen im Brandraum (Die Brandwaage zur Bestimmung des Abbrandes versagte ab der 14. Minute des Versuches.)	22
Abbildung 7-12: Temperaturen in [° C] gemessen im Sturzbereich	23
Abbildung 7-13: Temperaturen in [° C] gemessen im Bereich A.....	24
Abbildung 7-14: Temperaturen in [° C] gemessen im Bereich B	24
Abbildung 7-15: Temperaturen in [° C] gemessen im Brandraum	25
Abbildung 7-16: Temperaturen in [° C] gemessen im Sturzbereich	25
Abbildung 7-17: Temperaturverteilung an der Fassade - Brandversuch vom 27. Juni 2023	26
Abbildung 7-18: Temperaturverteilung an der Fassade - Brandversuch vom 28. Juni 2023	26
Abbildung 8-1: beispielhafte Ansicht und Grundriss des Fassadenprüfstandes, Maße in mm (aus [3])	28
Abbildung 8-2: Lage der Thermoelemente, Maße in mm (aus [3]).....	29
Abbildung 8-3: Versuchsanordnung gemäß ÖNORM B 3800-5 (exemplarisch normgemäße Prüfung an einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade, Prüfung vom 1. Juni 2023).....	30
Abbildung 8-4: IR-Aufnahme während des ÖNORM B 3800-5 gemäßen Brandversuches (rechts Brandkammerbereich).....	30
Abbildung 8-5: zusätzliche Temperaturmessstellenanordnung neben der Brandkammer und gemessene Temperaturen bei einer Normprüfung nach ÖNORM B 3800-5	31
Abbildung 8-6: zum Vergleich: Temperaturverläufe der beiden Vorversuche in Linz im Bereich neben den Fensterstürzen.....	31
Abbildung 8-7: Flammenaustritt aus dem Brandraum während des Brandversuches	32
Abbildung 8-8: IR-Aufnahme während des Versuches.....	32
Abbildung 8-9: Temperaturmessstellenanordnung und gemessene Temperaturen	32
Abbildung 8-10: zum Vergleich: Temperaturverläufe der beiden Vorversuche in Linz im Bereich neben den Fensterstürzen.....	33
Abbildung 8-11: Veränderte Geometrie der Holzkrippe	33
Abbildung 8-12: Halbierte Holzkrippen	34
Abbildung 8-13: Aufnahme während des Brandversuches	34
Abbildung 8-14: Aufnahme der Holzkrippenanordnung.....	34
Abbildung 8-15: IR-Aufnahme während des Brandversuches.....	34
Abbildung 8-16: Versuchsanordnung und Temperaturmessstellen.....	35
Abbildung 8-17: Temperaturvergleich mit den Vorversuchen Linz	35
Abbildung 8-18: Prinzip der entwickelten Prüfanordnung am Fassadenprüfstand	36

Abbildung 9-1: Komponenten der Unterkonstruktion	41
Abbildung 9-2: Montage von PV-Modulen	41
Abbildung 9-3: Unterkonstruktion	41
Abbildung 9-4: Dämmung mit Steinwolle	41
Abbildung 9-5: Abmessen der Gesamtdicke	41
Abbildung 9-6: Prinzipskizze Prüfanordnung	43
Abbildung 9-7: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt	43
Abbildung 9-8: Temperaturverteilung an der Fassade bzw. PV-Modul Oberfläche	44
Abbildung 9-9: Prüfanordnung während des Brandversuches	44
Abbildung 9-10: PV-Module nach dem Brandversuch	44
Abbildung 9-11: Prinzipskizze Prüfanordnung	45
Abbildung 9-12: Prüfanordnung vor dem Brandversuch (die Holzkrippe im Brandraum war nicht Bestandteil des Versuches)	46
Abbildung 9-13: PV-Module nach dem Brandversuch	46
Abbildung 9-14: IR-Aufnahme bei Zusammenbruch der Holzkrippe	46
Abbildung 9-15: IR-Aufnahme vor Versuchsende	46
Abbildung 9-16: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt	47
Abbildung 9-17: Prinzipskizze Prüfanordnung	48
Abbildung 9-18: Prüfanordnung vor dem Brandversuch (Holzkrippe im Brandraum war nicht Bestandteil des Versuches)	49
Abbildung 9-19: PV-Module nach dem Brandversuch	49
Abbildung 9-20: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt	49
Abbildung 9-21: Prinzipskizze Prüfanordnung	50
Abbildung 9-22: Prüfanordnung vor dem Brandversuch	51
Abbildung 9-23: Prüfanordnung vor dem Brandversuch	51
Abbildung 9-24: Prüfanordnung während des Brandversuches	51
Abbildung 9-25: PV-Module nach dem Brandversuch	51
Abbildung 9-26: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt	52
Abbildung 9-27: Temperaturverteilung an der Fassade bzw. PV-Modul Oberfläche	52
Abbildung 9-28: Prinzipskizze Prüfanordnung	53
Abbildung 9-29: Prüfanordnung vor dem Brandversuch	54
Abbildung 9-30: PV-Module Abstand übereinander	54
Abbildung 9-31: Prüfanordnung während des Brandversuches	54
Abbildung 9-32: PV-Module nach dem Brandversuch	54
Abbildung 9-33: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt	55

Abbildung 9-34: Temperaturverteilung an der Fassade bzw. PV-Modul Oberfläche	55
Abbildung 9-35: Prinzipskizze Prüfanordnung.....	56
Abbildung 9-36: Prüfanordnung vor dem Brandversuch (Holzkrippe im Brandraum war nicht Teil des Versuches).....	57
Abbildung 9-37: optische Veränderung oberhalb der Holzkrippe	57
Abbildung 9-38: Temperaturen im Hinterlüftungsspalt.....	57
Abbildung 9-39: Temperaturverteilung an der Fassade bzw. PV-Modul Oberfläche	58
Abbildung 10-1: Austreten von geschmolzener Folie	60
Abbildung 10-2: optische Veränderung am PV-Modul.....	60
Abbildung 10-3: optische Veränderung am PV-Modul.....	60
Abbildung 10-4: Austreten von geschmolzener Folie	60
Abbildung 11-1: mögliche Anordnung von PV-Modulen neben Fensteröffnungen	62

12.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 9-1: Übersichtstabelle Variationen von PV-Modulen	39
---	----