



Masterarbeit

Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme im Brandfall

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs
der Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch
Institut für Hochbau und Bauphysik

betreut von

Dipl.-Ing. Dr. Arthur Eisenbeiss

und

Dipl.-Ing. Peter-Frank Donauer, MEng

IBS – Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H.

eingereicht an der Technischen Universität Graz
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

von

Martin Karl Michelitsch, BSc.

Matrikelnummer 0330717

8071 Vasoldsberg, Sonnenstraße 12

Graz, 01. Mai 2012

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einem Betreuer, einer Betreuerin) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, 01.05.2012

(Martin Karl Michelitsch, BSc.)

Danksagung

Mein Dank gilt all denjenigen, die mir im Zeitraum der Verfassung dieser Diplomarbeit mit Rat und Tat, sowie mit geistigem und emotionalem Beistand zur Seite gestanden haben und hierdurch maßgeblich am positiven Abschluss dieser Masterarbeit Anteil haben.

Für die Betreuung Seitens der Technischen Universität Graz bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch.

Für die externe Betreuung und die Bereitstellung von Arbeitsmitteln seitens des IBS – Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. gilt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. Dr. Arthur Eisenbeiss und Herrn Dipl.-Ing. Peter-Frank Donauer, MEng.

Für die zahlreichen zur Verfügung gestellt Unterlagen seitens der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum bedanke ich mich sehr herzlich bei Herrn Dipl.-Ing. Dr. Clemens Demacsek (GF).

Für die Unterstützung während meiner Studienzeit, die Bereitstellung sämtlicher Arbeitsmittel und die aufschlussreichen fachlichen Gespräche im Rahmen dieser Masterarbeit bedanke ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Norbert Rabl stellvertretend für die Norbert Rabl Ziviltechniker GmbH und alle Mitarbeiter.

Für die Bereitstellung von Arbeitsmitteln und Arbeitsraum im Rahmen des VZS – Verkehrswesen Zeichensaal der Technischen Universität Graz gilt mein Dank dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen, sowie dem Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft für die Unterstützung, sowie allen Mitgliedern des VZS für die fachlichen Gespräche und den emotionalen Beistand während der Verfassung dieser Masterarbeit.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch emotional und finanziell unterstützt hat, mir zu jedem Zeitpunkt ein Rückhalt war und als starke Stütze dieses Studium, sowie diese Masterarbeit überhaupt erst möglich gemacht hat.

Graz, 01.05.2012

(Martin Karl Michelitsch, BSc.)

Kurzfassung

Diese Arbeit ist in einen praktischen und einen theoretischen Teil gegliedert.

Der praktische Teil behandelt die Planung, Organisation, Durchführung, Dokumentation und Beurteilung eines Brandversuches an einem mit einem Außenwand-Wärmedämm-Verbundsystem beschichteten auskragenden Fassadenbauteil im Realmaßstab. Ziel dabei ist es festzustellen, wie sich das Brandverhalten der Fassadenkonstruktion unter der Auskragung darstellt und ob sich daraus ein Erfordernis eines nichtbrennbar auszuführenden Wärmedämmverbundsystems an der Untersicht ergibt.

Der theoretische Teil dieser Arbeit umfasst die Recherche über alle aktuellen Normbrandversuchsverfahren sowohl auf nationaler Ebene, wie auch auf europäischer Ebene. Dies beinhaltet sowohl alle Klassifizierungsprüfverfahren für Baustoffe von Wärmedämmverbundsystemen in Bezug auf die Brennbarkeit und das Brandverhalten, als auch alle Bauteilprüfverfahren für Fassadenkonstruktionen mit Gültigkeit für Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme. Des Weiteren wird eine Vielzahl an erfassbaren Brandfällen an mit Wärmedämmverbundsystemen versehenen Gebäuden angeführt, die aktiv oder passiv Auswirkungen auf die Fassadenkonstruktion hatten und die Ursachen des Brandes, sowie die Auswirkungen auf den Umgang mit derartigen Systemen behandelt. Als weiterer Punkt wird eine Vielzahl an verfügbaren durchgeführten Normbrandversuche, normnahe Versuche und Naturbrandversuche erfasst und die gesammelten Ergebnisse ausgewertet. Ziel dabei ist es, einen Überblick über die brandschutztechnischen Anforderungen an Wärmedämmfassaden und die Problemstellen an denselben zu veranschaulichen, um damit einerseits den Bezug zu den einschlägigen Vorschriften betreffend wärme gedämmter Fassaden zu erklären und andererseits die Hintergründe in Bezug auf die Entwicklung brandschutztechnischer Zusatzmaßnahmen zu erläutern.

Abstract

This work is divided into a practical and a theoretical part.

The practical part deals with planning, organisation, execution, documentation and assessment of a fire test at a projecting facade element in actual scale coated with an external-wall thermal insulation composite system. The aim in doing so is to establish how the facade construction beneath the cantilever reacts to fire, and whether this gives rise to the need for the provision of a non-combustible thermal insulation composite system at the soffit.

The theoretical part of this work covers research on all current standard fire test procedures on the national level as well as on the European level. This not only includes all the classifying test methods for thermal insulation composite system construction materials with regard to flammability and reaction to fire, but also component test methods for facade constructions intended for external wall thermal insulation composite systems. Additionally, a number of ascertainable cases of fires in buildings furnished with thermal insulation composite systems are cited, which have actively or passively had an impact on the facade construction, and it deals with the causes for fire, as well as the impact made on the way such systems are handled. Furthermore, a number of available standard fire tests that have been carried out, standard tests, tests of natural (incidence of) fires are compiled and the results gathered are assessed. The aim being to present an overview of the fire safety requirements for thermally insulated facades and the problem areas of the same, in order to explain on the one hand the basis for the relevant rules relating to thermally insulated facades and on the other hand to provide the background for the formation of additional measures for fire safety.

Inhaltsverzeichnis

Theorieteil – WDVS im Brandfall	7
1 WDVS	7
1.1 WDVS – Allgemeines	7
1.2 Geschichtliche Entwicklung des WDVS	8
1.3 Dämmstoffarten – ÖNORM B 6000 (Ausg. 01/2010)	8
1.4 Brandschutz bei WDV-Systemen mit EPS	9
1.5 Brennbarkeitsanforderungen WDVS	11
1.6 Brandverhalten von Polystyrol-Hartschaum	12
1.7 Brandverhalten des WDV-Systems	13
1.8 Die Brandriegel- (Brandsperr-) Thematik	14
1.9 Brandriegel Anwendung	16
1.10 Brandschutztechnische Anforderungen an WDVS – Österreich	17
1.11 Zulassung	19
2 Brandfälle an Bauwerken mit WDVS	20
2.1 Beispiele Reale Brände	20
2.1.1 07.06.1992 – Schweiz, Adliswil	20
2.1.2 20.10.2004 – Österreich, Graz	21
2.1.3 12.04.2005 – Deutschland, Berlin Pankow	21
2.1.4 08.12.2005 – Österreich, Vorau	23
2.1.5 20.12.2006 – Österreich, Kleinhaugsdorf	23
2.1.6 09.10.2007 – Österreich, Güssing	24
2.1.7 22.06.2008 – Österreich, Leoben	25
2.1.8 14.11.2010 – Frankreich, Dijon	25
2.1.9 27.12.2010 – Österreich, Grünbach	26
2.1.10 11.06.2011 – Deutschland, Delmenhorst	27
2.1.11 05.08.2011 – Österreich, St. Georgen	28
2.1.12 07.12.2011 – Österreich, Wien	29
2.1.13 23.01.2012 – Ungarn, Miskolc	30
2.1.14 Zusammenfassung / Auswertung	30
2.2 Naturbrandversuche und Brandsimulationen	33
2.2.1 13.12.2005 – Deutschland, Bad Salzungen	33
2.2.2 19.09.2007 – Österreich, Graz	34
2.2.3 03.10.2008 – Österreich, Mödling	36
2.2.4 29.04.2011 – Österreich, Graz	37
2.2.5 28.11.2011 – Deutschland, Braunschweig	39
2.2.6 Zusammenfassung / Schlussfolgerung	41

3	Labor- und Normbrandprüfungen	42
3.1	Grundsätze der Fassadenprüfungen	42
3.1.1	Schutzziele	42
3.1.2	Brandlast	44
3.2	Baustoffprüfung – Europäische Normung (CEN)	45
3.2.1	EN 13501-1 (Ausc.12/2009)	45
3.2.2	EN ISO 11925-2 (Ausc.02/2011)	46
3.2.3	EN 13823 (Ausc.01/2011)	46
3.2.4	EN ISO 1182 (Ausc.09/2010)	48
3.2.5	EN ISO 1716 (Ausc.11/2010)	48
3.3	Fassadenprüfung – Europäische Normung (CEN)	49
3.3.1	EN 13501-2 (Ausc.02/2010)	49
3.3.2	EN 1364-4 (Ausc.05/2007)	50
3.3.3	Fazit	50
3.4	Fassadenprüfung – Internationale Normung (ISO)	51
3.4.1	ISO 13785-1 (Ausc.12/2002)	51
3.4.2	ISO 13785-2 (Ausc.12/2002)	52
3.5	Fassadenprüfung – National, Österreich	54
3.5.1	VORNORM ÖNORM B 3800-5 (Ausc.05/2004)	54
3.6	Fassadenprüfung – National, Deutschland	56
3.6.1	NORMVORSCHLAG DIN 4102-20	56
4	Erfasste Normbrandprüfungen und normnahe Prüfungen ...	58
4.1	IBS – Institut für Brandschutz und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H., Linz	58
4.1.1	03.07.2007 – Versuch gemäß ÖNORM B 3800-5	58
4.1.2	30.09.2010 – Prüfung in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5	59
4.1.3	19.10.2010 – Prüfung in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5	60
4.1.4	11.11.2010 – Prüfung in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5	62
4.1.5	20.01.2011 – Prüfung einer Durchfahrt	64
4.1.6	18.11.2010 – Prüfung einer Durchfahrt	65
4.1.7	13.12.2011 – Prüfung einer Untersicht eines vorspringenden Geschoßes .	67
4.2	MA39 – Magistratsabteilung 39, Wien	69
4.2.1	04.09.2002 – Orientierende Prüfung	69
4.2.2	31.03.2003 – Prüfung Fassadenkonstruktion	70
4.2.3	16.05.2003 – Prüfung Fassadenkonstruktion	72
4.2.4	07.11.2003 – Prüfung gemäß ÖNORM B 3800-5	73
4.2.5	28.11.2003 – Prüfung in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5	75
4.2.6	19.04.2007 – Prüfung gemäß ÖNORM B 3800-5	77
4.2.7	28.06.2007 – Prüfung gemäß ÖNORM B 3800-5	79
4.2.8	22.04.2010 – Prüfung einer Loggia-Nische	80
4.2.9	23.04.2010 – Prüfung einer Loggia-Nische	81
4.2.10	02.09.2010 – Prüfung einer Loggia-Nische	83

4.3	MFPA Leipzig GmbH.....	84
4.3.1	24.07.2008 – Prüfung gemäß DIN 4102-20	84
4.3.2	24.07.2008 – Prüfung gemäß DIN 4102-20	85
4.4	Zusammenfassung / Erkenntnisse	86
4.4.1	Fensterausbrand	86
4.4.2	Brandbelastung von außen.....	87
4.4.3	Brand in einem Nebengebäude	88
Praktischer Teil - Brandprüfung		90
1	Hintergrund/Anlass zu dieser Brandprüfung	90
2	Planungsphase der Brandprüfung	90
2.1	Prüfungsgrundlagen	90
2.2	Zieldefinition der Brandprüfung	91
2.3	Konstruktion des Prüfkörperrohbaus	91
2.4	Aufbau der Fassadenkonstruktion	92
2.5	Brandlast/Brandleistung	92
2.6	Beteiligung an der Planungsphase	93
3	Vorbereitungsphase der Brandprüfung.....	94
3.1	Herstellung Prüfaufbau	94
3.2	Beteiligung an der Vorbereitungsphase	95
4	Durchführung der Brandprüfung	97
4.1	Ablauf der Brandprüfung	97
4.2	Beteiligung an der Durchführungsphase	98
5	Auswertung der Prüfdaten	98
6	Ergebnis/Beurteilung der Brandprüfung	99
6.1	Ergebnisse	99
6.1.1	Temperaturmessung	99
6.1.2	Windmessung	100
6.1.3	Schädigung der Fassadenkonstruktion	100
6.2	Beurteilung	101
Zusammenfassung / Schlusswort		103
Literaturverzeichnis		105
Abbildungsverzeichnis		110
Anhang - Prüfbericht		113

Begriffsdefinitionen / Abkürzungen

CEN „Comité Européen de Normalisation“

Europäisches Institut für Normung mit Sitz in Belgien, Brüssel.

ECHA „European Chemicals Agency“

Der Europäischen Chemikalienagentur obliegt die Organisation und Kontrolle im Prozess der REACH.

Entzündung

Auftreten von andauerndem Brennen einer Flamme ^[57]

EOTA „European Organisation for Technical Approvals“

Europäische Organisation für technische Zulassungen

ETAG „European Technical Approval Guideline“

Leitlinie für Europäische Technische Zulassungen

Etc. „Et cetera“

Steht für „und so weiter“ (wörtlich übersetzt aus dem Lateinischen „und im Übrigen“)

ETICS „External Thermal Insulation Component System“

Außenwand-Wärmedämmverbundsystem

Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.

Der Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. ist ein Zusammenschluss führender Hersteller von Wärmedämm-Verbundsystemen und Innendämm-Systemen in Deutschland. ^[89]

FIGRA_{0,2 MJ} „Fire Growth Rate“

Feuerwachstumswert in [W/s] ermittelt aus der Wärmefreisetzungsrate und dem zugehörigen Zeitpunkt mit einem THR-Schwellenwert größer als 0,2 MJ ^[60]

FIGRA_{0,4 MJ} „Fire Growth Rate“

Feuerwachstumswert in [W/s] ermittelt aus der Wärmefreisetzungsrate und dem zugehörigen Zeitpunkt mit einem THR-Schwellenwert größer als 0,4 MJ ^[60]

GPH „Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum“

Die GPH ist die Interessensvertretung und Verbandsorganisation der Styropor-Hersteller und -Rohstofflieferanten in Österreich. ^[4]

HBCD „Hexabromcyclododecan“

Hexabromcyclododecan ist ein bromiertes Feuerschutzmittel, welches zur brandschutztechnischen Ertüchtigung von Expandiertem Polystyrol (EPS) in der Anwendung als Fassadendämmung Verwendung findet. ^[14]

HRR „Heat Release Rate“

Wärmefreisetzungsrates der Proben in [kW] ^[60]

IBS „Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H.“

Das IBS mit Standort in A-4017 Linz ist eine seitens des Bundesministeriums für Wirtschaftliche Angelegenheiten staatlich akkreditierte Prüf- und Inspektionsstelle für Brandschutz. ^[54]

ISO „Internationale Organisation für Normung“

Die ISO ist ein Netzwerk von nationalen Normungsinstituten von 163 Ländern mit Sitz in Genf (Schweiz) die das Ziel hat, internationale Normen in allen Bereichen der Wirtschaft zu schaffen. ^[91]

Latente Verdampfungswärme

Wärme, die erforderlich ist, um Wasser vom flüssigen in den gasförmigen Zustand überzuführen. ^[66, 55]

leap-frogging; wörtliche Übersetzung: „Bockspringen“

Als leap-frogging wird bei Brandszenarien der Effekt der Brandweiterleitung (Überspringen) auf ein über dem Brandherd liegendes Geschoß über die Außenhaut des Gebäudes bezeichnet. ^[90]

Nichtsubstanzteil

Baustoff, der keinen bedeutenden Anteil eines nichthomogenen Produktes bildet und dabei ein Verhältnis von Masse zu Fläche von $< 1,0 \text{ kg/m}^2$ und eine Dicke von $< 1,0 \text{ mm}$ aufweist. ^[56]

PBT „persistent, bioaccumulating, toxic“

Durch die PBT-Eigenschaften einer Chemikalie wird der Eintrag in die Umwelt und mögliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und Ökosysteme beschrieben. Durch das Herausstellen der Eigenschaften Persistenz und Bioakkumulationspotenzial in Verbindung mit Toxizität wird der Vorsorgegedanke stärker in der Chemikalienbewertung verankert. ^[16]

PCS „Pouvoir Calorique Supérieur“

Brutto-Verbrennungswärme (Brennwert) in [MJ/kg] oder [MJ/m³], nachdem die Verbrennung vollständig erfolgt und das freigesetzte Wasser vollständig kondensiert ist. ^[66]

PCI „Pouvoir Calorique Inférieur“

Netto-Verbrennungswärme (Heizwert) in [MJ/kg] oder [MJ/m³], einer Substanz, nachdem die Verbrennung vollständig erfolgt ist und das freigesetzte Wasser sich im Dampfzustand befindet. ^[66]

REACH „Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“

Die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) ist eine EU-Chemikalienverordnung, die am 1. Juni 2007 in Kraft getreten ist. REACH steht für die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien. ^[16]

Sandbettbrenner

Die Flamme eines Sandbettbrenners wird durch Verbrennen von Propangas erzeugt, das durch ein Sandbett strömt. ^[60]

SPR „Smoke Production Rate“

Rauchentwicklungsrates in $[m^2/s]$ ^[60]

Substantieller Bestandteil

Baustoff, der einen bedeutenden Anteil eines nichthomogenen Produktes bildet und dabei ein Verhältnis von Masse zu Fläche von $\geq 1,0 \text{ kg/m}^2$ oder eine Dicke von $\geq 1,0 \text{ mm}$ aufweist. ^[56]

SVHC „substance of very high concern“

SVHCs sind chemische Verbindungen (oder Teil einer Gruppe von chemischen Verbindungen), welche unter der REACH-Verordnung mit besonders gefährlichen Eigenschaften identifiziert worden sind. ^[92]

THR „Total Heat Release“

Gesamte Wärmefreisetzung der Proben in $[MJ]$ ^[60]

TRVB „Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz“

Die technischen Richtlinien für vorbeugenden Brandschutz (TRVBs) werden vom TRVB-Arbeitskreis erarbeitet, der sich aus dem Österreichischen Bundesfeuerwehrverband und der Gemeinschaft der österreichischen Brandverhütungsstellen zusammensetzt.

TSP „Total Smoke Production“

Gesamte Rauchentwicklung der Proben in $[m^2]$

Vorhangfassade

Eine Vorhangfassade besteht in der Regel aus vertikalen und horizontalen, miteinander verbundenen, im Baukörper verankerten und mit Ausfachungen ausgestatteten Bauteilen, die eine leichte, raumumschließende ununterbrochene Hülle bilden, die selbständig oder in Verbindung mit dem Baukörper alle normalen Funktionen einer Außenwand erfüllt, jedoch nicht zu den lastaufnehmenden Eigenschaften des Baukörpers beiträgt. ^[88, 55]

WDVS

Abkürzung für „Wärmedämmverbundsystem“

z. B.

Abkürzung für „zum Beispiel“

Theorieteil – WDVS im Brandfall

1 WDVS

1.1 WDVS – Allgemeines

Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) sind aus mehreren Komponenten bestehende und gewerkmäßig hergestellte Dämmsysteme, die entweder zur thermischen Sanierung von Bestandsbauten, oder zur wärmedämmtechnischen Ertüchtigung massiver Außenwände von Neubauten an der Außenseite der Wände angebracht werden.

Diese Dämmsysteme bestehen in der Regel aus einer Dämmebene (Baustoff mit hohem Wärmedämmwert), die entweder durch mechanische Befestigungsmittel oder durch Verkleben auf die Außenwand aufgebracht wird und einer äußeren Schale (Putz, Steinimitat, etc.), welche die Dämmebene allseitig umschließt und diese vor mechanischen und chemischen Einwirkungen sowie vor Witterungseinflüssen schützen soll. Als Dämmstoff kommen hier unter Anderem Expandiertes Polystyrol, Extrudiertes Polystyrol, Mineralwolle, Holzfaser, Kork, Polyurethan und Hanf zur Anwendung. Die Befestigung des Systems an der Außenwand wird je nach Art des WDVS durch Anbringung von speziellen Dübeln unterstützt.

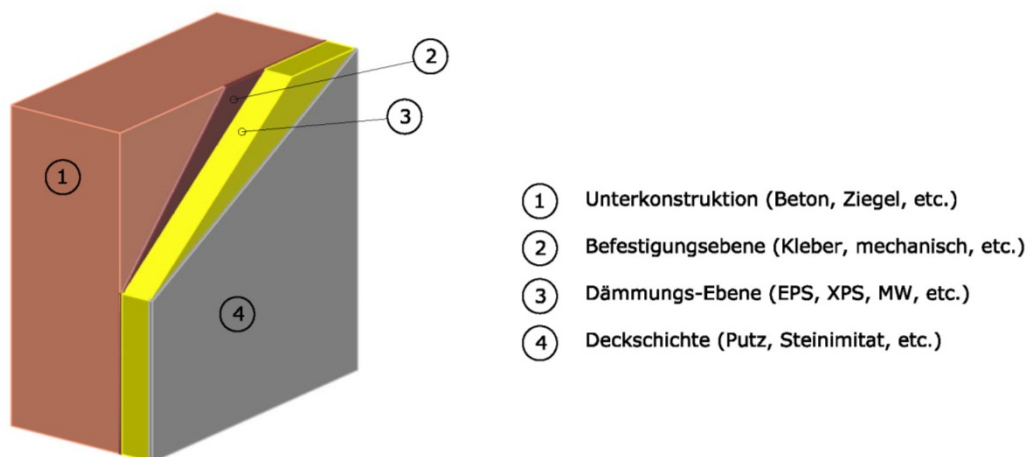


Abb. 1-1: WDVS Allgemein

Umgangssprachlich werden Dämmsysteme dieser Bauart auch als „Vollwärmeschutz“ bezeichnet.

Durch Variieren der Systemstärken (Dicke des Dämmstoffes) kann bei diesem System der gesamte Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand genau auf die Anforderungen an das jeweilige Bauwerk abgestimmt werden.

1.2 Geschichtliche Entwicklung des WDVS

Als Vorreiter unter den für WDV-Systeme verwendeten Dämmstoffen ist in jedem Fall das expandierte Polystyrol (EPS) zu nennen, welches im Volksmund im Allgemeinen als Styropor bekannt ist. Schon wenige Jahre nach dem zweiten Weltkrieg forschten Polymerchemiker nach einer Möglichkeit aus einem Kunststoff einen Schaumstoff zu entwickeln. Dem Ingenieur Dipl.-Ing. Fritz Stastny, zu dieser Zeit tätig in den Labors der Firma BASF in Ludwigshafen (Deutschland), gelang es im Zeitraum zwischen 1949 bis 1952 erstmals EPS-Granulat herzustellen. Während in Berlin schon 1957 das erste Mal ein Wärmedämm-Verbundsystem zum Einsatz kam, begann in Österreich Oswald Nowotny 1953 zwar mit der Produktion von „Styropor“, ließ für die Herstellung von EPS-Platten zu Dämmzwecken aber erst 1964 das erste Styroporplattenwerk errichten. ^{[1][2]}

Den Durchbruch als Dämmstoff schaffte das EPS erst so richtig durch die Erdölschocks in den 70-er Jahren und die damit verbundene Teuerungswelle bei den Energieträgern. Im Rahmen der Energieeinsparungsversuche wurde das EPS in der Baubranche aufgrund seiner einfachen Herstellung, der sehr guten Dämmwirkung und der geringen Kosten schnell akzeptiert und fand seither als Dämmstoff für WDV-Systeme Anwendung. ^[2]

1.3 Dämmstoffarten – ÖNORM B 6000 (Ausg. 01/2010)

- Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau

Diese Norm beinhaltet alle werkmäßig hergestellten Dämmstoffe, welche im Hochbau zur Anwendung kommen. Zusätzlich werden hier die Dämmstoffe nach ihrer Anwendbarkeit eingeteilt. ^[3]

Demnach sind folgende Dämmstoffe für die Anwendung bei WDV-Systemen geeignet:

- Gebundene Mineralwolle (MW)
- Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS)
- Extrudierter Polystyrol-Hartschaum (XPS)
- Polyurethan-Hartschaum (PUR)
- Gebundene Holzwolle (WW)
- Expandierter Kork (ICB)
- Holzfasern (WF) ^[3, S10]

1.4 Brandschutz bei WDV-Systemen mit EPS

Vertieft man sich in die Thematik von Brandversuchen an Fassadenkonstruktionen, so stellt man schnell fest, dass sich der Schwerpunkt hierbei primär auf zwei spezielle Konstruktionen beschränkt.

- 1) Holzfassaden (nicht Gegenstand dieser Arbeit)
- 2) WDVS mit einer Dämmschicht aus Polystyrol-Hartschaum

Betrachtet man die breite Palette von Dämmstoffen, welche ebenfalls bei Wärmedämmverbundsystemen zum Einsatz kommen, so stellt sich die Frage, warum in brandschutztechnischer Hinsicht der Schwerpunkt bei WDV-Systemen auf der Prüfung von EPS-gedämmten Systemen liegt. Dies beruht in erster Linie auf dem komplexen Brandverhalten des Fassadendämmsystems in Kombination mit diesem Dämmstoff (siehe Kapitel Brandverhalten).

Betrachtet man die Marktentwicklung der letzten Jahre (Beispielgrafik deutscher Fachverband WDVS) so ist eindeutig ein steter Aufwärtstrend in der Herstellung von Wärmedämmverbundsystemen und der hohe Marktanteil von Polystyrol-Hartschaum und Mineralwolle zu erkennen. In Bezug auf Wärmedämmverbundsysteme ist hierbei anzumerken, dass in Österreich derzeit rund 8,5 Millionen m² und in Deutschland rund 40 Millionen m² WDVS pro Jahr verlegt werden. ^{[4][5]}

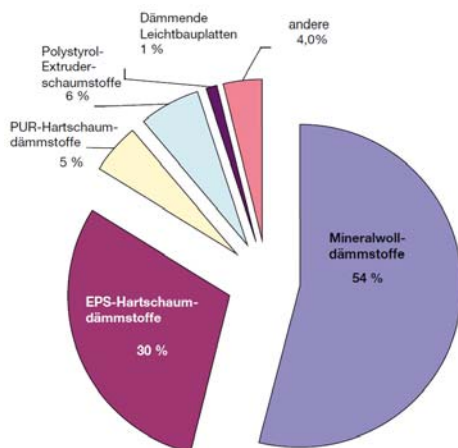


Abb. 1–2: Marktanteile Dämmstoffe ^[5]

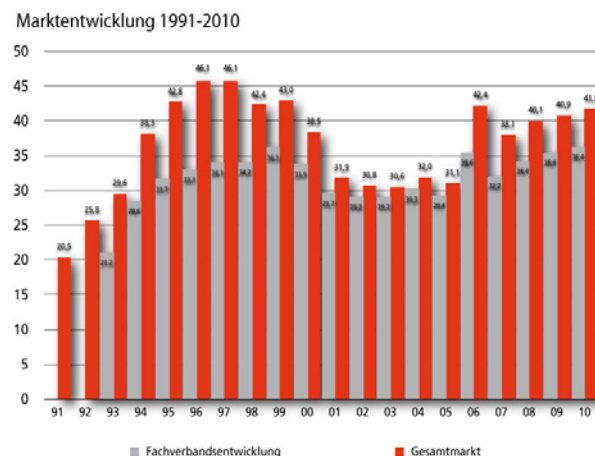


Abb. 1–3: Marktentwicklung WDVS ^[5]

Obwohl einige der alternativen Dämmstoffe in Bezug auf das Brandverhalten mitunter günstigere Eigenschaften aufweisen gibt es eine Vielzahl an Gründen, die für die Anwendung von Polystyrol-Hartschaum als Dämmstoff sprechen und den hohen Marktanteil dieses Dämmstoffes bei WDV-Systemen erklären. In weiterer Folge sind hier die maßgeblichsten der Vorteile von Polystyrol-Hartschaum als Dämmstoff für WDV-Systeme angeführt.

Erfahrung in der Verarbeitung

Die frühe geschichtliche Entwicklung (50er Jahre des 20. Jahrhunderts) und der damit verbundene Erfahrungsreichtum in der Verarbeitung von WDV-Systemen mit Polystyrol-Hartschaum ist einer der Gründe dafür, warum Expandiertes Polystyrol eine derart wichtige Rolle im Bereich von Fassadendämmungssystemen spielt. ^[4]



Abb. 1–4: Verarbeitung von Dämmstoffen aus Polystyrol-Hartschaum ^{[2][6][7]}

Dämmwirkung und Wärmeleitfähigkeit

Einen weiteren Grund stellt auch die Wärmeleitfähigkeit des Expandierten Polystyrols dar. Im Vergleich mit anderen Dämmstoffen zeigt sich, dass Hartschaum-Dämmstoffe durch den hohen Luftgehalt leichte Vorteile bei der Dämmwirkung haben. ^[4]

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
Gebundene Mineralwolle (MW)	0,035 - 0,044
Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS)	0,030 - 0,044
Extrudierter Polystyrol-Hartschaum (XPS)	0,035 - 0,042
Polyurethan-Hartschaum (PUR)	0,025 - 0,030
Gebundene Holzwolle (WW)	0,041 - 0,140
Expandierter Kork (ICB)	0,040
Holzfasern (WF)	0,042 - 0,057

Abb. 1–5: Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen ^[8]

Preis

Die Preisspannen für Dämmstoffe variieren stark in Bezug auf ihre Anwendungsart, Nachfrage und regionalen Unterschieden. Ein Preisvergleich genäherter Werte (siehe Abb. 1-6) der gängigen Dämmstoffe zeigt jedoch schon den maßgeblichsten Kostenvorteil des Expandierten Polystyrols gegenüber seinen Konkurrenten. ^{[4][9]}

Dämmstoff	Preis [EUR/m ² bei d=10cm]
Gebundene Mineralwolle (MW)	13 - 16
Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS)	6 - 13
Extrudierter Polystyrol-Hartschaum (XPS)	13 - 15
Polyurethan-Hartschaum (PUR)	16 - 20
Gebundene Holzwolle (WW)	~ 78
Expandierter Kork (ICB)	~ 50
Holzfasern (WF)	~ 43

Abb. 1–6: Preise von Dämmstoffen ^{[9][98]}

1.5 Brennbarkeitsanforderungen WDVS

Infolge der rasanten Entwicklung derartiger Dämmsysteme wurde in Österreich bereits in den 70-er Jahren seitens der Magistratsabteilung 35 (MA 35) in Wien eine baustofftechnische Zulassung für Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) ausgearbeitet. Diese Zulassung (S1/80) wurde 1980 als einheitliche Regelung (TRVB) für „WDVS mit Styropor“ herausgegeben. Die Zulassung S1/80 verlangte damals bereits eine Verlegung der Dämmplatten mittels „Randwulst-Punktverklebung“ und eine allseitige Umschließung des Dämmstoffes. ^[10]

Des Weiteren wurden für die 1980 herausgegebenen Regelung S1/80 gemeinsam mit der Wiener Feuerwehr Naturbrandversuche an Abbruchgebäuden (Zimmervollbrand) vorgenommen und auf Basis dessen die Anforderungen an die Brennbarkeit der Fassadendämmung auf „B1 - schwer brennbar“ und für Hochhäuser „nicht brennbar“ gemäß der damals gültigen ÖNORM B3800-1 (analog DIN 4102-1) festgelegt. ^[10]

In den Anfängen waren WDV-Systeme hoch kunststoffmodifizierte, mineralische Systeme mit Dämmstoffdicken von maximal 3,5cm, daher stützen sich alle ersten brandschutztechnischen Untersuchungen derartiger Systeme primär auf Dämmstoffsysteme geringerer Dicke. Da Polystyrol-Hartschaum für die Anwendung als Fassadendämmplatten durch Behandlung mit Feuerschutzmitteln im Prinzip nicht selbständig brennt sondern nur schmilzt, erfüllte dieses Material bei geringen Dicken auch alle Anforderungen, die hinsichtlich seiner Brennbarkeit (schwer brennbar) gestellt wurden. Dies wurde für Dämmstoffdicken bis 10cm im Rahmen von Materialprüfungen u.A. der MFPA Leibzig GmbH (Dipl.-Phys. Ingolf Kotthoff) und der Magistratsabteilung 39 (MA 39) 2007 in Wien auch mehrmals bestätigt. ^{[10][11]}

Die wärmeschutztechnische Entwicklung der letzten Jahre brachte jedoch eine stete Erhöhung der Dämmstoffdicken mit sich, wodurch die Notwendigkeit von zusätzlichen Maßnahmen stieg. ^[10]

Um den Zusammenhang zwischen der Dämmstoffdicke und den davon abhängigen Maßnahmen zu erörtern, ist es notwendig sich einerseits mit dem Brandverhalten des Baustoffes (Dämmstoff alleine) zu befassen und andererseits auch mit dem Brandverhalten des gesamten Dämmsystems.

1.6 Brandverhalten von Polystyrol-Hartschaum

Expandiertes Polystyrol (EPS) findet nicht nur in der Baubranche als bewährter Dämmstoff Anwendung, es ist auch in vielen anderen Bereichen der Industrie im Einsatz. Ein allseits bekanntes Beispiel ist die Anwendung als Verpackungsmaterial bzw. Zwischenraumfüllmaterial in Verpackungen von Gütern jeglicher Art. Je nach Art der Anwendung ergeben sich hierdurch die unterschiedlichsten Anforderungen an den Partikelschaumstoff.

In seiner Anwendung als Fassadendämmstoff bei Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) ergeben sich für Expandiertes Polystyrol (EPS) bekannterweise besondere Anforderungen an die Brennbarkeit des Dämmmaterials.

Das Brandverhalten von unbehandeltem Expandiertem Polystyrol (EPS) ist gekennzeichnet von enorm schnellen Aufschmelzen des Materials und selbständigem Brennen des Dämmstoffes, sowie des verflüssigten Materials. Die brennende Polystyrol-lacke wird hierbei charakterisiert durch seine zähflüssige Konsistenz und sein anhaltendes brennendes Abtropfen, welches speziell bei der Anwendung als Fassadendämmstoff unerwünscht ist.

Für die Anwendung bei Fassadenkonstruktionen wird daher bei der Herstellung der Dämmplatten dem Polystyrolgranulat ein Feuerschutzmittel im Umfang von ca. 1 M% beigemischt um die Brandcharakteristik des Expandierten Polystyrols (EPS) positiv zu beeinflussen. Bei EPS kommt seit bereits mehreren Jahrzehnten Hexabromcyclododecan (HBCD) als Feuerschutzmittel zum Einsatz. Dieses bromierte Flammenschutzmittel befindet sich seit dem 17. Februar 2011 per Entscheid des Ausschusses der Mitgliedsstaaten der ECHA (Europäische Chemikalienagentur) aufgrund seiner PBT-Eigenschaften (Persistenz und Bioakkumulationspotenzial in Verbindung mit Toxizität) auf der SVHC (Liste der besonders besorgniserregenden Stoffe) der REACH (EG-Verordnung über die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien). Das Flammenschutzmittel ist allerdings bei dieser Anwendung vollständig in der Polymermatrix des Dämmstoffes eingebettet und stellt somit während seiner Nutzungsdauer und am Ende der Nutzungsdauer des Produkts keine Gefahr für die Umwelt dar. Aus diesem Grund ist dieses Mittel auch bis auf weiteres für die Anwendung als Feuerschutzmittel für die Herstellung von Dämmstoffen zugelassen. Durch die Einstufung als SVHC bestehen besondere Informationspflichten innerhalb der Lieferkette der betreffenden Baustoffe.
[12][13][14][16][17][18]

Durch die Behandlung des Expandierten Polystyrols (EPS) mit dem Flammenschutzmittel HBCD wird das Brandverhalten des Dämmstoffes bei direkter Beflammung maßgeblich beeinflusst. Dies ist dadurch charakterisiert, dass der feste Dämmstoff grundsätzlich zwar brennbar bleibt und schmilzt, allerdings nach Entfernen der Zündquelle oder Stützbrandlast wieder erlischt und somit nicht selbständig weiterbrennt. Hierbei ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass das durch die Flammeneinwirkung gebildete geschmolzene Polystyrol im Regelfall abrinnt oder abtropft, sich als Lache ansammelt und im Beisein einer Stützbrandlast ebenfalls weiterbrennt.

Basierend auf diesem Verhalten (selbständiges Erlöschen nach Wegfall der Brandeinwirkung) wurde der Dämmstoff EPS-F gemäß den alten nationalen Klassifizierungsnormen ÖNORM B 3800-1 in Österreich und DIN 4102-1 in Deutschland in die Klasse B1 „schwerbrennbar“ eingestuft.

Das europäische Klassifizierungssystem gemäß EN 13501-1 beruht auf der Bewertung eines Produktes aufgrund der freiwerdenden Wärmeenergie in der Brandentstehungsphase unter Endanwenderbedingungen. Hierbei ist nicht von Bedeutung, ob das Produkt nach der Entzündung von selbst wieder erlischt. Auf Basis dieses Klassifizierungssystems fällt der Dämmstoff expandiertes Polystyrol (EPS) in die Brennbarkeitsklasse E gemäß EN 13501-1. ^[19]

1.7 Brandverhalten des WDV-Systems

Bei ordnungsgemäßer Herstellung eines Außenwand-Wärmedämm-Verbundsystems ist davon auszugehen, dass der Dämmstoff von der Deckschichte (Putz o.Ä.) allseitig umschlossen ist und alle Kantenausbildungen (ein- und ausspringend) mit zulassungsgemäßen Profilen verstärkt wurden um ein Aufreißen an der Kante zu unterbinden.

Bei Hitzeeinwirkung (wie z.B. bei einem Fensterausbrand) schmilzt der Dämmstoff hinter der Deckschichte auf (ab ca. 140°C) und sammelt sich in Bodennähe bzw. bei Fassadenöffnungen im Sturzbereich über den Fenstern. Der Schmelzvorgang und die weitere Erhitzung der Polystyrolschmelze wird begleitet von pyrolytischer Zersetzung (thermochemische Aufspaltung), wobei unter Anderem brennbare Gase entstehen. Bricht die Deckschichte im unmittelbaren Nahbereich der Flammeneinwirkung auf, so treten an diesem Punkt Schmelze und Gase hervor und entzünden sich in Folge der Flammeneinwirkung. Dies hat zur Folge, dass es im Inneren des Systems zu einem Brand kommt (Kaminwirkung) und somit über das Fassadensystem selbst eine Brandausbreitung geschehen kann. ^[20]

Brandversuche haben ergeben, dass bei Dämmstoffdicken bis 10cm der Fenstersturz die auftretenden Belastungen ausreichend lang aufnehmen kann. Folgentlich sind bei 10cm Dämmstoffdicke und darunter keine besonderen Brandschutzmaßnahmen erforderlich. Dieselben Brandversuche haben gezeigt, dass bei Dämmstoffdicken über 10cm im Brandfall die Gefahr des oben beschriebenen Effektes besteht und daher die Schutzziele in Gefahr sind. Für diese Dämmstoffdicken wurden daher besondere Maßnahmen entworfen, um auch hier die geforderten Sicherheiten gewährleisten zu können. ^{[21][22]}

1.8 Die Brandriegel- (Brandsperrren-) Thematik

Die Entwicklung der Brandriegel (Brandsperrren) und ihrer Ausführungsvarianten für Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme beruhen auf zahlreichen internationalen Forschungsprojekten und -arbeiten welche das Ziel hatten, zu untersuchen ob ein Fensterausbrand, hervorgerufen durch einen Zimmervollbrand, eine Brandweiterleitung in die nächsten Geschoße hervorrufen kann und in welcher Weise die Fassadenkonstruktion Einfluss auf dieses Geschehen nimmt bzw. nehmen kann. Die Notwendigkeit des Einflusses des Brandverhaltens der Fassadenkonstruktion beruht auf den steigenden Anforderungen seitens des Wärmeschutzes und den dadurch immer dicker aufgebrauchten Dämmstoffen der Fassadenbauindustrie. ^{[21][24]}

Schon sehr früh wurde daher im Rahmen besagter Forschungsarbeiten festgestellt, dass im Falle einer polystyrolgedämmten Fassade unter Flammeinwirkung ab ca. 140°C der Dämmstoff aufschmilzt und sich im unteren Bereich der Fassade als zähflüssige Schmelze sammelt. Im Bereich der Fassadenöffnungen (Fenster) sammelt sich die Schmelze (Polystyrollacke) zum Teil im Bereich des Fenstersturzes und wird bei einem Fensterausbrand dort weiter erhitzt. Im Falle des Berstens der umschließenden Schale des Dämmsystems (Deckschichte), entzündet sich durch die Flammeneinwirkung die Polystyrolschmelze und die durch die Hitzeeinwirkung entstehenden Gase. Das Brennen der Polystyrolschmelze wird hierbei begleitet durch selbständiges Brennen, Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen, welches Lösch- und Rettungsarbeiten im Bereich der Fenster behindern kann (Nichterfüllung der Schutzziele gemäß Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011). Als brandschutztechnische Maßnahme gegen diesen Effekt wurde ein 20cm breiter Brandriegel mit 30cm seitlichem Überstand (auch Sturzschutz genannt) entwickelt, welcher ab einer Dämmstoffdicke von 10cm anzubringen ist. ^{[20][21][22]}

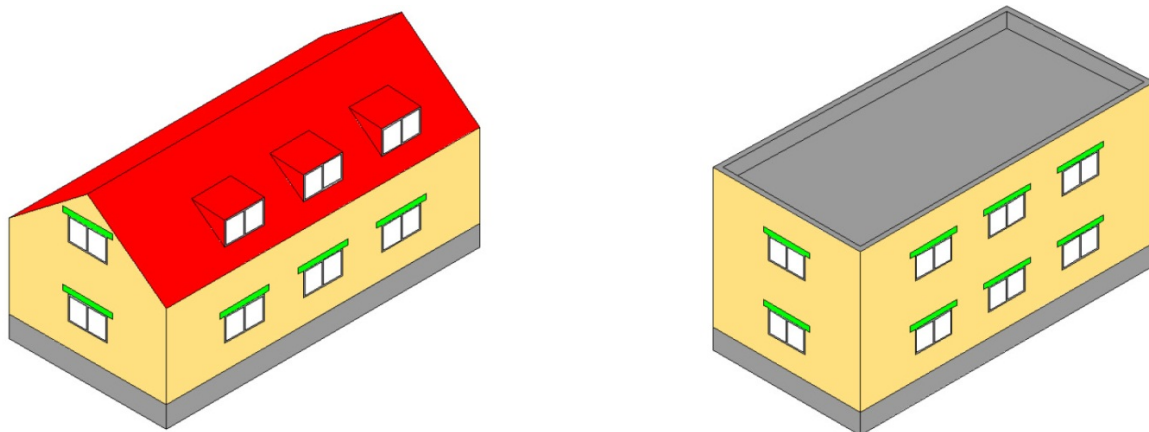


Abb. 1–7: Brandschutztechnische Zusatzmaßnahme – Sturzschutz ^[21, S18]

Der Brandriegel (Sturzschutz) hat primär den Zweck, aufgeschmolzenes Polystyrol (Polystyrollacke) aufzufangen und somit einen Austritt und Entzünden desselben in Bereichen zu vermeiden, an denen durch die Brandeinwirkung die umschließende Schale (Deckschicht) bereits gerissen oder zerstört ist.

Anhand von Brandversuchen und Berücksichtigung der praktischen Erfahrung der Feuerwehr konnte betreffend der zu erwartenden Flammenhöhe bei den gegenständlichen Fensterausbränden nach Bersten der Fenster und Durchzünden (Flash-Over) eine durchschnittliche Flammenhöhe von 3m bis 6m Höhe festgestellt werden. Bei üblichen Höhen von $\sim 1,20\text{m}$ des deckenübergreifenden Außenwandstreifens (massiver Bauteil) bedeutet dies, dass im Falle eines Vollbrandes aus dem darunterliegenden Fenster unabhängig von der Fassadenbeschaffenheit und -konstruktion das darüberliegende Fenster von Flammen überstrichen wird und somit ohne brandschutz-technische Qualifikation in jedem Fall eine Schwachstelle der Außenwand hinsichtlich der vertikalen Brandweiterleitung (Entstehungsbrand im ersten Geschoß über dem Vollbrand) darstellt, da die mitwirkende Brandlast der Fassade in diesem Fall vernachlässigbar klein ist. ^{[23][24]}

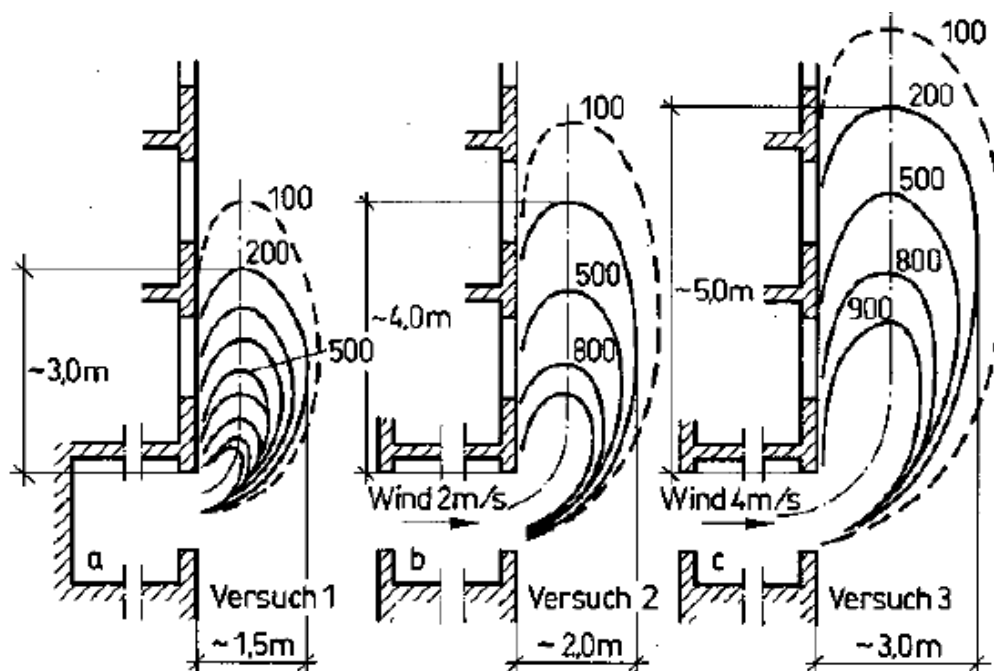


Abb. 1–8: Innenventilierter Fensterausbrand ^[15, S9]

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde festgehalten, dass es lediglich in den weiter darüberliegenden Geschoßen möglich ist durch zusätzliche Maßnahmen in der Ausbildung der Fassade die Brandweiterleitung (Entstehungsbrand im zweiten Geschoß über dem Vollbrand) zu beeinflussen indem die Fassade so ausgeführt wird, dass kein „selbstständiges Brennen“ der Fassade entstehen kann. Aus dieser Überlegung entstand die Ausführungsvariante eines durchgehenden Brandriegels über jedem zweiten Geschoß, der in Deutschland eine zugelassene Variante zum Sturzschutz ist.

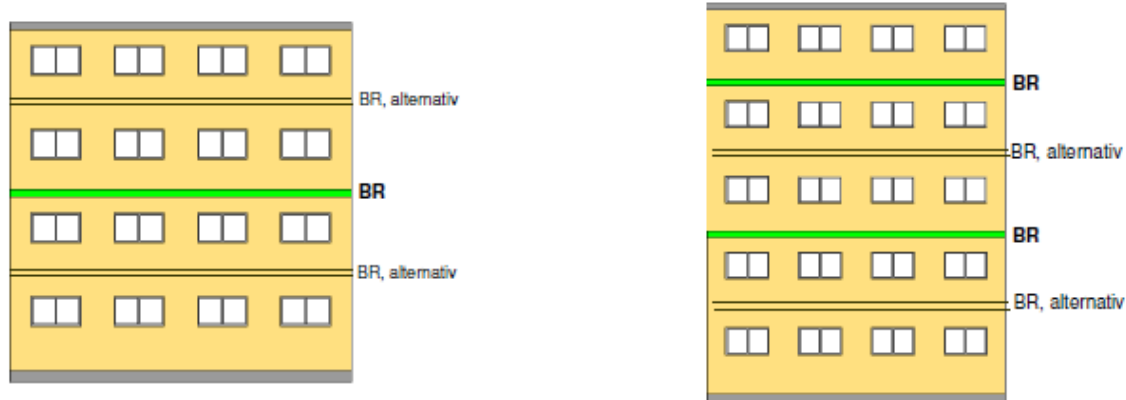


Abb. 1–9: Alternative brandschutztechnische Zusatzmaßnahme – Brandriegel ^[21, S21]

1.9 Brandriegel Anwendung

Die Vorschreibung besonderer brandschutztechnischer Maßnahmen wie auch des Brandriegels erfolgt in den beteiligten Staaten auf unterschiedliche Weise.

In Deutschland ist dies durch allgemein bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) geregelt, welche vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) unter Berücksichtigung der Europäischen Leitlinie für Technische Zulassungen 004 (ETAG 004) erteilt werden. ^[24]

In Österreich ist in Abhängigkeit der Gebäudeklasse (GK1-GK5, HH in Abhängigkeit der Anzahl der Geschoße, Größe der Geschoßfläche und dem höchsten Aufenthaltsniveau) die Anordnung von Brandriegeln bereits seit 2002 normativ in der ÖNORM B3806 (Letztfassung 2005) geregelt. Diese Norm sieht allerdings nur die Anbringung von Brandriegeln im Sturzbereich (Sturzschutz) der Fassadenöffnungen vor und keine alternativen Ausführungsvarianten wie den durchgehenden Brandriegel. ^[25]

Im Rahmen der Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften der neun Bundesländer Österreichs durch das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) 2007 wurden viele brandschutztechnische Vorschriften und Formulierungen der zu erreichenden Schutzziele (EG-Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG, seit 9. März 2011 Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011) vereinheitlicht und in der Überarbeitung mit Stand Oktober 2011 unter anderem die brandschutztechnischen Anforderungen an Fassaden konkretisiert. In dieser Fassung ist nun auch die Alternativvariante eines umlaufenden Brandschutzriegels in Deckennähe jeden Geschoßes angeführt. ^{[23][25]}

Derzeit (März 2012) sind die harmonisierten Bauvorschriften des OIB in der Fassung 2007 in fünf der neun Bundesländer mittels Verordnung vollinhaltlich in Kraft getreten (verbindlich) und in den vier verbleibenden Bundesländern zum Teil in Vorbereitung zur Übernahme. Die neueste Fassung der OIB Richtlinie von Oktober 2011 ist zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Arbeit noch nicht übernommen worden. ^[26]

1.10 Brandschutztechnische Anforderungen an WDVS – Österreich

- ÖNORM B 3806 (Ausgabe 07/2005) Anforderungen an das Brandverhalten von Bauprodukten (Baustoffen) ^[19]

Die ÖNORM B 3806 stellt die Österreichische Anwendung des europäischen Klassifizierungssystems dar. Anhand der ÖNORM B 3806 wird einerseits österreichweit die Definition der Gebäudeklassifikation vereinheitlicht und andererseits die brandschutztechnischen Anforderungen an unter Anderem Wärmedämmverbundsysteme definiert. ^[19]

- *Gebäudeklasse 1 (GK1):*

Freistehende, an mindestens drei Seiten auf eigenem Grund bzw. einer Verkehrsfläche für die Brandbekämpfung von außen zugängliche Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschoßen und mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 7 m sowie einer Wohnung oder einer Betriebseinheit von jeweils nicht mehr als 400 m₂ Grundfläche.

- *Gebäudeklasse 2 (GK2):*

Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschoßen und mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 7 m und höchstens drei Wohnungen bzw. Betriebseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m₂ Grundfläche; desgleichen Reihenhäuser mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschoßen und mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 7 m und Wohnungen bzw. Betriebseinheiten von jeweils nicht mehr als 400 m₂ Grundfläche.

- *Gebäudeklasse 3 (GK3):*

Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschoßen und mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 7 m, die nicht in die Gebäudeklassen 1 oder 2 fallen.

- *Gebäudeklasse 4 (GK4):*

Gebäude mit nicht mehr als vier oberirdischen Geschoßen und mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 11 m und nur einer Betriebseinheit ohne Begrenzung der Grundfläche oder mehreren Wohnungen bzw. mehreren Betriebseinheiten von jeweils nicht mehr als 400 m₂ Grundfläche.

- *Gebäudeklasse 5 (GK5):*

Gebäude mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 22 m, die nicht in die Gebäudeklassen 1, 2, 3 oder 4 fallen, sowie Gebäude, die vorwiegend aus unterirdischen Geschoßen bestehen.

- *Hochhaus (HH):*

Gebäude mit einem Aufenthaltsraumniveau von mehr als 22 m. ^[25, S5]

Die Anforderungen an Wärmedämmverbundsysteme gliedern sich in Anforderungen an klassifizierte Systeme und alternativ in Anforderungen an die einzelnen Komponenten des Systems. Zusätzlich zu den Anforderungen der nachfolgenden Tabelle ist bei GK 4 und 5, sowie bei Hochhäusern ein positiver Nachweis gemäß ÖNORM B 3800-5 (Fassadenprüfnorm; siehe Kapitel Normbrandversuche) zu erbringen. ^[25]

Bauteil	GK1	GK2	GK3	GK4	GK5	HH
Klassifiziertes System	D	D	D	C-d1 *	C-d1 *	A2-d1
oder						
Deckschicht	B-d1	B-d1	B-d1	B-d1	B-d1	A2-d1
Dämmschicht	E	E	E	D	D	A2

Abb. 1–10: Anforderungen an das Brandverhalten von WDV-Systemen ^[25, S8]

* Hinsichtlich der GK4 und GK5 bei Anwendung eines klassifizierten Systems gilt, dass der Nachweis gemäß ÖNORM B 3800-5 entfallen kann, wenn im Sturzbereich aller Fenster ein Brandschutzschott (Sturzschutz) mit 20cm Höhe und einem seitlichen Überstand von 30cm ausgeführt wird. Bei Dämmstoffdicken $\leq 10\text{cm}$ kann der Nachweis ebenso entfallen. ^[25]

- **OIB-Richtlinie 2 – Brandschutz (Ausgabe 12/2011)**

Die Definition der Gebäudeklassen der ÖNORM B 3806; 2005 wurden vollinhaltlich in die Begriffsbestimmungen der OIB-Richtlinien übernommen.

Die besonderen Brandschutztechnischen Anforderungen an Wärmedämmverbundsysteme an Gebäuden der Gebäudeklassen 4 und 5 verweisen in der OIB-Richtlinie 2 nun nicht mehr direkt auf die ÖNORM B 3800-5, sondern definieren nun die zu erfüllenden Schutzziele wie die Brandweiterleitung über die Fassadenoberfläche auf das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß und das Herabfallen von Fassadenteilen und die Gefährdung von Personen. ^[23]

Die Ausnahmeregelungen wie Sturzschutz und Dämmsysteme mit Dicken $\leq 10\text{cm}$ wurde nun um einen 20cm hohen durchgehenden Brandriegel in Deckenhöhe jeden Geschoßes erweitert. Des Weiteren sind bei Untersichten von einspringenden Gebäudeteilen mit einer Tiefe von mehr als 2,0m und in Fluchtwegsbereichen nur Dämmmaterialien der Brennbarkeitsklasse A2 nach EN 13501-1 zulässig. ^[23]

Anzumerken ist, dass durch die Einführung der OIB-Richtlinien viele Vorgaben der ÖNORM B 3806 konkretisiert wurden, alle detaillierteren Angaben der ÖNORM B 3806 allerdings weiterhin Stand der Technik bleiben.

1.11 Zulassung

Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme sind Gewerke, deren Leistungsanforderungen durch die Leitlinie für Europäische Technische Zulassungen (ETAG) für Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (ETICS), am 04.04.2001 seitens der Europäischen Organisation für Technische Zulassungen (EOTA) erstellt, definiert sind. ^[27]

Die Leitlinie (ETAG 004) erlaubt eine technische Spezifikation des Dämmsystems im Sinne der EG-Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG (seit 9.März 2011 Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011) und bescheinigt mit dieser Zulassung die Brauchbarkeit des zugelassenen Produktes (Dämmsystems) für ihren vorgesehenen Verwendungszweck. ^[27]

Gemäß ETAG 004 ist das Brandverhalten von Wärmedämmstoffen für WDV-Systeme gemäß EN 13501-1 durchzuführen. Hinsichtlich der Anwendung von zusätzlichen brandschutztechnischen Maßnahmen wird auf die nationalen Normen und Richtlinien des jeweiligen Mitgliedslandes verwiesen. ^[27]

2 Brandfälle an Bauwerken mit WDVS

2.1 Beispiele Reale Brände

2.1.1 07.06.1992 – Schweiz, Adliswil

Der Brand trat im Freien im unmittelbaren Nahbereich der Fassade eines mehrgeschossigen Wohngebäudes auf. Ursache war ein brennender Müllcontainer direkt an der Hauswand, welcher aus ungeklärter Ursache Feuer gefangen hatte. Bei Eintreffen der Feuerwehr an der Brandstelle hatte das Feuer bereits auf das Gebäude übergegriffen. [28]

Nach Angabe des Berichtstatters bestand die Fassadenkonstruktion des Wohngebäudes aus einem ca. 10 cm dicken Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aus Polystyrol-Hartschaumplatten und einer armierten Deckschicht. Auf dem Bildmaterial ist zu erkennen, dass die Fassadenkonstruktion infolge der Flammeneinwirkung bis zum fünften oberirdischen Geschoß grobe Beschädigungen aufweist. [28]

Durch die Hitzeentwicklung zerbarsten zahlreiche Fensterscheiben und die Flammen konnten in die Geschoße eindringen. Entstehungsbrände in den Wohneinheiten waren die Folge davon. Es ist zu vermuten, dass die Brände in den Wohneinheiten nach Durchzündungen (Flash-Over) jeweils einen Fensterausbrand hervorriefen, der es dem Brand ermöglichte, auf das jeweilige nächste Geschoß überzugreifen. Zusätzlich ist aufgrund des Zerstörungsgrades der Fassadenkonstruktion anzunehmen, dass infolge der dauerhaften Hitzeentwicklung im untersten Bereich der Fassade durch den Müllcontainer, die Deckschicht brach und das Feuer hinter der Fassade (Kaminwirkung) an der Wand hochsteigen konnte. [28]



Abb. 2–1: Brandfall Adliswil (Schweiz) 1992 [28]

Es ist anzumerken, dass bei aktuellen Normbrandversuchen an WDV-Systemen mittlerweile oftmals das Szenario eines Müllcontainerbrandes simuliert wird.

2.1.2 20.10.2004 – Österreich, Graz

Das Feuer brach im Freien in einem Papiercontainer aus. Dieser war im unmittelbaren Nahbereich der Außenwand eines viergeschossigen Wohnhauses situiert. Die Brandursache ist ungeklärt. Vom brennenden Papiercontainer drang das Feuer in das Dämmsystem ein und zerstörte dasselbe über die gesamte Gebäudehöhe. Der Brandvorgang wurde begleitet von enormer Rauchentwicklung, die auch das Stiegenhaus des Wohnhauses unbenutzbar machte. ^[29]



Abb. 2–2: Brandfall Graz (Österreich) 2004 ^[29]

Die Fassade des Wohnhauses bestand aus einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aus Polystyrol-Hartschaum versehen mit einer Putzdeckschicht. Genaue Angaben über das verwendete System und dessen Dicke sind nicht bekannt. Nach Angabe der Feuerwehr war das System nicht gemäß den einschlägigen Herstellungsrichtlinien hergestellt worden. ^[29]

2.1.3 12.04.2005 – Deutschland, Berlin Pankow

Der Brand brach in einer Wohnung im 3. oberirdischen Geschöß eines sieben-geschossigen Gebäudekomplexes mit Hotel-, Wohn- und gewerblicher Nutzung aus, welches im Jahr 1996 fertiggestellt, und 2004 im Bereich der Fassade aufgrund von Baumängeln saniert worden war. Brandursache war vermutlich ein Kurzschluss in einem Elektrogerät (Fernseher). Bei Eintreffen der Feuerwehr waren die Fensterverglasungen bereits geplatzt, die Flammen schlugen aus dem Fenster und über die Fassade (Außenwand-Wärmedämmverbundsystem) nach oben über die Fassadenöffnungen der darüberliegenden Geschöße. ^[30]



Abb. 2–3: Brandfall Berlin (Deutschland) 2005 – Brandphase ^[31]

Betreffend des Fassadensystemaufbaues ist festzuhalten, dass dieser aus 8cm Expandiertem Polystyrol (EPS) bestand, welcher am Untergrund (verlorene Schalung aus Spanplatten an der Stahlbetonwand) durch Kunststoffschienen aus Polyvinylchlorid (PVC) fixiert war. Die Deckschichte bildete ein klassischer Unterputz mit einer Armierung aus Textilglas und einem Oberputz. ^[30]



Abb. 2–4: Brandfall Berlin (Deutschland) 2005 – Fassadenschädigung ^[31]

Festzuhalten ist, dass gemäß des für dieses System vorliegenden Verwendbarkeitsnachweises Brandschutzmaßnahmen vorgesehen sind. Nach Aussage eines Vertreters der Berliner Feuerwehr wird vermutet, dass die Auswirkungen des Brandes aus der Wohnung durch Baumängel in der Fassade und „Anordnung von Brandsperren an den falschen Stellen“ verschärft wurden. ^{[32][97]}

2.1.4 08.12.2005 – Österreich, Voralpe

Das Feuer brach im Freien im unmittelbaren Nahbereich der Fassade eines Einfamilienwohnhauses aus. Es wird vermutet, dass aus Fahrlässigkeit ein offenes Feuer im unteren Bereich der Fassade in das Fassadensystem eindringen konnte und sich so (Kaminwirkung) bis zur Dachkonstruktion fortpflanzen konnte. Daten zum Aufbau der Fassade liegen nicht vor. ^[33]

Laut Angaben der Feuerwehr konnte der Brandherd hinter der Deckschichte mit einer Wärmebildkamera schnell lokalisiert und im Anschluss gelöscht werden. ^[33]



Abb. 2–5: Brandfall Voralpe (Österreich) 2005 ^[33]

2.1.5 20.12.2006 – Österreich, Kleinhaugsdorf

Der Brand brach bei einer Feuerwerksvorführung an einem Kiosk vor dem Einkaufszentrum Excalibur City in Kleinhaugsdorf aus und griff auf geparkte PKWs und die Außenwand des Einkaufszentrums über. Die Fassadenkonstruktion des Einkaufszentrums war in diesem Bereich als Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit Polystyrol-Dämmstoff ausgebildet. Nach Angaben der Feuerwehr waren bei der Herstellung des WDVS grobe Verarbeitungsmängel geschehen, die maßgeblich am Entzünden der Fassade beteiligt waren. ^{[34][35]}

Laut Angabe der Feuerwehr war der Brand an der Außenhaut durch brennendes Herabfallen von geschmolzenen Fassadenteilen begleitet, was die Löscharbeiten enorm erschwerte. ^{[34][35]}



Abb. 2–6: Brandfall Kleinhaugsdorf (Österreich) 2006 ^{[34][35]}

2.1.6 09.10.2007 – Österreich, Güssing

Das Feuer brach im unmittelbaren Nahbereich der Fassadenoberfläche eines viergeschossigen Wohnhauses aus. Dort hatte sich aus ungeklärter Ursache ein Rasenmäher entzündet, von dem das Feuer auf die Fassade des Gebäudes übergriff. Die Fassadenkonstruktion bestand aus einem Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrol-Hartschaum als Dämmstoff. Genauere Informationen über die Beschaffenheit der Fassadenkonstruktion liegen nicht vor. ^[36]

Bei Eintreffen der Feuerwehr hatte der Brand auf die Fassade übergegriffen (war hinter der Deckschichte eingedrungen), was von enormer Rauchentwicklung begleitet wurde. Mittels einer Wärmebildkamera wurde der Primärbrand hinter der Putzoberfläche ausgemacht und gelöscht. Abschließend wurde der Außenputz zum Teil entfernt um sich zu vergewissern, dass auch hinter der Deckschichte der Brand vollständig gelöscht worden war. ^[36]



Abb. 2–7: Brandfall Güssing (Österreich) 2007 ^[36]

2.1.7 22.06.2008 – Österreich, Leoben

Das Feuer brach in drei Großraummülltonnen aus, welche im unmittelbaren Nahbereich der Fassade des Turnsaales des BRG/BG Leoben positioniert waren. Infolge der hohen Hitzeentwicklung durch die drei Mülltonnen entstanden auch Schäden an der Fassade des fünf Meter entfernten Schulgebäudes und dessen Fenster. Das Wärmedämmverbundsystem war mit Polystyrol-Hartschaum gedämmt. Über die Dicke der Fassadenkonstruktion liegen keine Informationen vor. ^[37]



Abb. 2–8: Brandfall Leoben (Österreich) 2008 ^[37]

Seitens der Feuerwehr Leoben wird vermutet, dass es sich hier um Brandstiftung gehandelt haben dürfte. ^[37]

2.1.8 14.11.2010 – Frankreich, Dijon

Das Feuer brach im Freien im unmittelbaren Nahbereich der Außenfassade eines zehngeschossigen Wohnheimes aus. Brandursache war Brandstiftung an einem Müllcontainer, welcher direkt an der Außenwand des Gebäudes situiert war. Vom Müllcontainer griff das Feuer auf die Fassade (WDVS mit Polystyrol-Dämmung) des Gebäudes über und breitete sich von dort über die gesamte Gebäudehöhe aus und drang auch in die Wohnungen des Gebäudes ein. Dieses Feuer kostete sieben Menschenleben, obwohl das Wohnheim als modernes Hochhaus mit modernen Brandschutzeinrichtungen im Inneren des Gebäudes galt. ^{[38][39]}

Nach Aussage der zuständigen Baubehörde war die Fassadenkonstruktion entsprechend den französischen Normen geplant und durchgeführt worden. Anzumerken ist, dass in Österreich und Deutschland bei Gebäuden dieser Gebäudeklasse eine Fassade mit brennbaren Dämmmaterialien nicht hergestellt werden darf. ^{[38][39]}



Abb. 2–9: Brandfall Dijon (Frankreich) 2010 ^{[38][39]}

2.1.9 27.12.2010 – Österreich, Grünbach

Der Brand brach an der Fassade eines sozialpädagogischen Wohnheimes mit drei oberirdischen Geschoßen aus. Die Fassade bestand aus einem klassischen Wärmedämmverbundsystem (Dicke unbekannt) aus Polystyrol-Hartschaum und einem Putz als Deckschichte. Der Brand brach aus ungeklärter Ursache in Bodennähe hinter der Deckschichte aus und breitete sich von dort nach oben aus. ^[40]

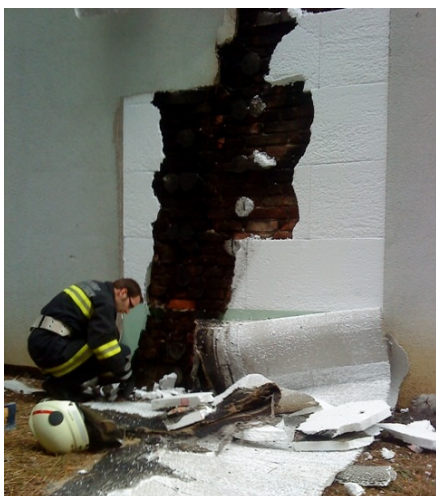


Abb. 2–10: Brandfall Grünbach (Österreich) 2010 ^[40]

2.1.10 11.06.2011 – Deutschland, Delmenhorst

Das Feuer brach in Müllcontainern aus, die wettergeschützt in Unterständen aus Holz im unmittelbaren Nahbereich einer viergeschossigen Wohnhausreihe situiert waren. Nachdem der Brand von den Müllcontainern auf die Holzkonstruktion übergegriffen hatte und diese in Vollbrand stand, hatte sich das Feuer zu einem Großbrand entwickelt, der sich über den gesamten Innenhof, begrenzt durch die 3 Wohnhäuser, erstreckte. ^[41]



Abb. 2–11: Brandfall Delmenhorst (Deutschland) 2011 – Brandphase ^[41]

Die Fassaden der Wohnhäuser waren mit einem klassischen Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol-Hartschaum und einer Putzdeckschicht versehen. Nach Aussage des Bauherrn war das System mit einer Dämmstoffdicke von weniger als 10cm und ohne zusätzliche brandschutztechnischen Maßnahmen hergestellt. ^{[41][97]}

Durch die mehrere Stunden andauernde direkte Beflammung (die letzten Brandnester konnten erst mehr als 12h nach Brandausbruch gelöscht werden) konnte das Feuer auch in das Dämmsystem eindringen, wodurch dieses über die gesamte Fassadenhöhe vollständig zerstört wurde. Des Weiteren wurden die Fenster in Folge der direkten Beflammung zerstört (Flammenhöhen von 4-6m, somit direkte Brandbelastung aller Geschoßfenster mit Ausnahme des obersten) und das Feuer konnte in die dahinterliegenden Wohnungen eindringen (Entstehungsbrände). ^{[41][97]}

Die Brandursache für dieses Feuer war Brandstiftung an zwei Mülltonnen im beschriebenen Unterstand. ^[41]



Abb. 2-12: Brandfall Delmenhorst (Deutschland) 2011 – Fassadenschädigung ^[41]

2.1.11 05.08.2011 – Österreich, St. Georgen

Der Brand brach in der Garage eines dreigeschossigen Einfamilienhauses an einem PKW aus. Die Fassadenkonstruktion des Wohnhauses bestand aus einem Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol-Hartschaum und einer Putzdeckschichte. Die Brandcharakteristik ist mit der eines klassischen Fensterausbrandes zu vergleichen. ^[42]



Abb. 2-13: Brandfall St. Georgen (Österreich) 2011 – Brandphase ^[42]

Durch die direkte Beflammung der Fassade über mehrere Meter ist über die Höhe von zwei Geschoßen über der Garage der Dämmstoff hinter der Deckschichte aufgeschmolzen. Ein Eindringen des Feuers in das Innere des Dämmsystems konnte durch die Löscharbeiten großteils verhindert werden, wodurch eine Brandweiterleitung und Durchzündungen im Inneren der Deckschale ausblieb. ^[42]



Abb. 2-14: Brandfall St. Georgen (Österreich) 2011 – Fassadenschädigung ^[42]

2.1.12 07.12.2011 – Österreich, Wien

Das Feuer brach an der Außenwand eines achtstöckigen Bürogebäudes im unmittelbaren Nahbereich der Fassade aus. Die Fassade bestand aus einem klassischen Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol-Hartschaum und einer Putzschale. ^{[37][43]}



Abb. 2-15: Brandfall Wien (Österreich) 2011 ^{[37][43]}

Brandursache war Brandstiftung. Die Vandalen hatten mehrere direkt an der Außenwand (Brandwand) situierte Müllcontainer in Brand gesteckt, von denen das Feuer auf die Fassade des Gebäudes übergriff und die Fassadenkonstruktion bis zum Dachstuhl zerstörte. ^{[37][43]}

2.1.13 23.01.2012 – Ungarn, Miskolc

Der Brand brach in der Küche einer Wohnung eines hohen Wohnhauses der Gebäudeklasse „HH – Hochhaus“ aus. Die Brandsituation stellt einen klassischen Fensterausbrand nach Bersten und Durchzünden (Flash Over) der Wohnungseinrichtung dar. Die Fassadenkonstruktion bestand aus Polystyrol-Hartschaum und einer gipsbasierenden Deckschicht (Putz). Das Feuer drang über den Fenstersturz in das System ein und pflanzte sich von dort bis zum obersten Geschoß fort. ^[44]

Festzuhalten ist, dass bei der Herstellung des Systems grobe Unregelmäßigkeiten in Bezug auf die Herstellungsvorgaben des Systemhalters zu verzeichnen waren und keine brandschutztechnischen Maßnahmen zu erkennen sind. Des Weiteren ist anzumerken, dass bei Gebäuden dieser Höhe in Deutschland und Österreich in der Regel nur Dämmmaterialien der Brennbarkeitsklasse A2-d1 (nicht brennbar) nach EN 13501-1 zulässig sind. ^[44]

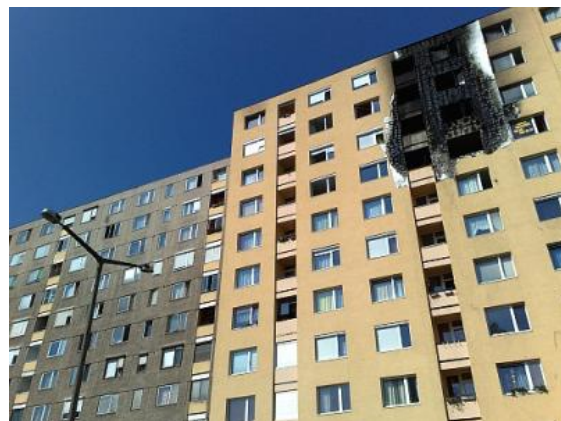


Abb. 2-16: Brandfall Miskolc (Ungarn) 2012 ^[44]

2.1.14 Zusammenfassung / Auswertung

Auf Basis der erfassten Brandfälle an Bauwerken, welche mit Wärmedämmverbundsystemen ausgestattet waren und an welchen das WDVS infolge des Brandherganges Schaden genommen hatte bzw. am Brand beteiligt war, ist es möglich die Ursachenforschung in statistischer Form zu betrachten. Hierbei ist anzumerken, dass genaue statistische Überlegungen nur bei einer größeren Anzahl erfasster Brandfälle sinnvoll ist, aus der folgenden Aufstellung allerdings bereits erste Schlüsse ziehbar sind.

Als persönliche Anmerkung als Verfasser dieser Arbeit möchte ich hinzufügen, dass ich diese Thematik unvoreingenommen hinsichtlich wirtschaftlicher Interessen behandelt und rein sachlich aus der Sicht eines Kundigen des Bauwesens betrachtet habe. Dies schließt mit ein, dass alle ausfindig zu machenden Brandfälle aufgelistet wurden und keine Fälle bewusst ausgegrenzt wurden.

Nr.	Ort	Brandursache			
		Brandstiftung (Müllcontainer)	Fensterausbrand (Wohnung)	Fahrlässigkeit / Eigenverschulden	Unbekannt
1	Schweiz / Adliswil	1			
2	Österreich / Graz	1			
3	Deutschland / Pankow		1		
4	Österreich / Vorau			1	
5	Österreich / Kleinhaugsdorf			1	
6	Österreich / Güssing			1	
7	Österreich / Leoben	1			
8	Frankreich / Dijon	1			
9	Österreich / Grünbach				1
10	Deutschland / Delmenhorst	1			
11	Österreich / St. Georgen		1		
12	Österreich / Wien	1			
13	Ungarn / Miskolc		1		
SUMME		6	3	3	1
ANTEIL		46,2%	23,1%	23,1%	7,7%

Abb. 2–17: Statistische Ursachenermittlung von Brandfällen

Auf Basis dieser einfachen Aufstellung ist erkennbar, dass nahezu die Hälfte der erfassten Brandfälle auf Brandstiftung an Müllcontainern zurückzuführen sind, die an der Außenwand situiert waren und in weiterer Folge einen Brandübergriff auf das angrenzende Gebäude zur Folge hatten. Hierbei ist anzumerken, dass beispielsweise in Österreich in den seitens der Baubehörden formulierten Bauauflagen bereits sehr oft eine „nichtbrennbare“ Ausführung der Fassade in Zonen gefordert wird, in denen mit der Aufstellung von Müllcontainern in Fassadennähe zu rechnen ist.

Jeweils nahezu die Hälfte der verbleibenden Brandfälle sind auf Wohnungsbrände und auf fahrlässige Entzündungen von außen zurückzuführen, wovon die Wohnungsbrände (Fensterausbrand) in brandschutztechnischer Hinsicht am weitestgehendsten durch die Entwicklung von Maßnahmen wie Sturzschutz und Brandriegel behandelt wurden.

Wie aus dieser Aufstellung erkennbar ist, besteht die größte Gefahr bei WDVS durch Vandalismus und fahrlässige Entzündung von außen. Dies wäre durchaus ein Ansatzpunkt für Überlegungen Fassadendämmungssysteme in Bezug auf den Brandschutz noch sicherer zu machen. Die zuvor erwähnte „nichtbrennbare“ Ausführung in Müllcontainer-Aufstellungsbereichen scheint hier ein guter Ansatz zu sein.

Abschließend ist hier noch anzumerken, dass die Schadensanfälligkeit und die Beteiligung an Brandfällen von Wärmedämmverbundsystemen statistisch gesehen, im Vergleich mit anderen Baustoffen und Bauteilen, sehr gering ist. Bedenkt man, dass beispielsweise in Deutschland rund 40 Millionen m² WDVS und in Österreich rund 8,5 Millionen m² WDVS pro Jahr verlegt werden, so ist es allerdings schon etwas verständlicher, dass auch bei einer so geringen Schadensanfälligkeit in regelmäßigeren Zeitabständen Schäden auftreten und diese Thematik permanent präsent ist. ^{[4][5]}

Da bei Bränden jedoch immer die Gefahr von Leib und Leben besteht werden WDV-Systeme regelmäßig geprüft und die brandschutztechnischen Zusatzmaßnahmen permanent adaptiert, sodass derartige Fassadensysteme und die verwendeten Dämmstoffe mittlerweile zu den am intensivsten geprüften Baustoffen und Bauteilen zählen. Leider gibt es im Bauwesen keinen Bereich, welcher mit einem Nullrisiko behaftet ist, jedoch lässt die intensive Behandlung der WDVS-Thematik hoffen, dass es weiterhin gelingt die Gefahren durch Brände unter Beteiligung der Fassadenkonstruktion zu minimieren.

2.2 Naturbrandversuche und Brandsimulationen

2.2.1 13.12.2005 – Deutschland, Bad Salzungen

In einem groß angelegten Naturbrandversuch der MFPA Leipzig in der Salvador-Allende-Straße in Bad Salzungen 2005 wurde an vier Stellen eines sechsgeschossigen Wohnhauses ($\sim 600\text{m}^2$ bekleidete Außenwandfläche) ein Fensterausbrand aus dem 1.Obergeschoß simuliert und die Brandweiterleitung über die Außenwand untersucht. Die Fassadenkonstruktion bestand hierbei aus einem klassischen Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol-Hartschaum mit einer Systemdicke von 20cm. Der massive deckenübergreifende Außenwandstreifen wies hierbei eine Höhe von 1,4m auf. [99]



Abb. 2–18: Gebäudeskizze, Fensterpositionen [99, S27]

Im Rahmen dieses Versuches wurden wechselweise über dem Fenster des Primärbrandes, sowie über dem Fenster des ersten Geschoßes über dem Primärbrand Brandriegel angebracht um deren Einfluss auf die Brandweiterleitung über die Außenwand zu untersuchen. Des Weiteren wurde am Übergang zum Nachbarbereich (siehe Gebäudeskizze) ein vertikaler Brandriegel angeordnet, um seinen Einfluss auf die seitliche Brandausbreitung zu untersuchen.



Abb. 2–19: Schädigung Dämmebene nach Entfernen der Putzreste ^[99, S36]

Festzuhalten ist, dass infolge der Höhe der Flamme bei dem simulierten Fensterausbrand unabhängig von der Beschaffenheit der Fassade das erste Fenster über dem Primärbrand mit Flammen beaufschlagt wird. Ein Brandriegel über dem Fenster des Primärbrandes kann auf Basis dieses Versuchsergebnisses daher einen Entstehungsbrand im nächsten darüberliegenden Geschöß nicht verhindern.

2.2.2 19.09.2007 – Österreich, Graz

Der Naturbrandversuch wurde an einem Abbruchgebäude der ehemaligen Futtermilchfabrik Tagger durchgeführt und hatte das Ziel zu untersuchen, ob Polystyrol-Dämmsysteme eine Brandweiterleitung über die Fassade verursachen und damit eine Rettung durch die Feuerwehr durch die Fenster vereitelt würde. Des Weiteren sollte festgestellt werden, in welchem Ausmaß ein Brandriegel am Sturz (Sturzschutz) die Feuerausbreitung und das Brandverhalten der Fassade selbst beeinflussen. ^{[37][45]}

Die hergestellte Fassadenkonstruktion bestand aus Polystyrol-Hartschaum mit einer Dicke von 12cm und einer Putzdeckschichte. ^{[37][45]}

Zur Simulation eines Vandalen-Aktes wurden im unmittelbaren Nahbereich der Fassade zwei gefüllte Restmüll-Container aus Polyamid mit einer Füllmenge von je 1000 Liter in Brand gesetzt. Die Flammenhöhe der brennenden Container erreichte im Rahmen dieser Simulation Geschößhöhe, jedoch blieb das Feuer örtlich auf den Standort der Container begrenzt. Die befürchtete Entzündung der Fassade und Brandweiterleitung nach oben blieb jedoch aus. ^{[37][45]}



Abb. 2–20: Naturbrandversuch Graz (Österreich) 2007 – Müllbehälterbrand ^{[37][45]}

Zur Simulation eines Fensterausbrandes wurden zum Erreichen der größtmöglichen Brandlast im Erdgeschoß des Gebäudes 500kg Brennholz aufgeschichtet und anschließend entzündet. Über die gesamte Versuchszeit von rund 35min konnte keine Brandweiterleitung über die Fassade des Gebäudes festgestellt werden. Weiters konnte festgestellt werden, dass der am Fenstersturz angebrachte Mineralwollriegel (Sturzschutz) einerseits maßgeblich die Brandweiterleitung behinderte und andererseits das brennende Abtropfen der Polystyrolschmelze vom Sturz verhinderte. ^{[37][45]}



Abb. 2–21: Naturbrandversuch Graz (Österreich) 2007 – Fensterausbrand ^{[37][45]}

2.2.3 03.10.2008 – Österreich, Mödling

Der Brandversuch wurde auf dem Übungsgelände der Freiwilligen Feuerwehr Mödling mit Unterstützung der Firma Austyrol Dämmstoffe Ges.m.b.H. durchgeführt. Zweck dieses Versuches war es, durch einfache Beflammung die Unterschiede im Brandverhalten von Polystyrol-Hartschaum für Wärmedämmung und Verpackung vorzuführen. ^[46]

In einem ersten Brandversuch wurde ein Block aus Expandiertem Polystyrol-Hartschaum durch direkte Beflammung belastet. Der EPS-Block bestand aus Expandiertem Polystyrol, der aus einem Rohstoff mit Flammenschutzmittel hergestellt wurde, wie es bei Hartschaum-Dämmstoffen für die Anwendung als Fassadendämmplatte üblich ist. Der typische Effekt des sofortigen Aufschmelzens des Materials im Bereich der Flammeneinwirkung stellte sich ein. Nach Abstellen der Flamme war an der Oberfläche der Flammeneinwirkungszone ein kurzes Nachflammen erkennbar, das Feuer erlosch allerdings sofort. ^[46]



Abb. 2–22: Entflammungsversuch EPS mit Flammenschutzmittel ^[46]

In einem weiteren Versuch wurde zu Vergleichszwecken ebenfalls Expandiertes Polystyrol beflammt. Allerdings war dieses EPS zur Verwendung als Verpackungsmaterial vorgesehen und aus diesem Grund ohne Flammenschutzmittel hergestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass dieses Material das für unbehandeltes EPS typische Brandverhalten aufweist. Das Material brennt nach Entfernen der Zündquelle selbständig weiter, schmilzt dabei auf und die zähflüssige Polystyrolschmelze tropft brennend zu Boden. ^[46]



Abb. 2–23: Entflammungsversuch EPS ohne Flammenschutzmittel ^[46]

2.2.4 29.04.2011 – Österreich, Graz

Der Brandversuch wurde am Gelände der Feuerwache Süd in Graz von der Grazer Feuerpolizei durchgeführt und sollte veranschaulichen, welche Auswirkung ein Eindringen der Flammen in ein Wärmedämmverbundsystem bei einem Brand im unmittelbaren Nahbereich der Fassade haben kann und welchen Einfluss eine unsachgemäße Verklebung der Dämmplatten auf das Brandverhalten hat. ^[29]

Festzuhalten ist, dass Wärmedämmverbundsysteme bei der Herstellung in jedem Fall allseitig von einer Deckschichte umschlossen sein müssen, um eine direkte Belastung der Dämmebene zu verhindern.

Für die Demonstration wurden auf einer Holzschalung Dämmplatten ohne spezielle Verklebungsmethode verklebt und mit einer Putzschicht an der Oberfläche versehen. Im Randbereich wurde das System nicht verschlossen, so war die Dämmung (Expandiertes Polystyrol) den Flammen von Beginn an direkt ausgesetzt. Als Brandlast wurde loses Brennholz benutzt, welches am Fuße des Systems in einer Metallschale entzündet wurde. Schon nach wenigen Sekunden begann der Dämmstoff durch die direkte Beflammung an aufzuschmelzen. ^[29]



Abb. 2–24: Direkte Beflammung von EPS hinter der Deckschichte – Versuchsstart ^[29]

Nach kürzester Zeit war bereits ein Drittel des Dämmstoffes aufgeschmolzen, während die Putzoberfläche noch keinerlei Anzeichen von Schäden machte. Zu diesem Zeitpunkt war zu erkennen, dass obwohl im unteren Bereich noch fester Dämmstoff vorhanden war, ca. auf halber Höhe des Prüfaufbaus Schmelzspuren im Bereich der Stoßstellen der Dämmplatten zu verzeichnen waren. ^[29]

Das Auftreten dieses Effektes wurde seitens des Vertreters der Feuerpolizei Graz als „Kamineffekt“ bezeichnet, welcher auf die nicht ordnungsgemäße Verklebungsmethode zurückzuführen sei, da hier im Bereich der Stoßstellen der Dämmplatten Luftkanäle vorhanden sind, die wie vergleichsweise bei einem Kapillareffekt die Flammen schneller nach oben steigen lassen. ^[29]



Abb. 2–25: Direkte Beflammung von EPS hinter der Deckschichte – Versuchsende ^[29]

Das weitere schnelle Abbrennen der Dämmung war auf die direkte Beflammung im unteren Bereich der Fassade zurückzuführen und ist daher mit realen Brandszenarien nicht vergleichbar.

2.2.5 28.11.2011 – Deutschland, Braunschweig

Im Rahmen einer Berichterstattung des Fernsehsenders NDR wurde die Materialprüfanstalt (MPA) Braunschweig mit der Durchführung eines Brandversuches an einem Wärmedämmverbundsystem mit Expandiertem Polystyrol als Dämmstoff beauftragt. Hierzu wurde von einem Fachbetrieb eine Fassadenkonstruktion mit einer Dämmstoffdicke von 16cm ohne Brandriegel im Sturzbereich (Sturzschutz) sowie ohne Brandriegel weiter darüber (Simulation eines umlaufenden Brandriegels über dem zweiten Geschoß) hergestellt. Als Deckschicht wurde ein üblicher armerierter Unterputz und ein Deckputz hergestellt. Unter der Fassade wurde ein Brenner situiert, welcher mit einer Leistung von 300kW die Brandbelastung bei einem Fensterausbrand eines Wohnungsbrandes in Vollbrand simulieren sollte. Die Anbringung der Fassadenkonstruktion erfolgte in einer Nische, die durch beidseits vorspringende massive Bauteile begrenzt war. ^[32]



Abb. 2–26: Brandversuch WDVS ohne Sturzschutz – Versuchsaufbau ^[32]

Im Rahmen des Brandversuches zeigte sich bereits kurz nach Versuchsstart, dass durch die Eingrenzung der Flammen durch die massiven seitlichen Begrenzungen die gesamte Brandlast des Brenners auf den rund 1,2m breiten Sturz der Fassade einwirkte. ^[32]



Abb. 2–27: Brandversuch WDVS ohne Sturzschutz – Brandeinwirkung ^[32]

Nach einigen Minuten öffnete sich bereits der Sturz und das durch die Hitzeentwicklung aufgeschmolzene Polystyrol wurde freigesetzt. Dies wurde begleitet durch brennendes Abtropfen der Polystyrolschmelze vom Sturz. Dass über den gesamten Prüfaufbau (Höhe weit über 3m) trotz der Dämmstoffdicke von mehr als 10cm keine Brandsperranbrüche angebracht waren war am Ablauf dieses Versuches klar erkennbar. Durch die Brandeinwirkung und die Last von mehreren Metern geschmolzenen Polystyrols auf der Innenseite des Sturzes, versagte dieser bereits nach wenigen Minuten und öffnete sich. Das danach folgende Durchzünden (Flash Over) der Brandgase und der Polystyrolschmelze hinter der Deckschichte ist der bekannte Ablauf, der sich einstellt wenn ohne zusätzliche brandschutztechnische Maßnahmen Feuer ins Innere eines WDVS eindringen kann. ^[32]



Abb. 2–28: Brandversuch WDVS ohne Sturzschutz – brennendes Abtropfen ^[32]

Festzuhalten ist, dass dieser Versuchsaufbau durch die zweiseitige massive Eingrenzung des Brandeinwirkungsbereiches eine übermäßige Beanspruchung des Sturzes durch den Brenner zur Folge hatte, wie er in der Realität untypisch ist. Des Weiteren war durch die fehlende Anordnung von Brandriegeln zumindest 3m über der Öffnung die Belastung des Sturzes von innen zusätzlich erhöht. ^[93]

Anzumerken ist, dass ein praxisnahes Brandszenario erreicht würde, wenn der Prüfstand L-förmig angeordnet (gem. DIN 4102-20 oder ÖNORM B3800-5) und somit die Innenecke eines Gebäudes nachgebaut würde. ^[93]

2.2.6 Zusammenfassung / Schlussfolgerung

Abschließend ist festzustellen, dass Naturbrandversuche sehr gute Möglichkeiten liefern den Brandablauf zu simulieren und daraus einzelne Erkenntnisse zu erhalten. Auch bieten Nachstellungen von Brandszenarien jeglicher Art unabhängig vom Maßstab die Möglichkeit erste grobe Erkenntnisse über das Brandverhalten von WDV-Systemen zu erhalten.

Man bedenke, dass auch die ISO 13785-1 (Prüfung im mittleren Maßstab) lediglich darauf abzielt eine grobe Einschätzung des Brandverhaltens des geprüften Systems zu erhalten.

Es ist dabei jedoch festzuhalten, dass je nach Genauigkeitsgrad der Praxisnachstellung auch die Simulation nur auf bestimmte Bereiche bzw. zeitliche Abschnitte des Versuches realitätsnahe Daten liefern.

3 Labor- und Normbrandprüfungen

3.1 Grundsätze der Fassadenprüfungen

3.1.1 Schutzziele

Bereits 1989 wurden als Basis der Europäischen Harmonisierung sechs wesentliche Anforderungen an Bauprodukte durch die EG-Bauprodukterichtlinie 89/106/EWG definiert:

- Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- Brandschutz
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- Nutzungssicherheit
- Schallschutz
- Energieeinsparung und Wärmeschutz ^{[24][47]}

Während zum selben Zeitpunkt die Anforderungen an die Energieeinsparung und den Wärmeschutz den Nährboden für die rasante Entwicklung der Dämmstoffindustrie darstellte, wurden seitens der Anforderungen an den Brandschutz die fünf wesentlichen Anforderungen definiert, welche die Grundlage für moderne Fassadenprüfungen bilden. Gemäß dieser Anforderungen muss ein Bauwerk derart entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand:

- Die Tragfähigkeit des Bauwerkes während eines bestimmten Zeitraumes erhalten bleibt.
- Die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerkes begrenzt wird.
- Die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird.
- Die Bewohner des Gebäudes unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können.
- Die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist. ^{[24][47]}

Diese Anforderungen waren wesentlicher Bestandteil der Überlegungen beim Entwurf von Brandprüfungen an Fassadenteilen mit dem Ziel das Brandverhalten von Fassadenbekleidungen zu beschreiben bzw. zu klassifizieren. Die Schwierigkeit hierbei war es allerdings eine Brandprüfung zu erarbeiten, die für alle Anforderungen eine bestmögliche Aussage zulässt. ^[24]

Die ersten Fassadenprüfszenarien in dieser Richtung entstanden seitens der Internationalen Organisation für Normung (ISO 13785). Die Grundlage hierfür lieferte eine Festlegung der drei primären Gefahrensituationen im Brandfall von Fassadendämmsystemen.

- Fensterausbrand
- Äußerer Brand in Fassadennähe
- Brand in einem angrenzenden Gebäude ^{[48][49]}

Auf Basis dieser Festlegungen entstanden zwei Prüfszenarien.

- ISO 13785-1 – Prüfung im mittleren Maßstab
- ISO 13785-2 – Prüfung im realen Maßstab

Während Teil 1 dieser Norm zur groben Einschätzung des Brandverhaltens von Fassadenkonstruktionen dient, zielt Teil 2 darauf ab eine Beurteilung zu ermöglichen, ob die Fassadenkonstruktion bei einem Fensterausbrand einen maßgeblichen Beitrag zur Brandweiterleitung über die Fassade leistet (Näheres siehe Kapitel Fassadenprüfungen).

Alle derzeit angewandten nationalen Fassadenprüfnormen wurden in Abstimmung mit den Entwürfen der ISO 13785 seitens der Prüfanordnung und der seitens der EG-Bauprodukterichtlinie 89/106/EWG (seit 9.März 2011 Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011) definierten Schutzziele im Brandschutz kreiert. ^[10]

Am 9. März 2011 wurde zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten die EG-Bauprodukterichtlinie 89/106/EWG durch die Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011 ersetzt. ^[50]

In Bezug auf die oben angeführten Anforderungen an Bauprodukte seitens der EG-Bauprodukterichtlinie 89/106/EWG ergeben sich im Sinne der Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011 folgende Änderungen in den Grundanforderungen an Bauwerke, die bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllt werden müssen: ^[51]

- Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- Brandschutz
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung
- Schallschutz
- Energieeinsparung und Wärmeschutz
- Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen ^[50]

Hinsichtlich der Grundanforderung „Brandschutz“ gemäß Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011 wurde keine Änderungen der Anforderungen und somit der zu erzielenden Schutzziele vorgenommen.

3.1.2 Brandlast

Das Brandgeschehen ist ein individueller Vorgang, der von einer Reihe von Einflussfaktoren, insbesondere durch die Beteiligung von brennbaren Stoffen, der Art und Intensität der Zündung, der Raumkonfiguration und der Luftströmung abhängt. Eine „exakte“ Vorhersage der Brandentwicklung ist praktisch nicht möglich. Dennoch gibt es für die Beurteilung der Brandsicherheit von Gebäuden und Gebäudeteilen unter anderem für die Dimensionierung von Brandschutzanlagen Brandverläufe, welche für die Simulation der möglichen Brandszenarien hinreichend genau sind und es ermöglichen brauchbare Aussagen treffen zu können mit welchen Effekten im betreffenden Fall zu rechnen ist. ^[52]

- **Brandlast gemäß ÖNORM B 3800-5 (Ausz.05/2004) – Brandverhalten von Fassaden**

Gemäß der nationalen Brandprüfnorm für Fassaden in Österreich kann als Brandlast eine Holzkrippe bestehend aus vernagelten Fichtenholzstäben ($B \times H \times L = 4 \times 4 \times 50$ [cm]) mit einem Gesamtgewicht von $25\text{kg} \pm 1\text{kg}$ verwendet werden, oder ein Gasbrenner, welcher dieselbe Energiefreisetzung aufweist (siehe auch ISO 13785-2). ^[53]

Die Angaben über die Brandleistung der Normholzkrippe streuen im Bereich von ca. 250kW bis ca. 400kW. Die Wahl eines Wertes im unteren Bereich wird hier die größeren Sicherheiten liefern. ^{[54][55]}

- **Brandlast eines Müllbehälters**

Wie im Kapitel „Brandfälle“ beschrieben, kommt ein großer Anteil der Brände unter Beteiligung der Fassadenbekleidung durch Brandstiftung an Müllbehältern zustande. In Folge dessen wurde bereits eine Reihe an Brandprüfungen durchgeführt, welche den Brand an einem Müllbehälter und dabei eine Belastung der Fassadenkonstruktion von außen simulieren sollen. Hierzu war es notwendig eine Abschätzung über die Brandleistung eines derartigen Behälters vorzunehmen.

Seitens des IBS – Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. wurde hierbei auf Basis der Angaben eines lokalen Behälterherstellers und dem angenommenen Inhalts (Papier) des Behälters eine spezifische Brandleistung von $\sim 250\text{kW}/\text{m}^2$ für den Mischbrand des Polyethylens des Behälters und dem Inhalt (Papier) errechnet. Auf diese Weise konnte die zu erwartende Brandleistung durch ein Vielfaches der Normholzkruppen simuliert werden. ^[54]

3.2 Baustoffprüfung – Europäische Normung (CEN)

3.2.1 EN 13501-1 (Ausg.12/2009)

- **Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten** ^[56]

Das Ziel dieser Europäischen Norm ist die Definition eines harmonisierten Verfahrens für die Klassifizierung des Brandverhaltens von Bauprodukten. Die Klassifizierung erfolgt hierbei einerseits in sieben (Brennbarkeits-)Klassen (A1, A2, B, C, D, E, F) und andererseits in drei Klassen der Rauchentwicklung (s1, s2, s3) und drei Klassen für das brennende Abtropfen/Abfallen von Teilen des gegenständlichen Bauproduktes (d0, d1, d2). ^[56]

In der gezeigten Aufstellung sind alle Baustoffnormprüfungen angeführt, die gemäß EN 13501-1 Relevanz für die Klassifizierung in die oben angeführten Klassen haben. In den folgenden Unterkapiteln sind diese Prüfungen genauer beschrieben. ^[56]

Klasse	Prüfungen	Beurteilungskriterien	Zusatzkriterien
A1	EN ISO 1182	Temperaturanstieg ΔT Gewichtsverlust Δm Dauer der Entflammung t_f	keine
	EN ISO 1716	Brutto-Verbrennungswärme PCS	
A2	EN ISO 1182	Temperaturanstieg ΔT Gewichtsverlust Δm Dauer der Entflammung t_f	Rauchentwicklung Brennendes Abtropfen / Abfallen
	EN ISO 1716	Brutto-Verbrennungswärme PCS	
	EN 13823	Geschwindigkeit der Brandausbreitung FIGRA Seitliche Flammenausbreitung LFS Freigesetzte Wärme THR	
B	EN 13823	Geschwindigkeit der Brandausbreitung FIGRA Seitliche Flammenausbreitung LFS Freigesetzte Wärme THR	Rauchentwicklung Brennendes Abtropfen / Abfallen
	EN ISO 11925-2	Flammenausbreitung F_s	
C	EN 13823	Geschwindigkeit der Brandausbreitung FIGRA Seitliche Flammenausbreitung LFS Freigesetzte Wärme THR	Rauchentwicklung Brennendes Abtropfen / Abfallen
	EN ISO 11925-2	Flammenausbreitung F_s	
D	EN 13823	Geschwindigkeit der Brandausbreitung FIGRA	Rauchentwicklung Brennendes Abtropfen / Abfallen
	EN ISO 11925-2	Flammenausbreitung F_s	
E	EN ISO 11925-2	Flammenausbreitung F_s	Rauchentwicklung Brennendes Abtropfen / Abfallen
F	keine	keine	keine

Abb. 3-1: Klassifizierungskriterien EN 13501-1 ^[56]

3.2.2 EN ISO 11925-2 (Ausg.02/2011)

- **Prüfungen zum Brandverhalten – Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung Teil 2: Einzelflammentest** ^[57]

Das Ziel dieser europäischen Norm ist die Bestimmung der Entzündbarkeit von Bauprodukten durch Ermittlung der Ausbreitung einer streichholzgroßen Flamme (Small-Flame-test, 20mm) an der vertikalen Oberfläche des Probekörpers bei direkter Beflammung in einer bestimmten Zeit. Des Weiteren wird währenddessen das Auftreten von brennendem Abtropfen durch ein eventuelles Entzünden von darunterliegendem Filterpapier bestimmt. ^[57]



Abb. 3-2: Einzelflammentest gemäß EN ISO 11925-2 ^{[58][59]}

Diese Prüfung erlaubt die Bestimmung der Möglichkeit der Flammenausbreitung am gegenständlichen Baustoff zur Klassifizierung nach dem Brandverhalten gemäß EN 13501-1 der Klassen B bis D (30s Beflammung) und E (15s Beflammung), sowie deren Klasse für das brennende Abtropfen/Abfallen d0 bis d2. ^{[57][56]}

3.2.3 EN 13823 (Ausg.01/2011)

- **Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen** ^[60]

Das Prüfverfahren wird auch als SBI-Prüfung (Single Burning Item) bezeichnet und bestimmt einerseits das Brandverhalten eines Baustoffes bei thermischer Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand und auch die Rauchentwicklung während dem Prüfvorgang zur zusätzlichen Klassifizierung gemäß EN 13501-1 (s1-s3). ^[60]

Hierbei wird der Prüfkörper mit dem Prüfgerät in einem abgeschlossenen Prüfraum mittels eines Sandbettbrenners mit 30kW thermisch belastet. Die Anordnung des Prüfaufbaues ähnelt sehr stark dem Fassadenprüfstand gemäß ISO 13785-1 in kleinem Maßstab (siehe Kapitel Fassadenprüfung-International (ISO)). ^[60]

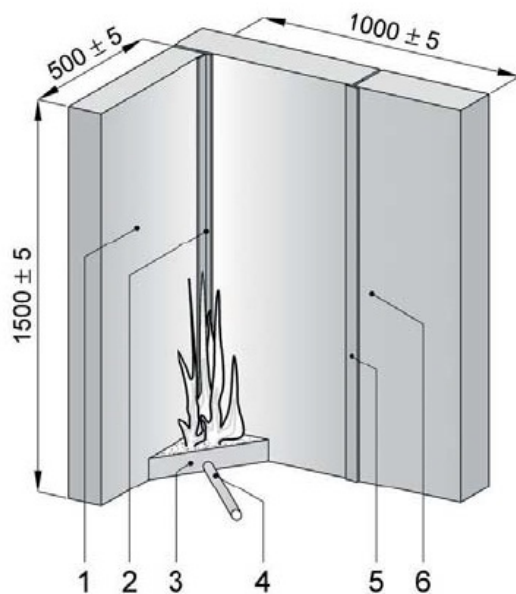


Abb. 3-3: SBI-Prüfung gemäß EN 13823 ^{[61, S10.18][62]}

Diese Prüfung erlaubt die Messung der gesamten freigesetzten Wärme (THR) der Probe, der seitlichen Flammenausbreitung und der Geschwindigkeit der Brandausbreitung (FIGRA). Dies erlaubt die Klassifizierung nach dem Brandverhalten gemäß EN 13501-1 der Klassen C und D mit $FIGRA_{0,4 MJ}$ wenn mit $FIGRA_{0,2 MJ}$ die Anforderungen für die Klassen A2 oder B nicht erfüllt sind. ^[60]

Des Weiteren erfolgt auf Basis dieser Brandprüfung die Klassifizierung hinsichtlich Rauchentwicklung (s1 bis s3) auf Basis der festgestellten Rauchfreisetzung (SPR) und die Klassifizierung hinsichtlich des brennenden Abtropfens (d0 bis d2) für die Brennbarkeitsklasse A2. ^[60]

3.2.4 EN ISO 1182 (Ausg.09/2010)

- **Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten – Nichtbrennbarkeitsprüfung** ^[63]

Anhand dieses Prüfverfahrens werden homogene Bauprodukte und substantielle Bestandteile von nichthomogenen Baustoffen auf Nichtbrennbarkeit untersucht. Hierbei werden die Proben in einem Ofen (in der Regel ein feuerfestes Rohr) über eine Dauer von mindestens 30min Temperaturen von etwa 750°C ausgesetzt und das Verhalten der Probe dabei dokumentiert. ^[63]

Maßgebende Faktoren hierbei sind der gemessene Temperaturanstieg ($\leq 50^{\circ}\text{C}$ für A2; $\leq 30^{\circ}\text{C}$ für A1), der Gewichtsverlust der Probe ($\leq 50\%$) und die Dauer der Entflammung ($\leq 20\text{s}$ für A2; 0s für A1) der Probe. ^{[56] [63]}

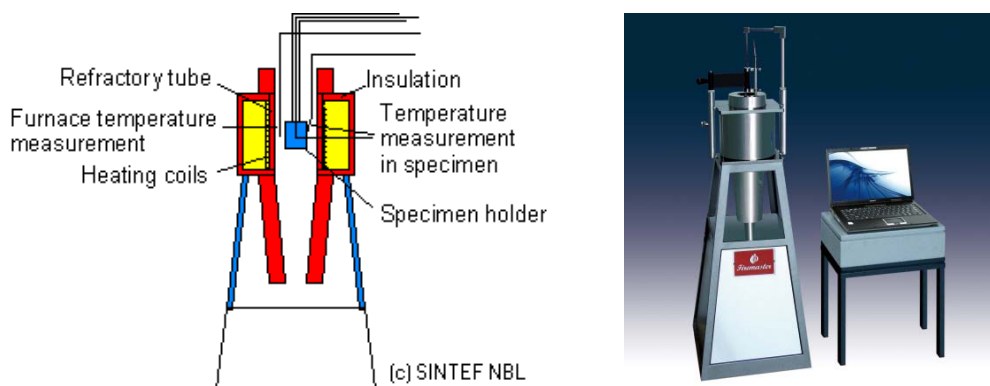


Abb. 3-4: Nichtbrennbarkeitsprüfung gemäß EN ISO 1182 ^{[64][65]}

Diese Prüfung liefert Informationen, die ausschließlich zur Klassifizierung von homogenen und substantiellen Bestandteilen inhomogener Baustoffe der Brennbarkeitsklasse A1 und A2 dienen. ^[63]

3.2.5 EN ISO 1716 (Ausg.11/2010)

- **Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten – Bestimmung der Verbrennungswärme (des Brennwertes)** ^[66]

Dieses Prüfverfahren dient zur Ermittlung der Brutto-Verbrennungswärme (PCS; =Heizwert) und bei Bedarf der Netto-Verbrennungswärme (PCI) von homogenen, sowie substantiellen und nichtsubstantiellen Bestandteilen von nichthomogenen Baustoffen. Der gegenständliche Prüfkörper wird hierbei in einem Bombenkalorimeter verbrannt und der Temperaturanstieg unter Berücksichtigung des Wärmeverlusts und der latenten Verdampfungswärme von Wasser als Basis für die Bestimmung der Verbrennungswärme dokumentiert. ^[66]

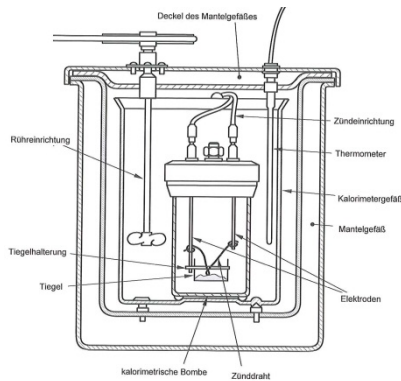


Abb. 3–5: Bestimmung der Verbrennungswärme gemäß EN ISO 1716 ^{[66][67]}

Diese Prüfung liefert Informationen, die ausschließlich zur Klassifizierung von homogenen und inhomogener Baustoffe der Brennbarkeitsklasse A1 und A2 dienen ($PCS \leq 3,0\text{MJ/kg}$ für A2; $PCS \leq 2,0\text{MJ/kg}$ für A1). ^[66]

3.3 Fassadenprüfung – Europäische Normung (CEN)

3.3.1 EN 13501-2 (Ausg.02/2010)

- **Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen** ^[68]

Anhand dieser Norm wird das Verhalten von Bauprodukten und Bauteilen gegen die direkte Einwirkung von Feuer konkretisiert und damit deren Feuerwiderstand und ihre Rauchdichtheit klassifiziert. ^[68]

In Bezug auf Fassadensysteme werde hier auf Basis der EN 1364-4 (Vorhangfassaden – Teilausführung) lediglich Vorhangfassaden klassifiziert und hinsichtlich der Leistungskriterien „Tragfähigkeit bei Brandbeanspruchung (Resistance)“ (R), „Dichtheit gegen Durchtritt von Rauch und Feuer – Raumabschluss (Etancheite)“ (E) und „Wärmedämmung – Isolierende Wirkung bei Brandbeanspruchung (Isolation)“ (I) bezeichnet. Eine derartige Klassifizierung von Außenwand-Wärmedämmverbundsystemen auf Basis der EN 13501-2 ist daher nicht möglich. ^[68]

3.3.2 EN 1364-4 (Auszug 05/2007)

- **Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile Teil 4: Vorhangfassaden – Teilausführung** ^[69]

Diese Europäische Norm ermittelt die Feuerwiderstandsdauer von Vorhangfassaden, welche nicht feuerwiderstandsfähige Ausfachungen (z.B. Verglasungen) beinhalten mit Hilfe eines Prüfverfahrens, welches eine Bewertung bezüglich herabfallender Teile (Personenschäden) beinhaltet. Hierbei wird ein Fassadenelement oder Fassadenteil mit Hilfe eines Prüfofens geprüft, welcher die Konstruktion, über die Information benötigt wird, vollständig repräsentiert. ^[69]

Die Prüfung nach EN 1364-4 deckt allerdings Fassadenbekleidungen und hinterlüftete Fassaden nicht ab. Folglich kann auf Basis dieser Norm keine Klassifizierung von Außenwand-Wärmedämmverbundsystemen erfolgen.

Der Prüfvorgang gemäß EN 1364-4 im Rahmen der Klassifizierung nach EN 13501-2 beinhaltet allerdings einige Parameter (Temperaturmessung durch Thermoelemente, Herabfallende Teile beim Prüfvorgang), die in jedem Fall Relevanz für die Prüfung von jeglichem Fassadensystem aufweisen und daher auch in die Prüfung von Außenwand-Wärmedämmverbundsystemen (siehe folgendes Kapitel) einfließen. ^[69]

Gemäß EN 1364-4 sind Aufzeichnungen über den Zeitpunkt zu machen, wenn im Rahmen der Brandprüfung Teile des Probekörpers herabfallen. Außerdem ist hierbei abzuschätzen, wie groß diese Teile zum Zeitpunkt des Herabfallens sind. ^[69]

3.3.3 Fazit

Auf Basis der vorliegenden Normen der Europäischen Union gibt es bisher keine Europeanorm für einen Prüfstand zur Fassadenprüfung hinsichtlich Brandsicherheit und somit keine Möglichkeit ein Wärmedämmverbundsystem hinsichtlich Brandverhalten und Brandwiderstand europäisch einheitlich zu klassifizieren, da selbst die ETAG004 (Europäische Technische Zulassungsleitlinie für Wärmedämmverbundsysteme) in Bezug auf Brandschutz auf die nationalen Klassifizierungsnormen verweist.

Aus diesem Grund wurden alle nationalen Fassadenprüfnormen für Wärmedämmverbundsysteme in Abstimmung mit den Entwürfen der ISO 13785 seitens der Prüf-anordnung und den zu erfüllenden Schutzziele kreiert. ^[10]

3.4 Fassadenprüfung – Internationale Normung (ISO)

3.4.1 ISO 13785-1 (Ausg.12/2002)

- Prüfungen zum Brandverhalten von Fassaden – Prüfung im mittleren Maßstab ^[48]

Die beschriebene Prüfung im mittleren Maßstab dient zur Veranschaulichung und Voreinschätzung des Verhaltens im Brandfall von einzelnen Komponenten einer Fassade bzw. Fassadenbekleidung oder eines Produktes, stellvertretend für eine Reihe von ähnlichen (verwandten) Produkten. Hierbei wird die Reaktion einer Fassade oder Fassadenbekleidung auf die Hitzeeinwirkung eines simulierten Brandes, mit direkt auf die Fassadenoberfläche einwirkenden Flammen, untersucht. Dabei wird die Fassade 2,4 m hoch und in einem einspringenden Winkel von 90° hergestellt um ein auch in der Praxis übliches Worst-Case Szenario zu erhalten. ^[48]

Die Brandbelastung geht hierbei von einem Propangas-Brenner (Sandbettbrenner) aus, der über die gesamte Länge des längeren Schenkels der Fassade (1,2 m) auf die Fassade mit einer Leistung von 100 ± 5 kW einwirkt. Des Weiteren werden zentrisch auf beiden Schenkeln des Prüfaufbaus in Abständen von 0,5 m Temperaturmessungen durchgeführt, sowie eine Wärmestrommessung an der Spitze der Fassade. ^[48]

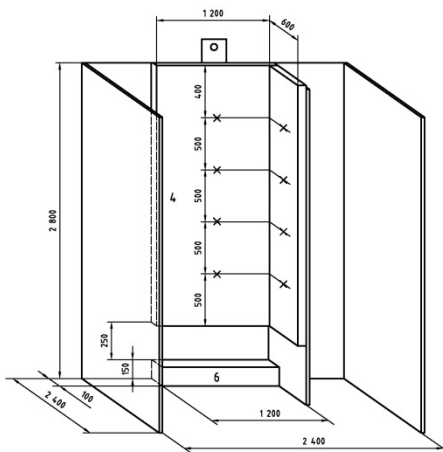


Abb. 3-6: Prüfstand gemäß ISO 13785-1 ^{[48][70]}

Die Prüfung wird beendet, wenn der Prüfkörper sich bis zur Oberkante entzündet hat, oder nach einer Prüfdauer von 30 min. Gemäß ISO 13785-1 gibt es keine Beurteilungskriterien, die eine Klassifizierung der Fassadenkonstruktion ermöglichen. Diese Prüfung dient ausschließlich dem Zweck erste Erkenntnisse über das allgemeine Verhalten der geprüften Konstruktion im Brandfall zu erlangen, indem jegliches ungewöhnliche Verhalten im Zuge dieser Prüfung aufgezeichnet wird und alle erfassten Daten (Temperaturverlauf, Wärmestrom, etc.) in einem Prüfbericht zusammengefasst werden. ^[48]

3.4.2 ISO 13785-2 (Ausg.12/2002)

- **Prüfungen zum Brandverhalten von Fassaden – Prüfung in realem Maßstab** ^[49]

Diese Prüfung wurde speziell für die Beurteilung von Fassaden und Fassadenbekleidungen entwickelt, die bei einem Flash-Over Szenario innerhalb eines Gebäudes durch einen Fensterausbrand und aus dem Fenster schlagende Flammen beansprucht werden. Hierbei wird die Erkenntnis berücksichtigt, dass bei einem Fensterausbrand, unabhängig von der Fassadenkonstruktion, die Gefahr der Brandausbreitung auf das nächste über dem Brandherd liegende Geschoß besteht. Folgendlich wird hier untersucht, ob und in welchem Ausmaß die Fassadenkonstruktion zur Brandweiterleitung in das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß beiträgt. ^[49]

Die Prüfanordnung ähnelt weitestgehend der Prüfung im mittleren Maßstab, allerdings befindet sich hier im längeren der im rechten Winkel zueinander stehenden Fassadenteile in Bodennähe eine Öffnung (Fenster) in welcher sich die Brandlast befindet. Gemäß ISO 13785-2 befindet sich die Brennkammer (Fassadenöffnung) 0,5 m über dem Boden und ist 1,2 m hoch. Über der Öffnung ist über 4,0 m die zu prüfenden Fassadenkonstruktion herzustellen. Die Temperaturmessung erfolgt mittels Thermoelemente, die knapp über dem Sturz der Öffnung und am obersten Punkt der Fassade angebracht sind. 60 cm über der Öffnung und am obersten Ende der Fassade werden zusätzlich Wärmestrommessungen durchgeführt. ^[49]

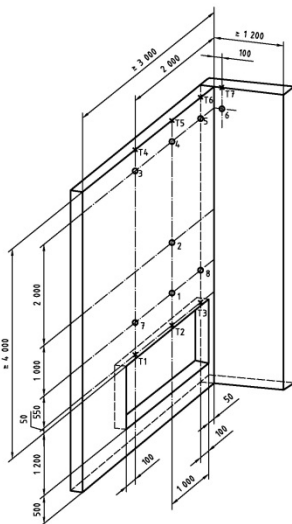


Abb. 3–7: Prüfstand gemäß ISO 13785-2 ^{[49][71]}

Gemäß ISO 13785-2 bestehen zwei Möglichkeiten die notwendige Brandlast für diese Prüfanordnung zu erreichen.

- 1) Propangas-Brenner mit einer Brennstoffflussrate von maximal 120 g/sec
- 2) Flüssiger Brennstoff in einer Wanne (zB.: Heptan, Aceton, etc.) im Umfang von von ~60l
- 3) Holzkrippen zu ~25kg aus vernagelten Weichholzstäben zu je 4 x 4 x 50 cm. Als Zündquelle 200ml Isopropanol je Holzkrippe. ^[49]

Dieser Versuch bildet eine fallspezifische Beanspruchung der Außenhaut ab und liefert daher keine Ergebnisse, die eine allgemeine Klassifizierung nach dem Brandverhalten zulassen würde. Auf Basis dieses Brandversuches kann eine Aussage getroffen werden, ob und in welchem Ausmaß die Fassadenkonstruktion einen Beitrag zur Brandweiterleitung über die Außenwand nach oben beiträgt.

3.5 Fassadenprüfung – National, Österreich

3.5.1 VORNORM ÖNORM B 3800-5 (Ausg.05/2004)

- **Brandverhalten von Fassaden. Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen** ^[72]

Das gegenständliche Regelwerk wurde in Anlehnung an die Prüfanordnung gemäß ISO 13785-2 entworfen und dient der Prüfung und Beurteilung des Brandverhaltens von Fassaden bzw. Fassadenbekleidungen, insbesondere der Einschätzung der Brandweiterleitung über die Fassadenoberfläche. Als angenommenes Szenario dient ein Vollbrand in einem Raum, der aus einem Fenster ausbricht und die angrenzende (darüberliegende) Fassade angreift. ^[72]

Das Prüfergebnis dieser Versuchsanordnung gibt Auskunft darüber, ob durch die Art der Fassadenbekleidung eine Begünstigung der Brandweiterleitung auf das zweite über dem Brand liegende Geschoß zu erwarten ist und eine Gefährdung der Einsatzkräfte und anderen Personen insbesondere durch das Herabfallen großer Teile besteht. ^[72]

Festzuhalten ist, dass in Abgrenzung zur Europäischen Prüfnorm für Vorhangfassaden EN 1364-4 bei dieser Prüfung ausschließlich die Erfüllung der Schutzziele gemäß der Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011 untersucht werden und keine Aussage über die Feuerwiderstandsdauer auf Basis dieser Prüfung möglich ist.

- **Prüfanordnung:**

Die zu prüfende Fassadenkonstruktion wird analog dem originalen Einbauzustand im natürlichen Maßstab an einer einspringenden Ecke eines Gebäudes mit einer Höhe von 6,0 m angebracht. In Bodennähe befindet sich eine Fassadenöffnung, in der sich die Brandkammer ($B \times H \times T = 1,0 \times 1,0 \times 0,8$ [m]) zur Simulation eines Fensterausbrandes befindet. Gemäß dem Prüfansatz soll bis zu einer Höhe, die der Mitte des zweiten über dem Brandherd befindlichen Geschoßes entspricht, eine thermische Belastung der Fassade auftreten. Als Brandlast kann wahlweise ein Gasbrenner oder eine Holzkrippe ($L \times B \times H = 0,50 \times 0,50 \times 0,48$ [m]) aus Fichtenholzstäben (4×4 [cm]), entzündet durch 200ml Isopropanol, eingesetzt werden. ^[72]

Hierbei ist anzumerken, dass die Brandlast einer gemäß den Vorgaben der ÖNORM B 3800-5 hergestellten Holzkrippe etwa 250-400kW beträgt. ^{[54][55]}

Da auch für den Fall einer nichtbrennbar ausgeführten Fassadenkonstruktion bei einem Fensterausbrand von Flammenhöhen bis 6,0 m auszugehen ist, wird grundsätzlich das zweite Geschoß über dem Brandherd als „zu schützendes“ Geschoß angesehen. ^[72]

Mit der bei diesem Versuch herangezogenen Brandlast wird jedoch nur die Flamme Spitze des Ausbrandes aus dem Fenster des Primärbrandgeschoßes simuliert. Durch diesen Ansatz kann in Bezug auf die Versuchsanordnung ein Geschoß am Versuchsaufbau eingespart werden, womit der Prüfstand nur 6 m und nicht 9 m Höhe benötigt. ^[94]

PRÜFSTAND GEMÄSS ÖNORM B 3800-5;2004

- Maße in [cm]
- Alle angegebenen fixen Maße sind nicht veränderbar.
- Alle Mindestmaße müssen mindestens den angegebene Wert haben.
- Seitenwände aus Porenbeton
- Position der Brennkammer muss variabel sein

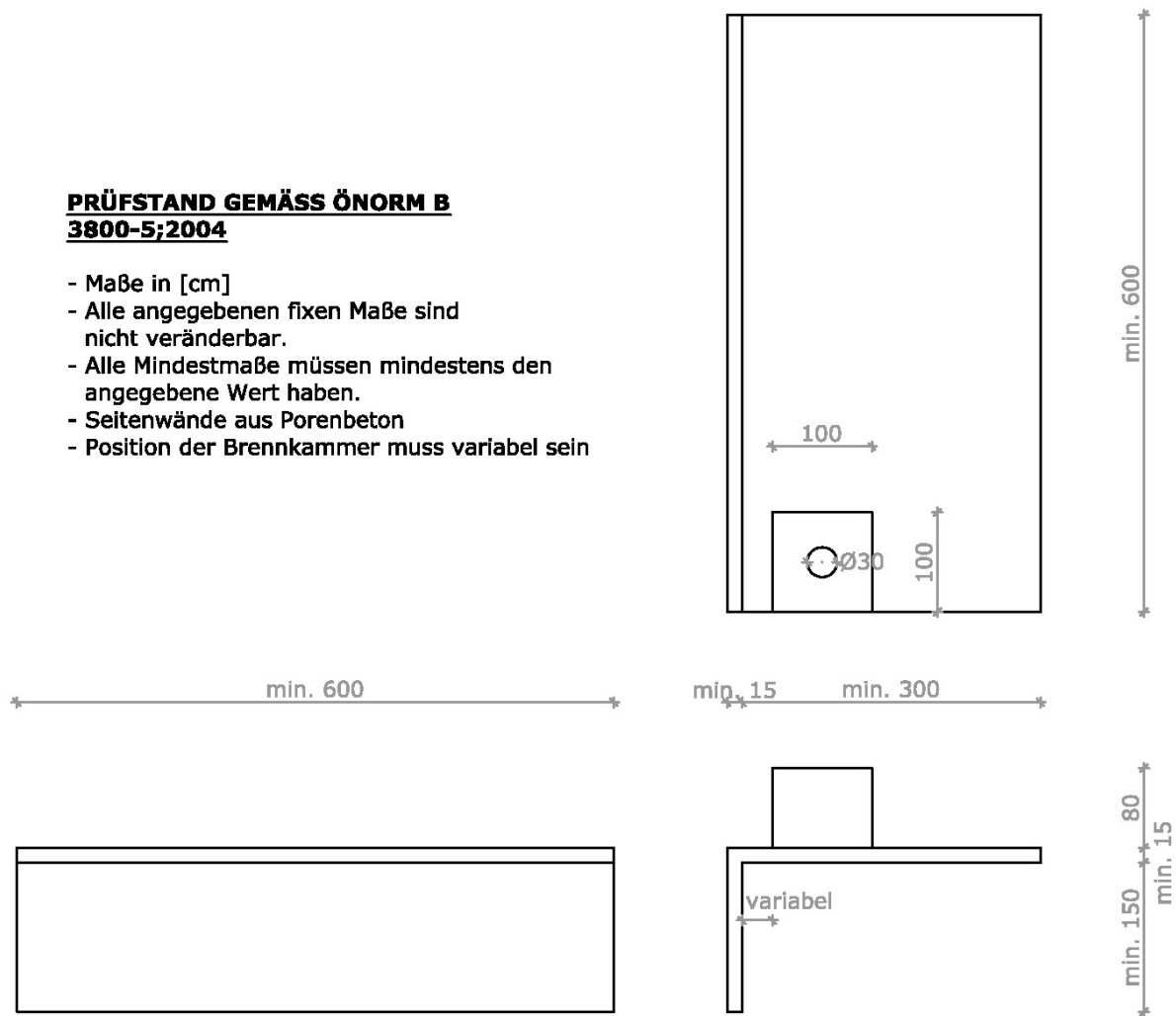


Abb. 3–8: Prüfstand gemäß ÖNORM B 3800-5 ^[72]

• **Prüfung:**

Die Prüfung dauert mindestens 30min und endet frühestens, wenn keine Branderscheinungen am Prüfaufbau mehr erkennbar sind. Die Prüfung ist in Intervallen kleiner 2min oder durch Videoaufzeichnung zu dokumentieren. Zusätzlich werden Temperaturmessungen mittels Thermoelementen an bestimmten Punkten des Prüfaufbaus durchgeführt.

Folgende Beobachtungen sind zu dokumentieren:

- Visuelle Beurteilung der Flammenausbreitung
- Visuelle Beurteilung des Herabfallens von Fassadenteilen
- Eventuelle Gefährdung am Brandort befindlicher Personen ^[72]

- **Beurteilung:**

Das Prüfergebnis gilt als positiv, wenn im Bereich des Prüfstandes:

- Keine erkennbare Brandausbreitung an bzw. unter der Oberfläche der Fassade feststellbar war.
- Die Temperaturen hinter der Fassade nicht höher waren als vor der Fassade.
- Keine Fassadenteile $>0,4\text{m}^2$ oder $>5\text{kg}$ abgefallen sind.
- Keine brennenden Fassadenteile abgefallen sind.
- Keine wesentlichen anderen Teile abgefallen sind [72]

3.6 Fassadenprüfung – National, Deutschland

3.6.1 NORMVORSCHLAG DIN 4102-20

- **Besonderer Nachweis für das Brandverhalten von Außenwandbekleidungen** [55]

Der deutsche Normenvorschlag der DIN 4102-20 orientiert sich in Bezug auf die Prüfverordnung wie die ÖNORM B 3800-5 stark an den Vorgaben der ISO 13785-2 (Prüfung im Realmaßstab). Der Grundaufbau des Prüfstandes besteht aus Wänden aus mineralischen Baustoffen mit mindestens 15cm Dicke und einer Gesamthöhe von mindestens 5,50 m Höhe gemessen vom Fußboden bis zur obersten Kante. Der Prüfstand besteht aus zwei in 90° zueinander angeordneten Wänden mit einer Breite von $\geq 1,5$ m und $\geq 2,5$ m. Im längeren Schenkel der beiden in 90° zueinander angeordneten Wände befindet sich in Bodennähe die Brennkammer. [55][10]

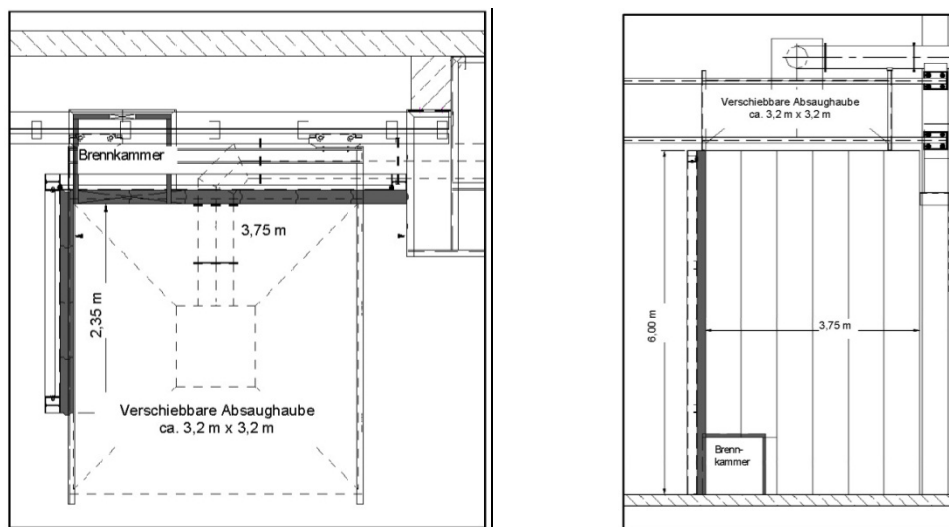


Abb. 3–9: Beispiel (MPA Braunschweig) für einen Prüfstand gemäß DIN 4102-20 [73]

Die auf die Prüfkonstruktion einwirkende Brandlast gemäß DIN 4102-20 kann auf zwei Arten erfolgen:

- 1) Holzkrippe vernagelt aus Weichholzstäben (4 x 4 x 50 [cm])
- 2) Gasbrenner mit einer Brennleistung von 350kW ^[55]

4 Erfasste Normbrandprüfungen und normnahe Prüfungen

4.1 IBS – Institut für Brandschutz und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H., Linz

4.1.1 03.07.2007 – Versuch gemäß ÖNORM B 3800-5

- Versuchsaufbau mit Sturzschutz aus Mineralwolle (MW) ^[74]

Der Brandversuch wurde im Rahmen einer Informationsveranstaltung durchgeführt. Die Prüfungsanordnung und die Abmessungen des Prüfstandes entsprachen exakt den Vorgaben der ÖNORM B 3800-5. ^[74]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 16cm mit Klebepachtel in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten. Als Armierung wurde ein Textilglasgitter in Armierungsmasse verlegt und ein mineralisch gebundener Deckputz aufgebracht. Im Sturzbereich wurde ein Sturzschutz in Mineralwolle 20cm hoch eingebaut. Der Brand wurde durch die Brandlast einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert. Die durch den Brand auftretenden Temperaturen wurden in Sturzhöhe, 25cm darüber, auf halber Höhe des Prüfaufbaus und an der Spitze der Fassade durch Thermoelemente vor und hinter der Fassade gemessen. ^[74]

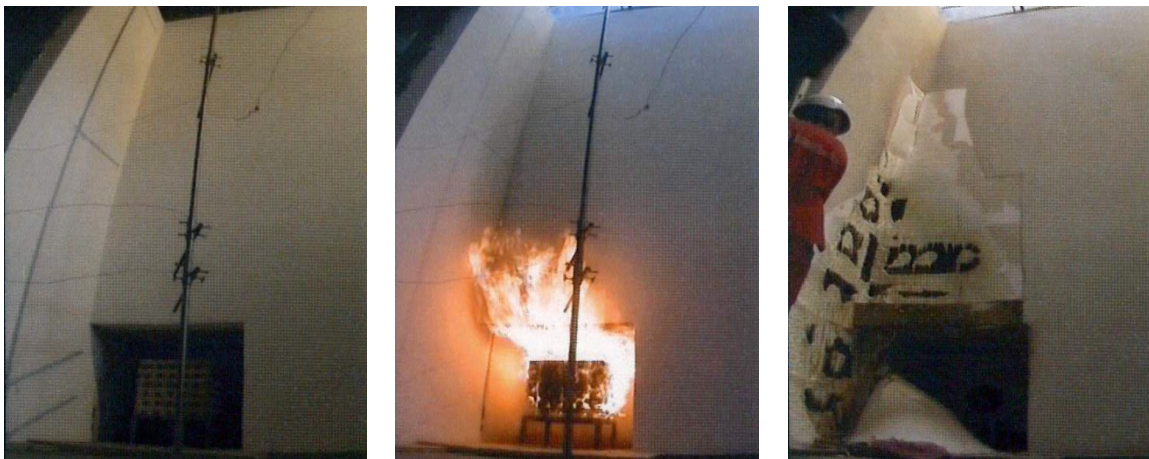


Abb. 4-1: Brandprüfung gemäß ÖNORM B 3800-5 mit Sturzschutz ^[74]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 22min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war, und keine Flammen mehr bis zum Dämmsystem reichten. ^[74]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Es gab keine herabfallenden Fassadenteile.
- Die Putzoberfläche blieb geschlossen, daher gab es kein Austreten von geschmolzenem Polystyrol und somit kein brennendes Abtropfen.
- Die Putzoberfläche war über der Brennkammer mäßig rußgeschwärzt und wies leichte Verformungen in der Größenordnung von 10mm aus der Ebene auf.
- Unter der Deckschichte war der Dämmstoff bis ~1,5m über dem Sturz angeschmolzen.
- Höchste gemessene Temperatur am Sturz ~570°C und 25cm darüber ~280°C.
[74]

4.1.2 30.09.2010 – Prüfung in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5

- **Prüfaufbau mit Sturzschutz aus Mineralwolle (MW), Prüfung mit Seitenwind** [75]

Die Prüfung wurde in Anlehnung an die ÖNORM B 3800-5 durchgeführt. Abweichungen zum Normprüfstand bestanden in der Aufbringung des WDVS (nur eine Wand), der Prüfstandhöhe (nur 4,0m) und der simulierten Seitenwindbelastung von im Mittel 3,5m/s. Ziel der Prüfung war es die Brandweiterleitung über die Fassade in horizontaler Richtung durch Seitenwind zu untersuchen. [75]



Abb. 4-2: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 1 – Prüfaufbau [75]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm mit mineralischer Klebspachtel in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten. Als Armierung wurde ein Textilglasgitter in 3mm mineralischem Unterputz verlegt und 1,5mm Silikatputz als Deckschichte aufgebracht. Im Sturzbereich wurde ein Sturzschutz in Mineralwolle 20cm hoch eingebaut. Der Brand wurde durch die Brandlast einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert. [75]



Abb. 4–3: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 1 – Prüfung ^[75]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 30min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch somit beendet wurde. ^[75]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Die Putzoberfläche blieb an der Außenseite durchgehend geschlossen, daher gab es kein Austreten von geschmolzenem Polystyrol und somit kein brennendes Abtropfen.
- Die Putzoberfläche über der Brennkammer war mäßig rußgeschwärzt
- Seitlich ist durch die Windbelastung auf ca. 70cm in horizontaler Richtung der Dämmstoff abgeschmolzen.
- Oberhalb der Brennkammer ist der Dämmstoff bis auf ca. 60cm über dem Sturz abgeschmolzen ^[75]

4.1.3 19.10.2010 – Prüfung in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5

- **Prüfaufbau mit Sturzschutz aus Mineralwolle (MW) und vertikalem Riegel (H=4,0m) aus Polyurethan (PU) 30cm neben der Brennkammeröffnung. Prüfung mit Seitenwind** ^[75]

Die Prüfung wurde in Anlehnung an die ÖNORM B 3800-5 durchgeführt. Abweichungen zum Normprüfstand bestanden in der Aufbringung des WDVS (nur eine Wand), der Prüfstandhöhe (nur 4,0m) und der simulierten Seitenwindbelastung von im Mittel 3,5m/s. Ziel der Prüfung war es die Einschränkung der horizontalen Brandweiterleitung über die Fassade bei Seitenwind durch einen vertikalen Brandriegel zu untersuchen. ^[75]



Abb. 4-4: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 2 – Prüfaufbau ^[75]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm mit mineralischer Klebspachtel in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten. Als Armierung wurde ein Textilglasgitter in 3mm mineralischem Unterputz verlegt und 1,5mm Silikatputz als Deckschicht aufgebracht. Im Sturzbereich wurde ein Sturzschutz in Mineralwolle 20cm hoch eingebaut. Rechts von der Brennkammer wurde in einem Abstand von 30cm ein vertikaler Polyurethanriegel über die gesamte Prüfstandhöhe von 4,0m angebracht. Der Brand wurde durch die Brandlast einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert. ^[75]

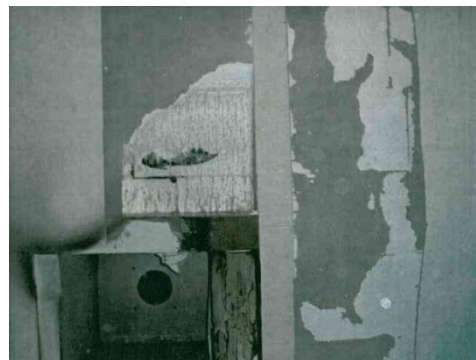


Abb. 4-5: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 2 – Prüfung ^[75]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 31min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch somit beendet wurde. ^[75]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Rechts über der Brennkammer ist eine Handtellergröße Putzscherbe abgeplatzt. Da dies im Bereich des Brandriegels passierte, kam es hierbei zu keinem Austritt von geschmolzenem Polystyrol.
- Die Putzoberfläche über der Brennkammer war mäßig rußgeschwärzt
- Seitlich unter der Deckschichte ist durch die Windbelastung bis zum Polyurethanriegel in horizontaler Richtung der Dämmstoff angeschmolzen. Ab dem Polyurethanriegel sind keine Schmelzspuren erkennbar.
- Oberhalb der Brennkammer ist unter der Deckschichte der Dämmstoff bis auf ca. 70cm über dem Sturz angeschmolzen ^[75]

4.1.4 11.11.2010 – Prüfung in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5

- Prüfaufbau mit Sturzschutz aus Mineralwolle (MW) und vertikalem Riegel (H=4,0m) aus Polyurethan (PU) direkt neben der Brennkammeröffnung, Prüfung mit Seitenwind ^[75]

Die Prüfung wurde in Anlehnung an die ÖNORM B 3800-5 durchgeführt. Abweichungen zum Normprüfstand bestanden in der Aufbringung des WDVS (nur eine Wand), der Prüfstandhöhe (nur 4,0m) und der simulierten Seitenwindbelastung von im Mittel 3,5m/s. Ziel der Prüfung war es die Einschränkung der horizontalen Brandweiterleitung über die Fassade bei Seitenwind durch einen vertikalen Brandriegel zu untersuchen. ^[75]



Abb. 4–6: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 3 – Prüfaufbau ^[75]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm mit mineralischer Klebspachtel in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten. Als Armierung wurde ein Textilglasgitter in 3mm mineralischem Unterputz verlegt und 1,5mm Silikatputz als Deckschicht aufgebracht. Im Sturzbereich wurde ein Sturzschutz in Mineralwolle 20cm hoch eingebaut. Rechts von der Brennkammer wurde direkt an die Brennkammer angrenzend ein vertikaler Polyurethanriegel über die gesamte Prüfstandhöhe von 4,0m angebracht. Der Brand wurde durch die Brandlast einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert. ^[75]



Abb. 4–7: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 3- Prüfung ^[75]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 33min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch somit beendet wurde. ^[75]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Über die gesamte Außenfläche sind keine Risse bzw. Öffnungen des Systems zu erkennen. Daher ist kein Austritt von geschmolzenem Polystyrol zu verzeichnen.
- Die Putzoberfläche über der Brennkammer war mäßig rußgeschwärzt
- Seitlich unter der Deckschicht ist durch die Windbelastung bei ca. 2cm nach dem Polyurethanriegel ein Schmelzen des Polystyrols zu verzeichnen. Über die Höhe der Brandkammer ist der Riegel selbst verkohlt.
- Oberhalb der Brennkammer ist unter der Deckschicht der Dämmstoff bis auf ca. 60cm über dem Sturz abgeschmolzen ^[75]

4.1.5 20.01.2011 – Prüfung einer Durchfahrt

- **Prüfaufbau in Form einer Durchfahrt mit DUK auf +3,15m und einer Durchfahrtsbreite von ~3,5m. Deckendämmung in Mineralwolle (MW), Seitenwände mit Polystyrol Hartschaum (EPS-F)** ^[54]

Die Beurteilung der Prüfung erfolgte auf Basis der zu erfüllenden Schutzziele gemäß Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011 in Anlehnung an die ÖNORM B3800-5, da es für einen Prüfaufbau dieser Art keine Prüfnorm gibt. Versuchsziel war es, das Brandverhalten der WDVS-Fassade in einer Durchfahrt durch eine Brandbelastung zu beurteilen, welche jener eines gefüllten Müllgroßbehälters (1100l Füllmenge) entspricht. ^[54]



Abb. 4–8: Brandprüfung einer Durchfahrt 1 – Prüfung ^[54]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm mit mineralischer Klebspachtel in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten an den Seitenwänden und 5cm Mineralwolle an der Decke. Die Dämmplatten an der Decke wurden zusätzlich durch Telleranker gesichert. Als Armierung wurde ein Textilglasgitter in 5mm mineralischem Unterputz verlegt und 1,5mm Silikatputz als Deckschicht aufgebracht. Der Brand wurde durch die Brandlast von vier entzündeten normgemäßen Holzkrippen simuliert, welche im unmittelbaren Nahbereich einer der Seitenwände angeordnet waren. Die Anzahl der Holzkrippen wurde dabei aus einer rechnerischen Ermittlung der Brandlast eines papiergefüllten Müllcontainers abgeleitet. ^[54]



Abb. 4–9: Brandprüfung einer Durchfahrt 1 – Fassadenschädigung ^[54]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 26min die Holzrippen vollständig abgebrannt waren und der Versuch bei Minute 30 beendet wurde. ^[54]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Über die gesamte Putzoberfläche sind keine Risse bzw. Öffnungen des Systems zu erkennen. Daher ist kein Austritt von geschmolzenem Polystyrol zu verzeichnen.
- Es waren über die gesamte Versuchsdauer keine Abplatzungen und herabfallende Teile zu verzeichnen.
- Im unmittelbaren Einwirkungsbereich der Brandlast ist eine Verwölbung der Putzoberfläche in der Größenordnung von bis zu 10cm aus der Ebene zu erkennen.
- Hinter der Deckschichte ist über die gesamte Wandhöhe die Dämmung abgeschmolzen und hat sich am Boden als 3cm hohe Schicht erstarrten Polystyrols angesammelt, an der gegenüberliegenden Wand ist die Abschmelzrate geringer ohne Lachenbildung am Boden.
- Die Mineralwolleplattens an der Decke weisen leichte dunkle Verfärbungen auf, jedoch sind sie weder beschädigt und sind an Ort und Stelle. ^[54]

4.1.6 18.11.2010 – Prüfung einer Durchfahrt

- **Prüfaufbau in Form einer Durchfahrt mit DUK auf +3.15m und einer Durchfahrtsbreite von ~3,5m. Deckendämmung und Seitenwände Bekleidung mit Polystyrol Hartschaum (EPS-F)** ^[76]

Die Beurteilung der Prüfung erfolgte auf Basis der zu erfüllenden Schutzziele gemäß Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011 in Anlehnung an die ÖNORM B3800-5, da es für einen Prüfaufbau dieser Art keine Prüfnorm gibt. Versuchsziel war es, das Brandverhalten der WDVS-Fassade in einer Durchfahrt durch eine Brandbelastung zu beurteilen, welche jener einer gefüllten Mülltonne (360l Füllmenge) entspricht. ^[76]



Abb. 4-10: Brandprüfung einer Durchfahrt 2 – Prüfung ^[76]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm mit mineralischer Klebspachtel in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten sowohl an den Seitenwänden, als auch an der Decke. Als Armierung wurde ein Textilglasgitter in 3mm mineralischem Unterputz verlegt und 1,5mm Silikatputz als Deckschicht aufgebracht. Der Brand wurde durch die Brandlast von zwei entzündeten normgemäßen Holzkippen simuliert, welche im unmittelbaren Nahbereich einer der Seitenwände angeordnet waren. Die Anzahl der Holzkippen wurde dabei aus einer rechnerischen Ermittlung der Brandlast einer papiergefüllten Mülltonne abgeleitet. [76]



Abb. 4-11: Brandprüfung einer Durchfahrt 2 – Fassadenschädigung [76]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 25min die Holzkippen vollständig abgebrannt waren und der Versuch bei Minute 36 beendet wurde. [76]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Bereits nach 15 Minuten war ein Durchhängen der Decke (Putzoberfläche) über der Brandlast um ca. 20cm zu verzeichnen, gegen Ende des Versuches um ca. 25cm.
- Nach ca. 17 Minuten war auf beiden Seiten der Durchfahrt am Übergang von Wand zur Decke eine Rissbildung erkennbar, aufgrund der Armierung öffnete sich das System jedoch nicht.
- Hinter der Deckschicht ist über die gesamte Wandhöhe die Dämmung über eine Breite von 1,2m bis 1,6m abgeschmolzen und hat sich am Boden als 3cm hohe Schicht erstarrten Polystyrols angesammelt, an der gegenüberliegenden Wand ist die Abschmelzrate geringer ohne Lachenbildung am Boden.
- Die Dämmung an der Decke ist auf eine Fläche von 2,0m² zum Teil abgeschmolzen (0cm bis 25cm). [76]

4.1.7 13.12.2011 – Prüfung einer Untersicht eines vorspringenden Geschoßes

- Prüfaufbau in Form eines 2,5m vorspringenden Obergeschoßes auf Stützen mit DUK auf +3,0m und einer Bauteillänge von 5,7m Decken- und Seitenwanddämmung aus Polystyrol Hartschaum (EPS-F)

Die Beurteilung der Prüfung erfolgte auf Basis der zu erfüllenden Schutzziele gemäß Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011 in Anlehnung an die ÖNORM B3800-5, da es für einen Prüfaufbau dieser Art keine Prüfnorm gibt. Versuchsziel war es, das Brandverhalten der WDVS-Fassade unter einem vorspringenden Obergeschoß durch eine Brandbelastung zu beurteilen, welche jener einer gefüllten Mülltonne (360l Füllmenge) entspricht und vergleichbar mit einem Ausbrand aus einem Einzelfenster mit $B \times H = 1,0\text{m} \times 1,2\text{m}$ ist.



Abb. 4–12: Brandprüfung Untersicht Auskrägung - Prüfung

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm mit mineralischer Klebspachtel in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten sowohl an den Seitenwänden, als auch an der Untersicht. Als Armierung wurde ein Textilglasgitter in 3mm mineralischem Unterputz verlegt und 1,5mm Silikatputz als Deckschicht aufgebracht. Der Brand wurde durch die Brandlast von zwei entzündeten normgemäßen Holzrippen simuliert, welche im unmittelbaren Nahbereich der Fassade unter dem Gebäudevorsprung angeordnet waren. Die Anzahl der Holzrippen wurde dabei aus einer rechnerischen Ermittlung der Brandlast einer papiergefüllten Mülltonne abgeleitet.



Abb. 4–13: Brandprüfung Untersicht Auskrägung – Fassadenschädigung

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 23min die Holzrippen vollständig abgebrannt waren und der Versuch bei Minute 37 beendet wurde.

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Bereits nach 8 Minuten war eine Verformung der Putzoberfläche an der Untersicht in der Größenordnung von ein paar Zentimetern festzustellen. Über die gesamte Prüfdauer, nahm die Verformung aber nur in geringem Ausmaß zu.
- Nach ca. 9 Minuten war eine vermehrte Rauchentwicklung zu erkennen, die über die Prüfdauer an verschiedenen Stellen temporär auftrat.
- Hinter der Deckschichte ist über eine Höhe von 1,8 m und eine Breite von 0,8 m die Dämmung an der Wand vollkommen abgeschmolzen.
- An der Untersicht ist im unmittelbaren Nahbereich der Brandlast auch jeglicher Dämmstoff abgeschmolzen.
- Der Austritt von Polystyrolschmelze beschränkte sich auf ein geringes Maß durch einen kleinen Spalt in Bodennähe.
- Über die gesamte Prüfdauer war kein brennendes Abtropfen oder Herabfallen von Fassadenteilen zu verzeichnen.

4.2 MA39 – Magistratsabteilung 39, Wien

4.2.1 04.09.2002 – Orientierende Prüfung

- Prüfaufbau ohne Sturzschutz [77]

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum als orientierende Brandprüfung für Wärmedämmverbundsysteme in Österreich durchgeführt. [77]

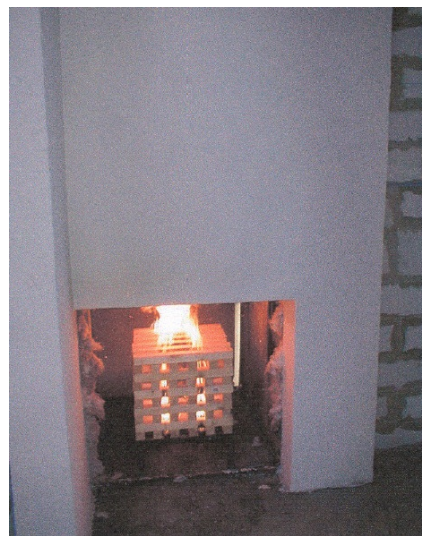
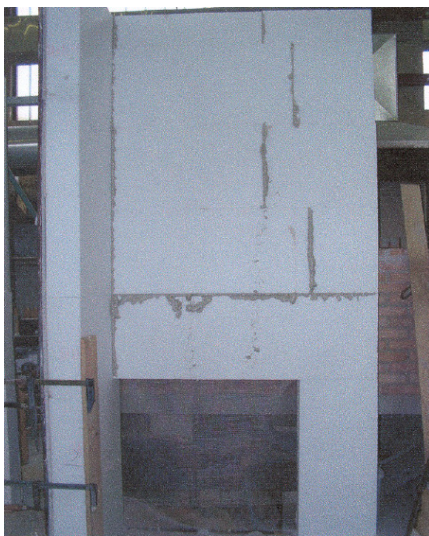


Abb. 4-14: Orientierende Prüfung ohne Sturzschutz – Prüfbeginn [77]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 16cm in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten. Die Armierung wurde in doppelter Lage in 6mm mineralisch gebundenem Unterputz verlegt und als Deckschicht ein 3mm starker Silikatputz aufgebracht. An der Sturzkante der Fassadenöffnung (Brennkammer) wurde auf einen Sturzschutz verzichtet. Zur Verstärkung der Deckschicht im Sturzbereich wurde lediglich im Bereich der Sturzkante ein Panzerwinkel (verstärkter Armierungswinkel) eingelegt. Der Brand wurde durch die Brandlast von einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert, welche in der Brandkammer in Bodennähe angeordnet war. [77]

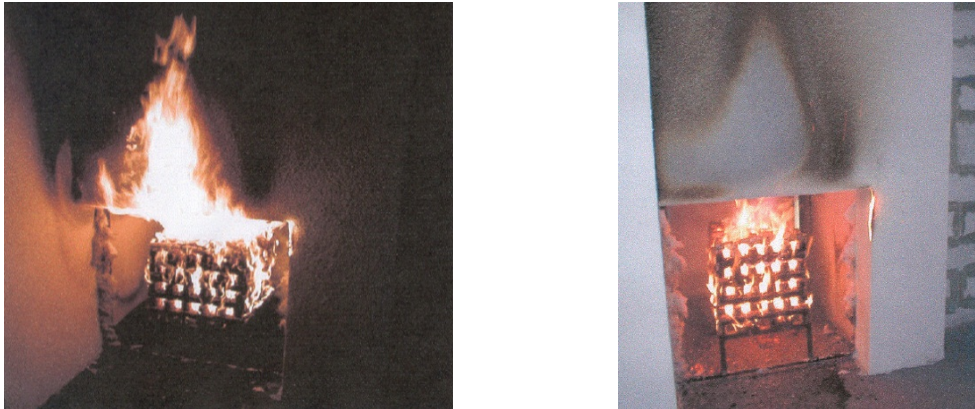


Abb. 4-15: Orientierende Prüfung ohne Sturzschutz – Fassadenschädigung ^[77]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 30min die Holzkippe vollständig abgebrannt war und der Versuch somit beendet wurde. ^[77]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach rund 15 Minuten war die Bildung eines Horizontalen Risses am Sturz erkennbar.
- Nach rund 20 Minuten war ein selbständiges Brennen an der rechten Leibungskante zu erkennen. ^[77]

4.2.2 31.03.2003 – Prüfung Fassadenkonstruktion

- **Prüfaufbau mit Sturzschutz aus Polyurethan (PU)** ^[78]

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum durchgeführt. Ziel dieser Prüfung war die Beobachtung des Brandverhaltens der Fassadenkonstruktion im Bereich des zweiten über dem Primärbrand liegenden Geschoßes. Zur Temperaturmessung wurden im Sturzbereich, 25cm darüber, 2,0m über der Sturzkante und am höchsten Punkt des Prüfstandes vor und hinter der Fassade Thermoelemente angebracht. ^[78]



Abb. 4–16: Prüfung Sturzschutz aus Polyurethan – Prüfbeginn ^[78]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten eines gemäß EN 13501-1 als B-s1 klassifizierten Systems. An der Sturzkante der Fassadenöffnung (Brennkammer) wurde ein horizontaler Brandriegel (Sturzschutz) 20cm hoch mit einem seitlichen Überstand von 30cm in Polyurethan (PU) angebracht. Abschließend wurde das Dämmsystem mit einem Silikatputz als Deckschicht versehen. Der Brand wurde durch die Brandlast von einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert, welche in der Brandkammer in Bodennähe angeordnet war. ^[78]



Abb. 4–17: Prüfung Sturzschutz aus Polyurethan – Fassadenschädigung ^[78]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 26min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch bei Minute 30 beendet wurde. ^[78]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach 9 Minuten war im linken Bereich des Sturzes Tropfenbildung zu verzeichnen.
- Über die gesamte Prüfdauer war kein Öffnen des Systems mit Austritt von flüssigem Polystyrol und keine herabfallenden Fassadenteile erkennbar.
- Über die gesamte Prüfdauer konnte keine Brandweiterleitung über die Oberfläche der Fassade festgestellt werden.
- Nach dem Zerfall der Holzkrippe war ein kurzfristiges selbständiges Weiterbrennen der Sturzkante zu erkennen
- Höchste gemessene Temperatur am Sturz $\sim 527^{\circ}\text{C}$ und 25cm darüber $\sim 537^{\circ}\text{C}$.

- Hinter der Fassadendeckschichte war das Polystyrol über die gesamte Höhe des Prüfstandes angeschmolzen. Bis ca. zur Hälfte der Höhe des Prüfstandes war das Polystyrol zum Teil über die gesamte Dämmstoffdicke abgeschmolzen. [78]

4.2.3 16.05.2003 – Prüfung Fassadenkonstruktion

- **Prüfaufbau mit Sturzschutz aus Mineralwolle (MW)** [79]

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum durchgeführt. Ziel dieser Prüfung war die Beobachtung des Brandverhaltens der Fassadenkonstruktion im Bereich des zweiten über dem Primärbrand liegenden Geschoßes. Zur Temperaturmessung wurden im Sturzbereich, 25cm darüber, 2,0m über der Sturzkante und am höchsten Punkt des Prüfstandes vor und hinter der Fassade Thermoelemente angebracht. [79]



Abb. 4-18: Prüfung Sturzschutz aus Mineralwolle – Prüfbeginn [79]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten eines gemäß EN 13501-1 als B-s1 klassifizierten Systems. An der Sturzkante der Fassadenöffnung (Brennkammer) wurde ein horizontaler Brandriegel (Sturzschutz) 20cm hoch mit einem seitlichen Überstand von 30cm in Mineralwolle (MW) angebracht, welcher an der Außenseite mit 2cm EPS-F abgedeckt war. Abschließend wurde das Dämmsystem mit einem Silikatputz als Deckschichte versehen. Der Brand wurde durch die Brandlast von einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert, welche in der Brandkammer in Bodennähe angeordnet war. [79]



Abb. 4–19: Prüfung Sturzschutz aus Mineralwolle – Fassadenschädigung ^[79]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 21min die Holzkippe vollständig abgebrannt war und der Versuch bei Minute 30 beendet wurde. ^[79]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach rund 4 Minuten waren abfallende Teile des Putzes vom Sturz zu erkennen, aufgrund des Sturzschutzes in Mineralwolle kam es jedoch zu keinem Austritt von geschmolzenem Polystyrol.
- Nach rund 5 Minuten war ein Mitbrennen der Putzoberfläche zu erkennen, eine Brandweiterleitung über die Oberfläche der Fassade kam dadurch jedoch nicht zustande.
- Die maximale Flammenhöhe betrug rund 2,0m.
- Höchste gemessene Temperatur am Sturz $\sim 560^{\circ}\text{C}$ und 25cm darüber $\sim 442^{\circ}\text{C}$.
- Hinter der Fassadendeckschichte war das Polystyrol über die gesamte Höhe des Prüfstandes teilweise angeschmolzen. Bis ca. 1,0m über dem Sturz war das Polystyrol zum Teil über die gesamte Dämmstoffdicke abgeschmolzen. ^[79]

4.2.4 07.11.2003 – Prüfung gemäß ÖNORM B 3800-5

- **Prüfaufbau mit Sturzschutz aus Calciumsilikat (CaSi) [80]**

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum durchgeführt. Die Prüfungsanordnung und die Abmessungen des Prüfstandes entsprachen exakt den Vorgaben der ÖNORM B 3800-5, welche zu diesem Zeitpunkt mit Ausgabejahr 2003 den Stand der Technik darstellte. Zur Temperaturmessung wurden im Sturzbereich, 25cm darüber, 2,0m über der Sturzkante und am höchsten Punkt des Prüfstandes vor und hinter der Fassade Thermoelemente angebracht. ^[80]



Abb. 4–20: Prüfung Sturzschutz aus Calciumsilikat – Prüfbeginn ^[80]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten eines gemäß EN 13501-1 als B-s1 klassifizierten Systems. An der Sturzkante der Fassadenöffnung (Brennkammer) wurde ein horizontaler Brandriegel (Sturzschutz) 5cm hoch mit einem seitlichen Überstand von 30cm in Form einer Platte aus Calciumsilikat (CaSi) angebracht, welche an der Außenseite mit 2cm EPS-F abgedeckt war. Abschließend wurde das Dämmsystem mit einem Silikatputz als Deckschicht versehen. Der Brand wurde durch die Brandlast von einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert, welche in der Brandkammer in Bodennähe angeordnet war. ^[80]



Abb. 4–21: Prüfung Sturzschutz aus Calciumsilikat – Fassadenschädigung ^[80]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 21min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch bei Minute 30 beendet wurde. ^[80]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach rund 5 Minuten war ein Mitbrennen der Putzoberfläche zu erkennen, eine Brandweiterleitung über die Oberfläche der Fassade kam dadurch jedoch nicht zustande.
- Höchste gemessene Temperatur am Sturz $\sim 530^{\circ}\text{C}$ und 25cm darüber $\sim 406^{\circ}\text{C}$.
- Hinter der Fassadendeckschichte war das Polystyrol über die gesamte Höhe des Prüfstandes teilweise angeschmolzen. Bis ca. der halben Höhe des Prüfstandes war das Polystyrol zum Teil über die gesamte Dämmstoffdicke abgeschmolzen. ^[80]

4.2.5 28.11.2003 – Prüfung in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5

- Prüfaufbau mit Sturzschutz aus Polyurethan (PU) ^[81]

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum durchgeführt. Die Prüfungsanordnung und die Abmessungen des Prüfstandes wurden in Anlehnung an die Vorgaben der ÖNORM B 3800-5, welche zu diesem Zeitpunkt mit Ausgabejahr 2003 den Stand der Technik darstellte, hergestellt. Die Abweichungen zum Normprüfstand bestanden in der Art der Unterkonstruktion (Rahmen mit angeschraubten nichtbrennbaren Platten) und den Abmessungen des Prüfstandes selbst ($L \times B \times H = 1,8 \times 0,8 \times 3,0$ [m]). ^[81]

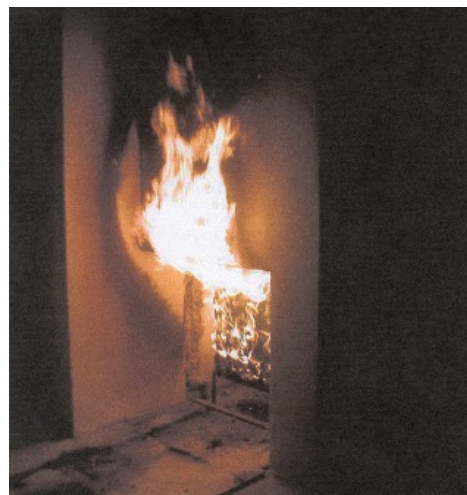
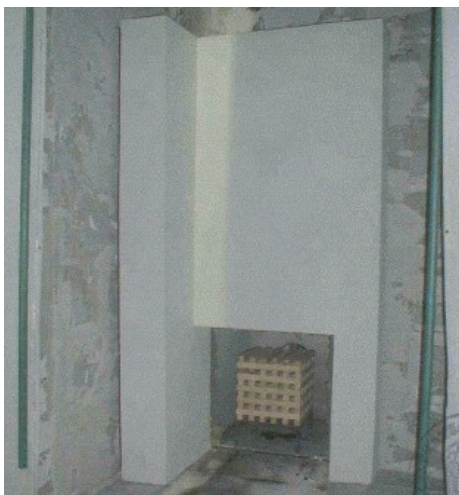


Abb. 4-22: Prüfung Sturzschutz aus Polyurethan – Prüfbeginn ^[81]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten eines gemäß EN 13501-1 als B-s1 klassifizierten Systems. Die Armierung wurde in 3mm mineralischem Unterputz verlegt und als Deckschicht ein 3mm starker Kunstharzputz aufgebracht. An der Sturzkante der Fassadenöffnung (Brennkammer) wurde ein horizontaler Brandriegel (Sturzschutz) 20cm hoch mit einem seitlichen Überstand von 30cm aus Polyurethan (PU) angebracht, welche an der Außenseite mit 2cm EPS-F abgedeckt war. Der Brand wurde durch die Brandlast von einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert, welche in der Brandkammer in Bodennähe angeordnet war. ^[81]



Abb. 4–23: Prüfung Sturzschutz aus Polyurethan – Fassadenschädigung ^[81]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 24min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch bei Minute 30 beendet wurde. ^[81]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach rund 5 Minuten war eine Verwölbung der Deckschicht im Sturzbereich zu erkennen.
- Nach rund 6 Minuten war ein Abfallen von Teilen des Putzes vom Sturz zu verzeichnen. Infolge der Ausbildung mit Sturzschutz kam es zu keiner Öffnung im System durch die geschmolzenes Polystyrol austreten hätte können.
- Nach rund 12 Minuten war ein selbständiges Brennen der Sturzkante zu verzeichnen. Dieser Effekt setzte sich nach Wegfallen der Brandlast in Minute 25 bis zum Versuchsende in Minute 30 fort, erlosch aber selbständig.
- Hinter der Fassadendeckschicht war über beide Schenkel des Prüfstandes und über die gesamte Prüfstandhöhe von 3,0m das Polystyrol abgeschmolzen. ^[81]

4.2.6 19.04.2007 – Prüfung gemäß ÖNORM B 3800-5

- **Prüfaufbau ohne Sturzschutz** ^[82]

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum durchgeführt. Die Prüfungsanordnung und die Abmessungen des Prüfstandes entsprachen exakt den Vorgaben der ÖNORM B 3800-5. Zur Temperaturmessung wurden im Sturzbereich, 25cm darüber, 2,0m über der Sturzkante und am höchsten Punkt des Prüfstandes vor und hinter der Fassade Thermoelemente angebracht. ^[82]

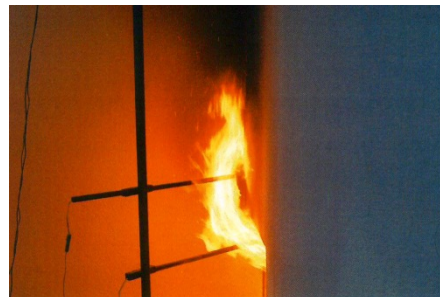


Abb. 4–24: Brandprüfung Armierungswinkel am Sturz – Prüfbeginn ^[82]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 10cm in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten eines gemäß EN 13501-1 als B-s2 klassifizierten Systems. Die Armierung wurde in 3mm zementgebundenem Unterputz verlegt und als Deckschichte ein 1,5mm starker Silikatputz aufgebracht. An der Sturzkante der Fassadenöffnung (Brennkammer) wurde aufgrund der Dämmstoffdicke von 10cm auf einen Brandriegel (Sturzschutz) verzichtet. Es wurde lediglich die Sturzkante verstärkt, indem hier ein Panzerwinkel (verstärkter Armierungswinkel) eingelegt wurde. ^[82]



Abb. 4–25: Brandprüfung Armierungswinkel am Sturz – Polystyrolaustritt ^[82]

Der Brand wurde durch die Brandlast von einer entzündeten normgemäßen Holzkippe simuliert, welche in der Brandkammer in Bodennähe angeordnet war. ^[82]



Abb. 4–26: Brandprüfung Armierungswinkel am Sturz – Fassadenschädigung ^[82]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 20min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch bei Minute 35 beendet wurde. ^[82]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach rund 5 Minuten war eine Verwölbung der Deckschichte im Sturzbereich zu erkennen.
- Die maximale Flammenhöhe betrug ca. 2,0m
- Nach rund 10 Minuten war eine Rissbildung im Sturzbereich erkennbar. Bis zum Versuchsende trat an diesem Riss lokal ein Mitbrand der Fassadenoberfläche auf.
- Nach rund 17 Minuten war im Bereich des Risses ein brennendes Abtropfen in geringem Ausmaß zu verzeichnen.
- Nach rund 20 Minuten war im Bereich des Risses ein verstärktes brennendes Abtropfen zu verzeichnen.
- Nach rund 35 Minuten war trotz Wegfallen der Brandlast in Minute 20 weiterhin ein lokales selbständiges Brennen der Sturzkante in geringem Ausmaß erkennbar.
- Höchste gemessene Temperatur am Sturz $\sim 698^{\circ}\text{C}$ und 25cm darüber $\sim 486^{\circ}\text{C}$.
- Hinter der Fassadendeckschichte war ein Abschmelzen der Polystyrol-Dämmung bis rund 2,0m über dem Sturz erkennbar. Im Bereich bis ca. 1,5m über dem Sturz war über die Breite des Sturzes nahezu die gesamte Dämmung abgeschmolzen.

^[82]

4.2.7 28.06.2007 – Prüfung gemäß ÖNORM B 3800-5

- **Prüfaufbau mit Sturzschutz aus Mineralwolle (MW)** ^[83]

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum im Rahmen einer Informationsveranstaltung durchgeführt. Die Prüfungsanordnung und die Abmessungen des Prüfstandes entsprachen exakt den Vorgaben der ÖNORM B 3800-5. Zur Temperaturmessung wurden im Sturzbereich, 25cm darüber, 2,0m über der Sturzkante und am höchsten Punkt des Prüfstandes vor und hinter der Fassade Thermoelemente angebracht. ^[83]



Abb. 4-27: Prüfung Sturzschutz aus Mineralwolle – Prüfbeginn ^[83]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 16cm in Randwulst-Punkt-Methode verklebten EPS-F Dämmplatten eines gemäß EN 13501-1 als B-s1 klassifizierten Systems. Die Armierung wurde in 3mm zementgebundenem Unterputz verlegt und als Deckschichte ein 3mm starker Silikatputz aufgebracht. An der Sturzkante der Fassadenöffnung (Brennkammer) wurde ein horizontaler Brandriegel (Sturzschutz) 20cm hoch mit einem seitlichen Überstand von 30cm aus Mineralwolle (MW) angebracht. Zur Verstärkung der Deckschichte im Sturzbereich wurde die Oberflächenarmierung in die Leibung der Brennkammer gezogen und zusätzlich im Bereich der Sturzkante ein Panzerwinkel (verstärkter Armierungswinkel) eingelegt. Der Brand wurde durch die Brandlast von einer entzündeten normgemäßen Holzkrippe simuliert, welche in der Brandkammer in Bodennähe angeordnet war. ^[83]



Abb. 4-28: Prüfung Sturzschutz aus Mineralwolle – Fassadenschädigung ^[83]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 21min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch bei Minute 30 beendet wurde. ^[83]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach rund 4 Minuten war eine Verwölbung der Deckschichte im Sturzbereich zu erkennen.
- Die maximale Flammenhöhe betrug ca. 2,0m
- Höchste gemessene Temperatur am Sturz ~633°C und 25cm darüber ~622°C.
- Hinter der Fassadendeckschichte war ein Abschmelzen der Polystyrol-Dämmung bis rund 2,0m über dem Sturz auf die gesamte Dämmdicke erkennbar. ^[83]

4.2.8 22.04.2010 – Prüfung einer Loggia-Nische

- **Prüfaufbau in Form einer Nische mit drei Seitenwänden und einer Deckenplatte** ^[84]

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum durchgeführt. Die Prüfungsanordnung und die Abmessungen des Prüfstandes entsprachen einer vierseitig durch Seitenwände und eine Deckplatte begrenzte Nische (B x T x H = 1,52 x 1,36 x 3,00 [m]). Zwei der Seitenwände waren mit einem WDVS versehen. In der eingeschlossenen Ecke dieser Seitenwände wurde die Brandlast positioniert, welche mittels einer normgemäßen Holzkrippe simuliert wurde. ^[84]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 20cm in Randwulst-Punkt-Methode mit mineralischer Klebspachtel verklebten EPS-F Dämmplatten. Der Sockelbereich wurde in derselben Dicke in EPS-P hergestellt und für den Sockelabschluss Aluminiumprofile eingesetzt. Als Armierung wurde ein Glasfasergewebe in den Unterputz eingebettet und als Deckschichte ein 1,5mm starker Silikonharz-Putz aufgebracht. ^[84]

Zur Temperaturmessung wurde hinter der Brandlast in Höhen von 35cm, 115cm und 265cm Thermoelemente positioniert. ^[84]



Abb. 4–29: Brandprüfung Loggia-Nische 1 – Fassadenschädigung ^[84]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 23min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch bei Minute 30 beendet wurde. ^[84]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach rund 4 Minuten war eine Verwölbung der Deckschichte im unmittelbaren Nahbereich der Brandeinwirkung zu verzeichnen.
- Nach rund 6 Minuten war ein Mitbrennen der Oberfläche zu erkennen.
- Die maximale Flammenhöhe betrug ca. 2,8m
- Die maximal gemessene Temperatur betrug 719°C ^[84]

4.2.9 23.04.2010 – Prüfung einer Loggia-Nische

- **Prüfaufbau in Form einer Nische mit drei Seitenwänden und einer Deckenplatte [84]**

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum durchgeführt. Die Prüfungsanordnung und die Abmessungen des Prüfstandes entsprachen einer vierseitig durch Seitenwände und eine Deckplatte begrenzte Nische ($B \times T \times H = 1,52 \times 1,36 \times 3,00$ [m]). Zwei der Seitenwände waren mit einem WDVS versehen. In der eingeschlossenen Ecke dieser Seitenwände wurde die Brandlast positioniert, welche mittels einer normgemäßen Holzkrippe simuliert wurde. ^[84]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 20cm in Randwulst-Punkt-Methode mit mineralischer Klebespachtel verklebten EPS-F Dämmplatten. Der Sockelbereich wurde in derselben Dicke in EPS-P hergestellt und für den Sockelabschluss Aluminiumprofile eingesetzt. Als Armierung wurde ein Glasfasergewebe in den Unterputz eingebettet und als Deckschicht ein 1,5mm starker Silikatputz aufgebracht. ^[84]



Abb. 4–30: Brandprüfung Loggia-Nische 2 – Fassadenschädigung ^[84]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 24min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch bei Minute 32 beendet wurde. ^[84]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach rund 7 Minuten war eine Verwölbung der Deckschicht im unmittelbaren Nahbereich der Brandeinwirkung zu verzeichnen.
- Die maximale Flammenhöhe betrug ca. 2,1m
- Die maximal gemessene Temperatur betrug 598°C ^[84]

4.2.10 02.09.2010 – Prüfung einer Loggia-Nische

- **Prüfaufbau in Form einer Nische mit drei Seitenwänden und einer Deckenplatte** ^[84]

Der Brandversuch wurde im Auftrag der GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum durchgeführt. Die Prüfungsanordnung und die Abmessungen des Prüfstandes entsprachen einer vierseitig durch Seitenwände und eine Deckplatte begrenzte Nische (B x T x H = 1,52 x 1,36 x 3,00 [m]). Zwei der Seitenwände waren mit einem WDVS versehen. In der eingeschlossenen Ecke dieser Seitenwände wurde die Brandlast positioniert, welche mittels einer normgemäßen Holzkrippe simuliert wurde. ^[84]

Die Fassadenkonstruktion bestand aus 20cm in Randwulst-Punkt-Methode mit mineralischer Klebspachtel verklebten EPS-F Dämmplatten. Der Sockelbereich wurde in derselben Dicke in EPS-P hergestellt und für den Sockelabschluss Aluminiumprofile eingesetzt. Als Armierung wurde ein Glasfasergewebe in den Unterputz eingebettet und als Deckschicht ein 1,5mm starker Silikonharz-Putz aufgebracht. ^[84]



Abb. 4-31: Brandprüfung Loggia-Nische 3 – Fassadenschädigung ^[84]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass nach rund 25min die Holzkrippe vollständig abgebrannt war und der Versuch bei Minute 30 beendet wurde. ^[84]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Nach rund 6 Minuten war eine Verwölbung der Deckschicht im unmittelbaren Nahbereich der Brandeinwirkung zu verzeichnen.
- Die maximale Flammenhöhe betrug ca. 2,9m
- Die maximal gemessene Temperatur betrug 494°C ^[84]

4.3 MFPA Leibzig GmbH

4.3.1 24.07.2008 – Prüfung gemäß DIN 4102-20

- Prüfaufbau mit Sturzschutz aus Polyurethan 0,5m über dem Sturz ^[85]

Der Brandversuch wurde im Auftrag der Puren GmbH in der Gesellschaft für Materialforschung und Prüfanstalt Leibzig mbH durchgeführt um festzustellen, ob hinsichtlich der Anwendung des Polyurethanriegels als Sturzschutz brandschutztechnische Bedenken bestehen. Die Fassadenkonstruktion bestand aus 30cm in Randwulst-Punkt-Methode mit mineralischem Klebemörtel verklebten Polystyrol-Hartschaum Dämmplatten ohne zusätzliche Verdübelung. Als Armierung wurde ein Textilglas-Gittergewebe in den 2mm Unterputz eingebettet und als Deckschicht ein 2mm starker dispersionsgebundener Oberputz aufgebracht. Die Prüfung wurde gemäß den Vorgaben der DIN 4102-20 mit einem Gasbrenner bei natürlichen Lüftungsbedingungen durchgeführt. ^[85]



Abb. 4-32: Brandprüfung Sturzschutz aus Polyurethan 0,5m über dem Sturz ^[85]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass der Prüfstand rund 20min mit der Vollbrandtemperatur des Prüffeuers thermisch beansprucht wurde. ^[85]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Der ungeschützte Sturz der Brandkammeröffnung öffnete sich und die Flammen des Prüffeuers traten in die Dämmebene ein.
- Der ungeschützte Polystyrol-Dämmstoff brannte vollständig ab.
- Über die gesamte Prüfdauer hielt der Riegel aus Polyurethan den Anforderungen Stand. ^[85]

4.3.2 24.07.2008 – Prüfung gemäß DIN 4102-20

- Prüfaufbau mit Brandriegel aus Polyurethan 3,5m über dem Sturz ^[85]

Im Zuge der Brandprüfung im Auftrag der Fa. Puren GmbH wurde parallel zum Versuch mit einem Brandriegel aus Polyurethan 0,5m über dem Sturz ein Versuch mit demselben Riegel in 3,5m Höhe über dem Sturz durchgeführt. Hinsichtlich der Fassadenkonstruktion und ihrer Komponenten war dieser Versuchsaufbau vollkommen identisch. ^[85]



Abb. 4-33: Brandprüfung Sturzschutz aus Polyurethan 3,5m über dem Sturz ^[85]

Zum Ergebnis dieser Prüfung ist festzuhalten, dass der Prüfstand rund 20min mit der Vollbrandtemperatur des Prüffeuers thermisch beansprucht wurde und dieselben Effekte zu verzeichnen waren. ^[85]

Über die gesamte Prüfdauer waren folgende Effekte zu verzeichnen:

- Der ungeschützte Sturz der Brandkammeröffnung öffnete sich und die Flammen des Prüffeuers traten in die Dämmebene ein.
- Der ungeschützte Polystyrol-Dämmstoff brannte vollständig ab.
- Über die gesamte Prüfdauer hielt der Riegel aus Polyurethan den Anforderungen Stand. ^[85]

4.4 Zusammenfassung / Erkenntnisse

Wie in der internationalen Normenreihe ISO 13785 beschrieben können die Brandszenarien an Wärmedämmverbundsystemen auf drei Grundfälle eingegrenzt werden.

1) Fensterausbrand

Hier liegt der Brandherd innerhalb des Gebäudes (z. B. Zimmervollbrand) und der Brand breitet sich bei geborstenen Fenstern über den Außenbereich nach oben aus.

2) Brandbelastung von außen

Hier liegt der Brandherd im Freien im unmittelbaren Nahbereich der Außenwand. Von der Brandentstehungsphase weg wirkt der Brand auf die Oberfläche der Außenwand ein.

3) Brand in einem Nebengebäude

Der Brandherd liegt in einem angrenzenden Nebengebäude. In Bezug auf die Fassadenthematik breitet sich der Brand hier im Falle des Berstens der Fenster nach oben, aber durch die seitliche Flammenausbreitung und/oder eine Seitenwindbelastung auch über die Fenster des Nebengebäudes auf das Nachbargebäude aus.

4.4.1 Fensterausbrand

Auf Basis der in Anlehnung an die Prüfstandanordnung gemäß ISO 13785-2 ausgearbeiteten nationalen Prüfverfahren zur Beurteilung des Brandverhaltens von Fassadenkonstruktionen in Verbindung mit der Sicherstellung der Schutzziele gemäß Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011, gibt es bereits viele Erkenntnisse, wie in der Ausbildung der Fassade (z. B. Brandschutztechnische Zusatzmaßnahmen) mit diesem Brandszenario umgegangen werden muss.

Die Entwicklung von Zusatzmaßnahmen wie Sturzschutz und umlaufender Brandriegel sind auf diese Erkenntnisse zurückzuführen und haben maßgeblich Anteil daran, dass die unerwünschten Effekte, die bei Brandfällen im Bereich von Wärmedämmverbundsystemen auftreten können, nicht eintreten.

Alle unerwünschten Effekte wie brennendes Abtropfen, Herabfallen von Fassadenteilen, übermäßige Rauchentwicklung, Brandweiterleitung über die Fassade, basieren auf Öffnungen in der Fassadenkonstruktion, durch welche im Brandfall Fassadenbestandteile und Gase austreten, und/oder Flammen in das System eindringen können.

Wie die oben angeführten Prüfungen und Versuche zeigen, kann durch eine planmäßige Verstärkung der Schwachstellen im System (grundsätzlich alle Bereich, an denen Eckausbildungen mit der Putzoberfläche hergestellt werden), eine enorme Verbesserung des Brandverhaltens von Wärmedämmverbundsystemen erzielt werden.

Hierbei sind nicht nur die konstruktiven Maßnahmen wie Brandsperren von Bedeutung, sondern auch, wie in vielen der oben angeführten Versuche angeführt, auch Maßnahmen wie Verstärkungen der Deckschichte in Eckbereichen wie z. B. mittels verstärkter Armierungswinkel. Wie Brandprüfungen in der MFPA Leibzig GmbH 2004 gezeigt haben können auch durch Maßnahmen wie vorgelegte Gewebeslaufen im Sturzbereich die Ziele zur Verstärkung des Systems, auch bei großen Dämmstoffdicken, erreicht werden.

Ideen & Anregungen

Die Haupteckennis im Rahmen dieser Arbeit und auf Basis der eingesehenen Brandversuche besteht darin, dass für den Brandfall unter Beteiligung von Wärmedämmverbundsystemen mit Polystyrol-Hartschaum-Dämmung zur Erfüllung der Schutzziele in jedem Fall sichergestellt sein muss, dass das System geschlossen ist und bleibt.

Auf Basis dieser Erkenntnis wäre beispielsweise eine Vorschreibung von Verstärkungsmaßnahmen seitens der Armierung an allen Ecken und Kanten von Wärmedämmverbundsystemen ohne Ausnahmen eine Möglichkeit, zur brandschutz-technischen Ertüchtigung dieser Fassadenkonstruktion beizutragen, da hierdurch auch Systeme an Gebäuden ertüchtigt würden, die derzeit von dem Erfordernis von brandschutz-technischen Zusatzmaßnahmen ausgenommen sind.

4.4.2 Brandbelastung von außen

Wie die Vielzahl an erfassten Brandfällen an Gebäuden, welche mit einem Wärmedämmverbundsystem ausgestattet waren, gezeigt haben, geht ein erhöhtes Gefahrenpotential von Brandlasten (brennbaren Materialien) aus, welche an der Außenwand und somit im unmittelbaren Nahbereich der Fassadenkonstruktion gelagert oder aufgestellt werden.

Im Speziellen Mülllager und -Sammelstätten schaffen hier ein enormes Zusatzrisiko in Bezug auf die Brandgefahr an der Außenwand, da hier im Zuge stark frequentierter Verkehrswege (z. B. im innerstädtischen Bereich) mitunter vermehrt mit Vandalismus und Brandstiftung gerechnet werden muss.

Zusätzlich ist in diesem Bereich, wie bereits oben angeführt, je nach Ausbildungsart des Sockelbereiches hier mitunter durch die Unterbrechung des Systems eine Schwachstelle im Wärmedämmverbundsystem gegeben, die unter Umständen in Verbindung mit einem Brandherd in diesem Bereich zu unerwarteten und unerwünschten Effekten wie das Einbrennen in die Fassadenkonstruktion führen kann.

Einige der erfassten Brandversuche haben bereits darauf abgezielt, das Brandverhalten von Wärmedämmverbundsystemen mit einer direkt vor der Fassade situierten Brandlast zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen auch hier wiederum, dass die Stärken des Wärmedämmverbundsystems in der Robustheit der Deckschichte liegen und die maßgebenden Schäden infolge einer Brandeinwirkung nicht an der ebenen Oberfläche entstehen, sondern an Stellen, die durch Eckausbildungen etc. Schwächen aufweisen.

Speziell der Ansatz des IBS – Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. bei Brandversuchen die Brandlast von Müllbehältern über deren Bestandteile und Inhalt mit einem Vielfachen genormter Brandlasten (Holzkrippen) zu beschreiben, hat bereits zu aussagekräftigen Ergebnissen in der Beurteilung dieses Brandszenarios geführt.

Ideen & Anregungen

In Österreich werden in vereinzelt Regionen bereits verschärfte Anforderungen an die Ausbildung von Fassadenkonstruktionen in Bereichen gestellt, in denen durch Lagerungen von brennbaren Materialien in Fassadennähe mit einer verstärkten Brandgefahr zu rechnen ist. Speziell in der Stadt Graz müssen derartige Bereiche mit Dämmstoffen versehen werden, die nicht brennbar sind und somit keine Brandausbreitung ermöglichen. Dieses Verfahren wäre durchaus auch auf nationaler Ebene denkbar.

Des Weiteren haben mehrere der Versuche gezeigt, dass bei diesem Brandszenario die Deckschichte zuerst in Bodennähe Schaden nimmt, und sich ausgehend von dort durch austretende Polystyrolschmelze und deren Entzündung die Schädigung fortsetzen kann. Bisher konnte nicht festgestellt werden, ob diese Thematik bereits aufgegriffen wurde.

4.4.3 Brand in einem Nebengebäude

Das Brandszenario eines vom Nebengebäude über die Fassade übergreifenden Brandes wurde bisher versuchstechnisch am wenigsten behandelt. Es gibt hier zwar Arbeiten, die sich mit Flammenausbreitung zur Seite befassen, jedoch die Berücksichtigung von Luftströmungen (Windeinwirkung) fand bisher nur eingeschränkt statt.

Erste Brandversuche des IBS – Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. mit einer Simulation von Seitenwind durch einen konstanten Zuluftstrom haben gezeigt, dass die seitliche Brandbelastung der Fassade relativ gering ist. Jedoch wurde hier mit einer Brandlast gemäß der nationalen Fassadenprüfnorm ÖNORM B 3800-5 geprüft, welche nur die Spitze der Flammen eines Fensterausbrandes simulieren. Daten über die Belastung der Fassade zur Seite auf Basis einer Simulation einer Flammenbelastung in realer Größe ($\sim 6,0$ m) liegen derzeit nicht vor.

Festzuhalten ist, dass bei Wärmedämmverbundsystemen mit Dämmungen aus Polystyrol-Hartschaum durch die seitliche Brandeinwirkung dieselben Abschmelzerscheinungen auftreten, wie bei einer vertikalen Brandbelastung nach oben. Jedoch ist hierbei der Effekt der übermäßigen statischen Belastung der Leibung durch geschmolzenes Polystyrol weniger ausgeprägt, da dieses nach unten wandert. Die Gefahr des Aufplatzens wie beim Öffnen des Sturzes ist daher geringer als im Sturzbereich.

Im Rahmen der Harmonisierung der Bauvorschriften in Österreich wurde bisher nur die Ausbildung der Bekleidung von Brandwänden selbst behandelt. Für die Bekleidung von Bauteilen, welche einen Brandüberschlagsbereich darstellen, wurden bisher keine Anforderungen konkretisiert.

Ideen & Anregungen

In vereinzelt Regionen Österreichs wird in Brandüberschlagsbereichen (speziell zu Treppenhäusern) an der Außenwand ein vertikaler Brandriegel zur Begrenzung des Brandüberschlages gefordert.

In Bezug auf dieses Brandszenario können zu diesem Zeitpunkt keine aussagekräftigen Schlussfolgerungen gemacht werden da hier zu wenige Daten vorliegen.

Ein Brandversuch, durchgeführt mit einer Brandlast die eine Flammenbildung, wie bei einem realen Fensterausbrand ermöglicht, könnte unter Umständen Aufschluss über offene Fragen in dieser Thematik liefern.

Praktischer Teil - Brandprüfung

1 Hintergrund/Anlass zu dieser Brandprüfung

Im Rahmen der Überarbeitung der OIB-Richtlinien von 2007 wurden zur Verhinderung der Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb von Bauwerken die Anforderungen an Fassaden und auch speziell für Wärmedämmverbundsysteme neu definiert. Unter Anderem wurden hierbei Konkretisierungen in Bezug auf die brandschutztechnischen Anforderungen an Wärmedämmverbundsysteme an Untersichten von vorspringenden Gebäudeteilen vorgenommen. Demnach dürfen bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 (mehr als vier oberirdische Geschoße und/oder Fluchtniveau über 11m) und Vorsprüngen größer 2,0 m an der Untersicht nur Dämmmaterialien mindestens des Brandverhaltens A2 gemäß EN 13501-1 verwendet werden.

Im Zuge der Entstehung dieser überarbeiteten Richtlinie 2011 wurden in Bezug auf die Beschränkung von 2,0 m für brennbare Dämmstoffe bei vorspringenden Gebäudeteilen Einwände seitens der beteiligten Bundesländer laut. Im Speziellen stellte sich die Frage, ob die Beschränkung höher angesetzt werden könnte (2,5 m oder höher).

Im Zuge dessen wurde das IBS-Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. seitens der GPH-Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum mit der Durchführung einer brandschutztechnischen Überprüfung eines Gebäudeausschnittes im Realmaßstab in der Konstellation eines 2,5 m vorspringenden Gebäudeteiles bei gleichzeitiger Bekleidung der Untersicht mit einem Wärmedämmverbundsystem mit einer Dämmung aus Polystyrol-Hartschaum (Brennbarkeitsklasse E gemäß EN 13501-1) beauftragt.

2 Planungsphase der Brandprüfung

2.1 Prüfungsgrundlagen

Für die zu untersuchende Anwendung eines Außenwand-Wärmedämmverbundsystems (WDVS) bei einer Untersicht eines vorspringenden Bauteils liegt derzeit keine Prüfnorm vor. Aus diesem Grund wurden die Prüfkriterien in Anlehnung an die VORNORM ÖNORM B 3800, Teil 5 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 5: Brandverhalten von Fassaden Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen“, Ausgabe: 01. Mai 2004, für die Beurteilung der im Rahmen dieses Brandversuches festgestellten Reaktionen der Fassade herangezogen.

Diese basieren primär auf den seitens der Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011 definierten Schutzziele für den Brandschutz.

- Keine visuell erkennbare Brandausbreitung an bzw. unter der Oberfläche der Fassade
- Kein Abfallen von Teilen der Fassade
- Kein Abfallen brennender Teile

2.2 Zieldefinition der Brandprüfung

Als primäres Ziel dieser Prüfung wurde die Untersuchung des Brandverhaltens der Fassadenkonstruktion der Untersicht einer Auskragung bei einer Brandleistung, welche einem Brand einer Mülltonne (Polyethylen PE-HD, Größe 360 l) gefüllt mit Papier entspricht und vergleichbar mit einem Ausbrand aus einem Einzelfenster mit $B \times H = 1,0\text{m} \times 1,2\text{m}$ ist, definiert.

Als sekundäres Ziel wurde die Überprüfung des Temperaturanstieges im Obergeschoß (auskragender Bauteil), über die dort in der Außenwand situierten Fassadenöffnung (Fenster), sowie der Temperaturverteilung über die Oberfläche von Untersicht und Wänden der Auskragung, festgelegt.

Die Größe der Brandlast, ihre Anordnung am Prüfaufbau und die Durchführung der brandschutztechnischen Überprüfung im Freien im Realmaßstab solle in Summe eine möglichst realitätsnahe Simulation des Brandszenarios ermöglichen, welches durch die Einwirkung einer in Vollbrand befindlichen Mülltonne auf die Fassadenkonstruktion von Wänden und Untersicht des Probekörpers (Auskragung) entspricht.

2.3 Konstruktion des Prüfkörperrohbaus

Der Rohbau des Probekörpers wurde als zweigeschossiger Fassadenausschnitt mit rund 5,0 m Länge und rund 2,5 m Breite geplant. Die Charakteristik dieses Versuchsaufbaus ergab sich hierbei durch eine Auskragung des oberen Geschoßes (vorspringender Bauteil) um 2,5 m. In der Außenwand des Obergeschoßes (auskragendes Geschoß) befand sich mittig eine Fassadenöffnung ohne Fenster oder Verglasung.

Für die Herstellung des Prüfkörpers kamen folgende Baustoffe und -materialien zur Anwendung:

- Hochlochziegel (PIA 25/38/23,8 VZ, PIA 17/50/23,8 VZ)
- Trägerdecke Ton (Deckentype D=17+5=22 cm max. TL 620 cm)
- Beton für Unterzüge und Stützen (C20/25, Bst 550)

2.4 Aufbau der Fassadenkonstruktion

Als Fassadenkonstruktion wurde ein klassisches Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit einer Dämmebene aus 30,0 cm Expandiertem Polystyrol-Hartschaum, ohne zusätzliche Verdübelung gewählt. Dieses wurde sowohl an der Außenwand des einspringenden Geschoßes im Erdgeschoß, als auch an der Untersicht der Auskragung und der Außenwand des vorspringenden Geschoßes im Obergeschoß aufgebracht.

Für die Herstellung des WDV-Systems kamen folgende Komponenten zur Anwendung:

- Fassadendämmplatten (30,0 cm EPS-F)
- Klebemörtel (mineralische Klebespachtel)
- Unterputz (3,0 mm mineralischer Putz)
- Armierung (Textilglasgittergewebe)
- Oberputz (1,5 mm Silikatputz)

2.5 Brandlast/Brandleistung

Für die Brandprüfung sollte ein möglichst realistischer Brand als reproduzierbare Größe unterhalb der Auskragung nachgestellt werden. Die Brandleistung sollte jener entsprechen, welche einem Brand einer Mülltonne (Polyethylen PE-HD, Größe 360 l) gefüllt mit Altpapier entspricht und vergleichbar mit einem Ausbrand aus einem Einzelfenster mit $B \times H = 1,0\text{m} \times 1,2\text{m}$ ist. ^[76, S7]

Da sich eine Brandleistung primär über das brennende Brandgut und die in Brand stehende Oberfläche definiert, wurde idealisiert von einem 2,0 m² großen Mischbrand, zusammengesetzt aus 90,0 kg Papier (Schätzung auf Basis der Füllmenge der Mülltonne) und 22,5 kg Polyethylen (Angabe gemäß Produktdatenblatt eines Mülltonnenherstellers), ausgegangen. ^[76, S7]

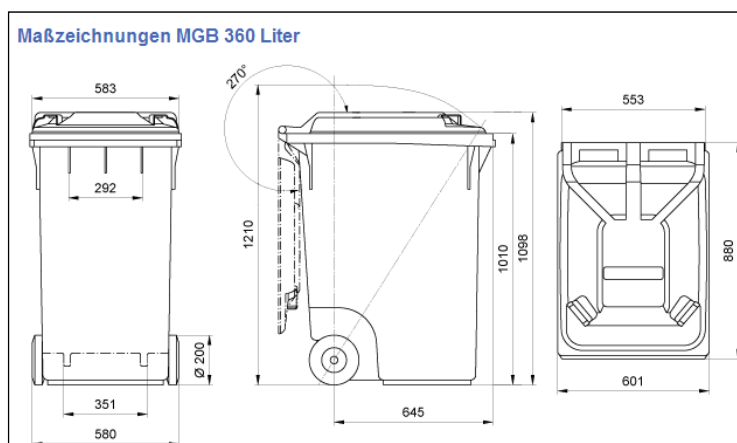


Abb. 2-1: Abbildung Maßzeichnung Mülltonne 360l ^[86]

Für die Ermittlung der Brandleistung, die von einer papiergefüllten Mülltonne in dieser Größe ausgeht wurden folgende Daten zugrunde gelegt:

- Heizwert Polyethylen: 12,2 kWh/kg
- Heizwert Papier: 3,8 kWh/kg
- Abbrandgeschwindigkeit Polyethylen: 50,4 kg/(m²*h)
- Abbrandgeschwindigkeit Papier: 28,8 kg/(m²*h) ^[87]

Auf Basis dieser Angaben konnte für den Mischbrand ein mittlerer Heizwert von 5,48 kWh/kg und eine mittlere Abbrandrate von 45,30 kg/(m²*h) ermittelt werden. Hiervon ausgehend ergibt sich für den angesetzten Mischbrand von aus Polyethylen und Papier bei einer Oberfläche von 2,0 m² eine ungefähre Brandleistung von 0,50 MW. ^[87]

Diese Erkenntnis ermöglichte es, die Brandleistung der papiergefüllten Mülltonne durch ein vielfaches einer genormten und bekannten Brandleistung zu simulieren. Hierzu wurde die gemäß ÖNORM B 3800-5 definierte Brandlast einer Normbrandkrippe mit einer Brandleistung von rund 0,25 MW herangezogen. ^[87]

2.6 Beteiligung an der Planungsphase

In der Planungsphase des Brandversuches bestand die Projektbeteiligung im Rahmen dieser Masterarbeit in folgenden Tätigkeiten:

- Teilnahme an Projektbesprechungen in den Räumlichkeiten des IBS-Institutes für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. in Linz
- Einschulung an der EDV-unterstützten Messtechnikanlage zur Temperaturmessung und –Aufzeichnung in der Prüfhalle des IBS in Linz
- Einschulung seitens der Einsetzbarkeit und Anwendung diverser Sondentypen zur Temperaturmessung in der Prüfhalle des IBS in Linz
- Ausarbeitung eines Positionsplanes für die Anordnung der Temperaturmesspunkte am Prüfaufbau, sowie ein Befestigungskonzept für die Temperatursonden
- Erarbeitung eines Konzeptes für die Messung und Aufzeichnung der Luftströmungsgeschwindigkeit (Wind) in der Umgebung des Versuchsaufbaus

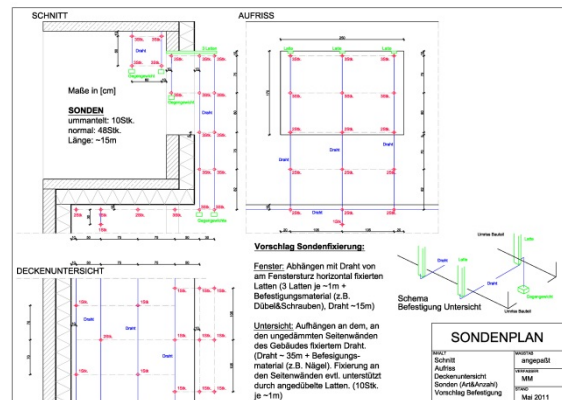
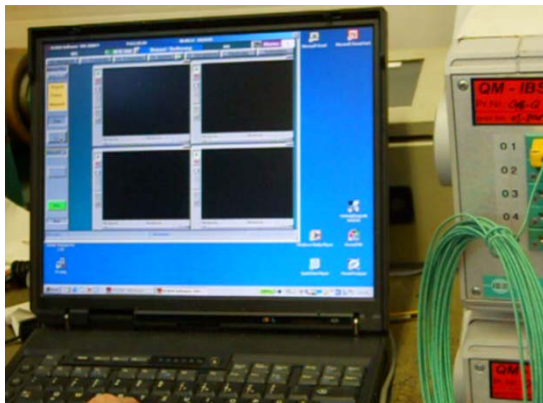


Abb. 2-2: Messtechnik und Messpunktpositionen

3 Vorbereitungsphase der Brandprüfung

3.1 Herstellung Prüfaufbau

Der Massivbau des Prüfaufbaus wurde von Fachkräften der Firma Lang & Menhofer Baugesellschaft mbH & CO. KG, Salzburgerstraße 323, 4021 Linz, im Zeitraum vom 28.04.2011 bis 09.05.2011 errichtet. Die Abmessungen des Massivbaus (Umschriebener Raum ohne Bodenplatte) ohne WDVS betragen: L x B x H = 5,41 m x 2,74 m x 6,27 m. Die Wände des Massivbaus wurden aus 25,0 cm starken Tonziegeln mit Stoß- und Lagerfugenvermörtelung hergestellt. Die Konstruktion der Zwischendecke bestand aus einer Ziegeldecke (Trägerdecke Ton mit Einhängziegel), welche mit Betonfugenverguss und 5cm Aufbeton (d=22cm) hergestellt wurde. Die Decke des Obergeschoßes bestand aus demselben System, jedoch ohne Aufbeton.



Abb. 3-1: Herstellung des Rohbaus des Prüfaufbaus

Die Fassadenkonstruktion (Wärmedämmverbundsystem) wurde von Fachkräften der Firma GG Bau e.U., Kremsmünstererstraße 21, 4532 Rohr/Kremstal (Inh. Gerhard Gegenleitner) im Namen des Auftraggebers (G.P.H.) am 16.11.2011, 17.11.2011 und 23.11.2011 an Wänden und Untersicht der Auskragung aufgebracht und seitens der Prüfstelle überwacht. Hierbei kam eine Konstruktion aus 30,0 cm Expandiertem Polystyrol-Hartschaum, verklebt mit mineralischer Klebspachtel in Randwulst-Punkt-Methode zur Anwendung. Im mineralischen Unterputz (3 mm) wurde ein Textilglasgewebe als Armierung eingebettet und ein Silikatputz als Deckschicht aufgebracht.



Abb. 3-2: Herstellung Fassadendämmung, Putzauftrag

3.2 Beteiligung an der Vorbereitungsphase

In der Vorbereitungsphase des Brandversuches bestand die Projektbeteiligung im Rahmen dieser Masterarbeit in folgenden Tätigkeiten:

- Umsetzung des Befestigungskonzeptes für die Temperaturmesspunkte am errichteten Baukörper
- Montage der Temperaturmesssonden vor Durchführung des Brandversuchs
- Aufbau der Messtechnik und Vorbereitung des Prüfkörpers unmittelbar vor Versuchsbeginn
- Erstellung der Bestandspläne auf Basis der Naturmaße



Abb. 3-3: Umsetzung des Befestigungskonzeptes für die Messpunkte



Abb. 3-4: Anbringung der 57 Messsonden

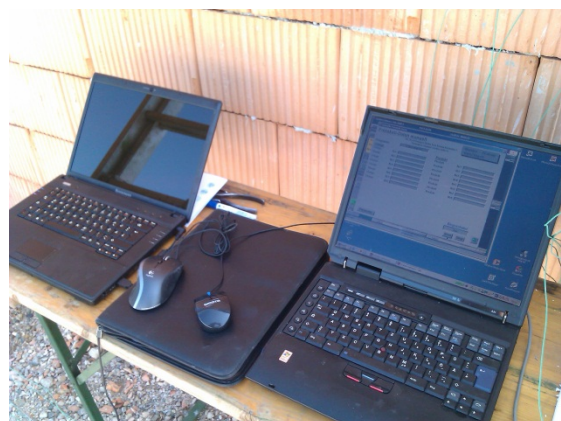


Abb. 3-5: Vorbereitung der Messtechnikstation vor der Brandprüfung

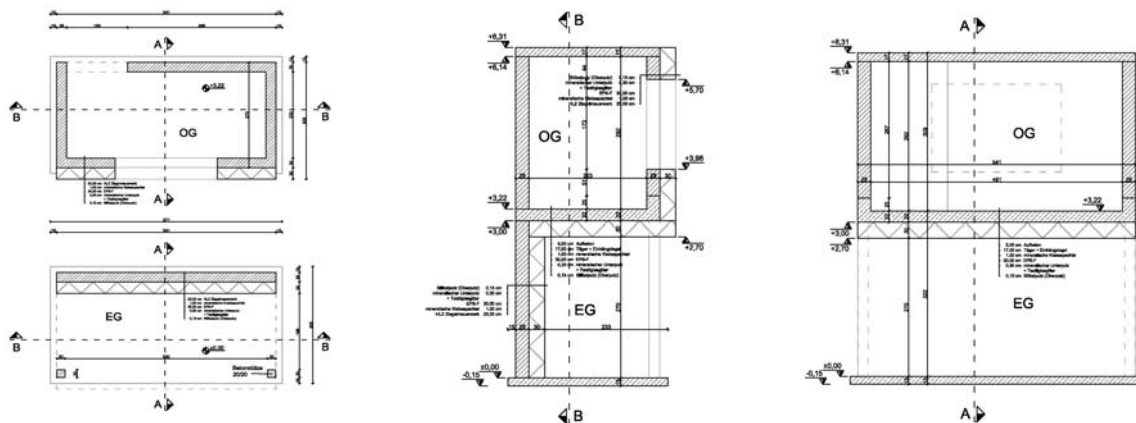


Abb. 3–6: Erstellung der Bestandspläne auf Basis der Naturmaße

4 Durchführung der Brandprüfung

4.1 Ablauf der Brandprüfung

Die Brandprüfung fand am Vormittag des 13.12.2011 am Übungsgelände der Landesfeuerwehrschule in der Petzoldstraße (allseitig freie Fläche) in Linz statt und startete um 10:20. Zum Zeitpunkt des Starts der Brandprüfung herrschte in Linz wenig bewölkt, heiteres Wetter bei rund 6°C Lufttemperatur und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 1,8 km/h.

Die Brandbelastung des Prüfaufbaus erfolgte durch zwei Normbrandkrippen gemäß ÖNORM B 3800-5, vernagelt aus je 72 Fichtenholzstäben mit Abmessungen von 4 x 4 x 50 cm. Die Holzrippen wurden mit 200ml Isopropanol, situiert in Blechwannen unmittelbar unter den Holzrippen, mit einer offenen Flamme entzündet.

Zeitgleich mit der Entzündung der Brandlast wurde die Messstation zur Aufzeichnung des Temperaturanstiegs, und die Aufzeichnung der herrschenden Windgeschwindigkeiten mittels eines elektronischen Schaufelradanemometers gestartet. Des Weiteren wurden über die gesamte Prüfdauer Videoaufzeichnungen, Fotoaufnahmen und Tonbandprotokollaufnahmen gemacht, sowie alle besonderen Ereignisse in Bezug auf die Reaktion der Fassadenkonstruktion auf die Brandeinwirkung festgehalten.

4.2 Beteiligung an der Durchführungsphase

In der Durchführungsphase des Brandversuches bestand die Projektbeteiligung im Rahmen dieser Masterarbeit in folgenden Tätigkeiten:

- Überwachung der Temperturmessstation
- Aufzeichnung der Windgeschwindigkeit
- Beobachtung und Dokumentation des Prüfvorganges



Abb. 4-1: Aufzeichnung, Überwachung, Beobachtung, Dokumentation

5 Auswertung der Prüfdaten

Die Auswertung der Prüfdaten im Zuge dieser Brandprüfung war grundlegender Bestandteil des praktischen Teils der gegenständlichen Masterarbeit. Die Aufgaben hierbei umfassten folgenden Tätigkeiten:

- Verfassung des Prüfberichtes
- Beschreibung des Versuchsablaufes
- Zusammenfassung und Vergleich der Messdaten seitens der Temperaturmessung
- Zusammenfassung der Messdaten aus der Messung der Windgeschwindigkeit
- Beurteilung des Ergebnisses des Brandversuches auf Basis der vorliegenden Daten

Der verfasste Prüfbericht und die Auswertung bzw. Zusammenfassung aller Prüfdaten liegen dieser Masterarbeit im Anhang bei.

6 Ergebnis/Beurteilung der Brandprüfung

6.1 Ergebnisse

Bezugnehmend auf die gegenständliche Brandprüfung ist festzuhalten, dass die Holzkrippen in Minute 23 verstürzten und infolge des Nachbrennens der Glutreste in Minute 37 die Brandprüfung durch Ablöschen der Glutreste beendet wurde.

6.1.1 Temperaturmessung

Die Zusammenfassung der Daten aus der Temperaturmessung erfolgte in Zeit-Temperatur-Diagrammen. Hierbei wurden Messpositionen, die im selben Bereich des Prüfaufbaus positioniert waren zusammengefasst, um die Temperaturverteilung über den Fassadenbereich zu veranschaulichen.

Im Speziellen ergaben sich hier folgende fünf Bereiche, die in der Auswertung jeweils durch 1-3 Diagramme repräsentiert werden:

- Obergeschoß Innenraum in Deckennähe (T bis 21,9°C)
- Obergeschoß in der Leibung der Fensteröffnung (T bis 25,8°C)
- Obergeschoß außerhalb der Fensteröffnung (T bis 48,6°C)
- Vor der Fassade in Höhe der Zwischendecke (T bis 132,0°C)
- Untersicht der Auskragung – primärer Brandeinwirkungsbereich (T bis 572,8°C)

Zur Veranschaulichung sind in weiterer Folge ein Diagramm des Temperaturverlaufes vor dem Fenster im Obergeschoß (Temperaturskala bis 50°C), sowie ein Diagramm des Temperaturverlaufes an der Untersicht unmittelbar über der Brandlast (Temperaturskala bis 600°C) dargestellt.

Zur Begutachtung aller Prüfdaten wird auf den Prüfungsbericht im Anhang verwiesen.

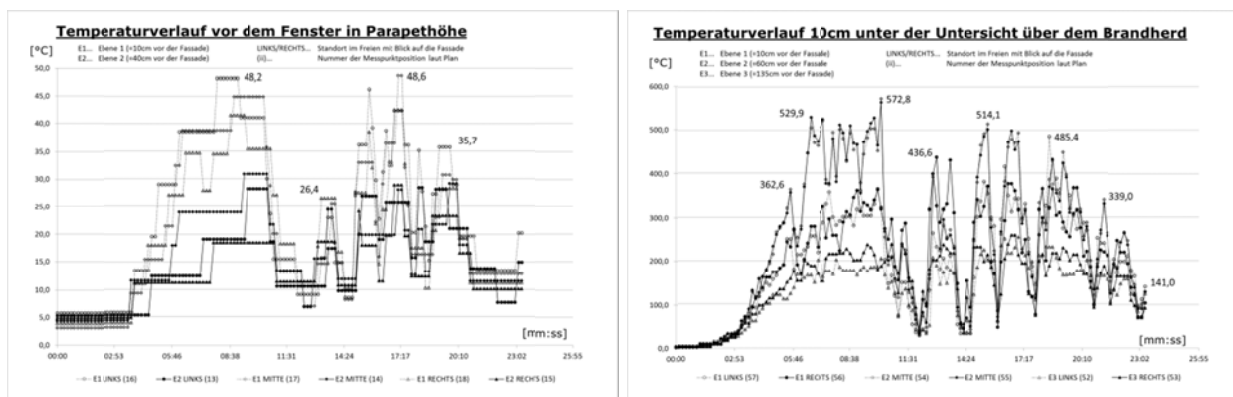


Abb. 6-1: Beispiele Zeit-Temperatur-Diagramme

6.1.2 Windmessung

Die Aufzeichnung der lokalen Luftströmungsverhältnisse im Bereich des Prüfaufbaus zum Zeitpunkt der Brandprüfung lieferte einen Mittelwert von rund 2 km/h. Der Maximalwert der aufgezeichneten Luftströmungsgeschwindigkeiten lag bei rund 8 km/h. Festzuhalten ist, dass Windgeschwindigkeiten im Bereich von 4 bis 5 km/h die Flamme am Brandherd bereits maßgeblich auslenkten. Im Zeitraum zwischen Minute 11 und Minute 12, war im Mittel eine Windgeschwindigkeit von rund 4,5 km/h zu verzeichnen. Dies hatte zur Folge, dass die Flamme nahezu über die Dauer einer ganzen Minute um rund 45° ausgelenkt wurde.



Abb. 6-2: Windmessung, Flammenauslenkung durch Seitenwind

6.1.3 Schädigung der Fassadenkonstruktion

Zustand des Probekörpers hinsichtlich Putzoberfläche

Die Putzoberfläche war im Nahbereich der Flammen farblich stark verändert. Im Bodenbereich zwischen Wand und Bodenplatte befand sich ein kleiner Spalt. Im Eckbereich zwischen Wand und Untersicht der Auskragung waren in der Putzoberfläche direkt oberhalb der Flammeneinwirkung Risse erkennbar.



Abb. 6-3: Schädigung der Fassadenkonstruktion an der Putzoberfläche

Zustand des Probekörpers hinsichtlich Dämmstoff (EPS-F)

Nach der Entfernung des Putzes von den Wänden und der Decke können folgende Beobachtungen gemacht werden:

Im unmittelbaren Nahbereich der Flammeneinwirkung war das EPS auf eine Breite von 0,8 bis 1,8 m vollständig bis zur Ziegelwand abgeschmolzen. An der Deckenuntersicht war über dem Zentrum der Holzrippen das EPS bis auf die Decke abgeschmolzen. Die Schmelzspuren verlaufen kontinuierlich von 30 cm auf 0 cm. Entlang der Vorderkante der Auskragung ist an der Untersicht ein $\sim 0,5$ m breiter Streifen ohne Abschmelzung erhalten geblieben.



Abb. 6-4: Schädigung der Fassadenkonstruktion hinter der Putzoberfläche

6.2 Beurteilung

Im Zuge der Brandprüfung der gegenständlichen Fassadenkonstruktion können folgende beurteilungsrelevante Aussagen gemacht werden:

- Es gab keine visuell erkennbare Brandausbreitung mit selbständigem Weiterbrennen an der Oberfläche der Fassade bzw. unter der Oberfläche der Fassade an der Untersicht.
- Es konnte kein Abfallen von Teilen der Fassade festgestellt werden.
- Es waren keine abfallenden brennenden Teile der Fassade zu verzeichnen.
- Es kam zu keinem brennenden Abtropfen

Mit diesem Brandversuch kann bestätigt werden, dass das geprüfte Wärmedämmverbundsystem mit 30 cm EPS-Dämmung an den Wänden und an der Untersicht einer Auskragung von 2,5 m einem Brand, welcher einer Brandleistung einer mit Papier gefüllten brennenden Altpapiertonne (Mülltonne aus Polyethylen PE-HD, Füllmenge 360 l) entspricht und vergleichbar mit einem Ausbrand aus einem Einzelfenster mit $B \times H = 1,0\text{m} \times 1,2\text{m}$ ist, im unmittelbaren Nahbereich der Fassade standhält und dabei oben angeführte Schutzziele erfüllt.

Zusammenfassung / Schlusswort

Abschließend ist festzuhalten, dass in Folge der anhaltend wachsenden Bedeutsamkeit von Energieeinsparung und Wärmeschutz weiterhin mit zunehmenden Dämmstoffdicken bei Außenwand-Dämmsystemen zu rechnen ist und in Bezug auf WDV-Systeme auch dem Brandschutz somit weiterhin wachsende Bedeutung zu Teil werden wird.

Zum gegebenen Zeitpunkt sind Dämmstoffplatten aus Polystyrol Hartschaum (EPS) zum Zweck der Fassadendämmung bis zu einer Stärke von 40cm am Markt. In Bezug auf das Brandverhalten von Fassadendämmsystemen bei derartigen Systemdicken gilt auf nationaler Ebene (Österreich) gemäß ÖNORM B3806, dass die derzeitigen Prüfergebnisse von Systemen mit einer Gesamtdicke von 20cm auch für Systeme mit Dicken von nicht mehr als 40cm Gültigkeit haben. Des Weiteren wurde die nationale Prüfnorm für das Brandverhalten von Fassaden ÖNORM B 3800-5 als Vornorm herausgegeben, da die Entwicklungen auf diesem Fachgebiet rasant voranschreiten und einerseits Erfahrungen und Vorschläge seitens der Wirtschaft, sowie Entwicklungen seitens der europäischen Regelungen abgewartet werden. ^{[20][2][25][53]}

Reale Brände und Naturbrandversuche unter Beteiligung von WDV-Fassadendämmungen haben gezeigt, dass neben der Dämmstoffstärke auch weitere Faktoren zu nahezu gleichem Maße in das Brandverhalten derartiger Systeme einfließen und daher ebenso Aufmerksamkeit benötigen. Hierbei ist in jedem Fall die Ausbildung der Fassade im untersten Geschoß in Bezug auf Fahrlässigkeit und Vandalensicherheit (Brandstiftung an brennbarem Material in Fassadennähe) zu nennen. Des Weiteren wurde hierbei festgestellt, dass die Brandsicherheit von prüftechnisch nachweislich funktionierenden Systemen durch eine mangelhafte Ausführung in hohem Maße negativ beeinflusst werden kann und daher nicht nur die Produktionskontrolle der Systembestandteile, sondern auch die Herstellungsüberwachung der Fassade vor Ort auf der Baustelle an Bedeutung gewinnen muss.

Nimmt man die europäischen Regelungen zur Prüfung und Klassifizierung von Baustoffen zum Vorbild so ist zu hoffen, dass in absehbarer Zeit den Fassadendämmungen und –bekleidungen in gleichem Ausmaß Aufmerksamkeit zu Teil wird. Hierdurch könnten europaweit die Gefahren der Brandausbreitung unter Beteiligung von WDV-Systemen innerhalb des Gebäudes und auf benachbarte Gebäude vermindert, sowie die Sicherheit der Bewohner und Rettungsmannschaften verbessert werden.

Die in Abstimmung mit den Entwürfen der internationalen Norm ISO 13785-2 kreierte nationalen Prüfnormen haben bereits maßgeblich zur brandschutztechnischen Ertüchtigung von Fassadendämmsystemen beigetragen. Des Weiteren boten sie bereits die Grundlage für weitere Überlegungen und orientierende Versuche an Dämmsystemen, um nicht nur die Thematik des Fensterausbrandes zu behandeln, sondern auch Brandszenarien an der Außenwand und die seitliche Brandausbreitung in Folge der Einwirkung von horizontaler Luftströmung (Wind). Weiterführende Prüfungen in diese Richtung sind bereits geplant und Ergebnisse daher erst abzuwarten. ^{[10][94]}

Derzeit gilt für Gebäude mit einem Aufenthaltsniveau von mehr als 22m (Hochhäuser), dass bei Fassadendämmungen nur Dämmstoffe der Brennbarkeitsklasse A2 gemäß EN 13501-1 zum Einsatz kommen dürfen. Fakt ist, dass infolge der erarbeiteten brandschutztechnischen Zusatzmaßnahmen für WDV-Systeme die Thematik Fensterausbrand bereits ausgiebig untersucht wurde und hierdurch, unter Berücksichtigung der angewandten Dämmstoffdicken, Alternativen zu der derzeitigen Vorschrift denkbar wären. ^[25]

Berücksichtigt man weiters, dass das Brandverhalten des gesamten Systems zum Großteil durch die Ausbildung der Deckschichte (Putz & Armierung) charakterisiert wird, so ist es durchaus denkbar, dass es auch in dieser Richtung hinsichtlich Brandverhalten, Robustheit und Detailausführungen Weiterentwicklungen geben wird, die maßgeblich das Brandverhalten von WDV-Systemen beeinflussen.

Weltweiten Prognosen ist zu entnehmen, dass um 2015 der höchste Wert an weltweit geförderten Rohöls pro Tag zu erwarten ist und dann binnen zehn Jahren infolge fehlender neuer und ausgebeuteter bestehenden Förderstätten die Fördermenge um mehr als die Hälfte zurückgehen wird (dies würde den Fördermengen in den 60er Jahren entsprechen). Schon jetzt erreicht der Rohölpreis Werte die es rentabel machen, in die Forschung nach Alternativen (z. B. ökologische (biologische) Dämmstoffe im Bauwesen bzw. Hybrid- und Elektrofahrzeuge in der Fahrzeugindustrie) zu investieren. ^{[95][96]}

Bedenkt man, dass ein großer Teil der hierdurch entstehenden Innovationen von elektrischem Strom abhängig sein werden, so ist damit zu rechnen, dass die Anforderungen an die Energieeinsparung und Wärmedämmung der letzten Jahrzehnte im Bauwesen nur der Anfang war und die Weiterentwicklung der bestehenden brandschutztechnischen Maßnahmen schon bald auf noch stärkere Systeme und dickere Dämmstoffe angepasst werden müssen. ^[96]

In jedem Fall ist im Bereich des Brandschutzes bei Fassadenkonstruktionen weiterhin mit Herausforderungen zu rechnen und man darf gespannt auf den Einfallsreichtum der Berufssparte Bauwesen im Umgang mit dieser Thematik warten, sowie zuversichtlich in Bezug auf Innovationen in diesem Bereich in die Zukunft blicken.

Literaturverzeichnis

- [1] Heimlich, Siegfried (1997). Portraits in Plastik. Darmstadt, Verlag Hoppenstedt.
- [2] Austrotherm GmbH. www.austrotherm.at
- [3] ÖNORM B 6000. (01.01.2010). Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme und/oder Schallschutz im Hochbau
- [4] Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum. www.gph.at
- [5] Jahresbilanz WDVS 2011. www.baulinks.de
- [6] bi Medien GmbH. www.bi-baumagazin.de
- [7] Malerbetrieb Mertens. www.malerbetrieb-mertens.de
- [8] VORSCHLAG ÖNORM B 8110-7. (26.04.2012). Thermal insulation in building construction
- [9] Lenz, Björn. www.daemmstoff.org
- [10] Sanytr, Michael (2007). Der österreichische Brandschutzkatalog - Sammelband 2007
- [11] Magistratsabteilung 39 (MA39) Wien. Abstract: Nachhaltigkeit der thermischen Sanierung der Fassaden von Wohnhäusern. Teil 1, Dauerhaftigkeit von Wärmedämm-Verbundsystemen
- [12] JOMA Dämmstoffwerk GmbH (13.04.2011). www.joma.de. HBCD in EPS
- [13] Knauf Dämmstoffe GmbH (01.05.2011). Technisches Informationsblatt EPS HBCD
- [14] Sto AG. www.sto.de. Kundeninformation über HBCD in Hartschaum-Dämmplatten
- [15] Teibinger, Martin. Werner, Dieter. Brandverhalten von Holzfassaden
- [16] Umweltbundesamt Deutschland. www.reach-info.de. PBT / vPvB
- [17] Europäische Kommission. www.ec.europa.eu. Chemikalien
- [18] ECHA European Chemicals Agency. www.echa.europa.eu
- [19] Trauner, Thomas. GEBERIT Brandschutz in der Haustechnik: I.) "Brennbarkeit von Baustoffen"
- [20] Sto AG. www.sto.de. Brandverhalten von WDVS
- [21] Kotthoff, Ingolf (15.05.2008). Brandriegel in Wärmedämm-Verbundsystemen. MFPA Leibzig GmbH
- [22] Kotthoff, Ingolf (16.03.2011). Brandschutzmaßnahmen bei Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS). Nürnberg. MFPA Leibzig GmbH

- [23] OIB Richtlinie 2. (Dez.2011). Brandschutz
- [24] Sanytr, Michael (2003). Der österreichische Brandschutzkatalog - Sammelband 2003
- [25] ÖNORM B 3806. (07.01.2005). Anforderungen an das Brandverhalten Bauprodukten (Baustoffen).
- [26] Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). www.oib.or.at
- [27] ETAG Nr. 004 (März 2000). Leitlinie für Europäische Technische Zulassungen für Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht (Übersetzung des OIB)
- [28] Auszug Zeitschrift (Name & Ausgabe unbekannt). Schadensbild Nr.113 - Brennender Müllcontainer gefährdet Wohngebäude
- [29] ORF-Sendung (29.04.2011). "Konkret: Das Servicemagazin"
- [30] Broemme, Albrecht (Juni 2005). Brandschutz Deutsche Feuerwehr-Zeitung. www.bs-dfz.de
- [31] Berliner Feuerwehr. www.berliner-feuerwehr.de
- [32] NDR-Filmbericht (28.11.2011). "45 Minuten: Wahnsinn Wärmedämmung"
- [33] Freiwillige Feuerwehr Vorau (09.12.2005). www.feuerwehr-vorau.at
- [34] Feuerwehr der Stadt Retz. www.feuerwehr-retz.at
- [35] BFA Brandschutzforum Austria (13.01.2007). www.brandschutzforum.at
- [36] Blaulicht: Fachzeitschrift für Brandschutz und Feuerwehrtechnik. www.blaulicht.at
- [37] Kollinger, Hermann (23.06.2008). Fire-World. www.fireworld.at
- [38] Kleine Zeitung (14.11.2010). www.kleinezeitung.at
- [39] Neue Presse (14.11.2010). www.neuepresse.de
- [40] Scherzer, Wilfried (28.12.2010). www.schwarzataler-online.at
- [41] Freiwillige Feuerwehr Delmenhorst. www.ff-delmenhorst-stadt.de
- [42] Freiwillige Feuerwehr Rottenmann (05.08.2011). www.ff-rottenmann.at
- [43] ORF-Beitrag (07.12.2011). www.wien.orf.at
- [44] Übersetzung Internetbericht. www.fogyasztovedelemmagyarorszag.virtus.hu
- [45] Synthesa Chemie Gesellschaft m.b.H. (19.09.2007). www.synthesa.at
- [46] YouTube. www.youtube.com. Brandversuch Styrol.

- [47] Bauprodukterichtlinie 89/106/EWG (21.12.1988). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften
- [48] ISO 13785-1 (15.12.2002). Reaction-to-fire tests for facades - Part 1: Intermediate-scale test
- [49] ISO 13785-2 (15.12.2002). Reaction-to-fire tests for facades - Part 2: Large-scale test
- [50] Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011
- [51] Höhnl, Wolfgang. Schremser, Roman. (Aug.2011). Die neue europäische Bauprodukteverordnung. Austrian Standards Institute.
- [52] Hosser, Dietmar (Mai 2009). Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.(vfdb)
- [53] ÖNORM B 3800-5 (05.01.2005). Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen Teil 5: Brandverhalten von Fassaden
- [54] IBS - Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. (05.05.2011). Prüfbericht Nr.: 10090906. Wärmedämmverbundsystem im Bereich einer Durchfahrt
- [55] Hollmann, Dirk Walter (27.04.2011). Grundlagen und Ingenieurmodell für den Nachweis von Holzbauteilen mit Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen. TU Braunschweig
- [56] ÖNORM EN 13501-1 (Dez.2009). Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten Teil 1: Klassifizierung mit den Ereignissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
- [57] ÖNORM EN ISO 11925-2 (Feb.2011). Prüfungen zum Brandverhalten - Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung Teil 2: Einzelflammentest
- [58] Fachhochschule Köln. www.f09.fh-koeln.de
- [59] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. www.bam.de
- [60] ÖNORM EN 13823 (Jan.2011). Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen.
- [61] Willems, Wolfgang; Schild, Kai; Dinter, Simone (2006). Handbuch Bauphysik Teil 2. Wiesbaden. Vieweg Verlag.

- [62] Industrierverband für Bausysteme im Metallleichtbau e. V. (IFBS). www.ifbs.de
- [63] ÖNORM EN ISO 1182 (Sept.2010). Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten – Nichtbrennbarkeitsprüfung
- [64] SINTEF. www.sintef.no
- [65] Motis Technology Co.,Ltd. www.motis-tech.com
- [66] ÖNORM EN ISO 1716 (Nov.2010). Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten – Bestimmung der Verbrennungswärme (des Brennwertes)
- [67] HelloTrade.com. www.hellotrade.com
- [68] ÖNORM EN 13501-2 (Feb.2010). Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen
- [69] ÖNORM EN 1364-4 (Mai 2007). Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile Teil 4: Vorhangfassaden – Teilausführung
- [70] Bericht auf einer Tschechischen Website. www.tzb-info.cz
- [71] Building Research Institute Poland. www.itb.katowice.pl
- [72] VORNORM ÖNORM B 3800-5 (Mai 2004). Brandverhalten von Fassaden. Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen
- [73] MPA TU Braunschweig (04.02.2011) Informationsblatt Fassadenprüfung
- [74] IBS - Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. (28.03.2008). Prüfbericht Nr.: 07071106. Fassadenkonstruktion als Vollwärmedämmverbundsystem
- [75] IBS - Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. (09.01.2011). Prüfbericht Nr.: 10063009. Wärmedämmverbundsystem
- [76] IBS - Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H. (05.05.2011). Prüfbericht Nr.: 10090906-1. Wärmedämmverbundsystem im Bereich einer Durchfahrt.
- [77] Magistratsabteilung 39 (MA39) Wien (13.11.2002). Laborbericht Nr.: MA39 VFA 2002-1288.02. Brandverhalten einer Fassadenkonstruktion
- [78] Magistratsabteilung 39 (MA39) Wien (25.09.2003). Laborbericht Nr.: MA39 VFA 2003-1301.02. Brandverhalten einer Fassadenkonstruktion
- [79] Magistratsabteilung 39 (MA39) Wien (25.09.2003). Laborbericht Nr.: MA39 VFA 2003-1302.02. Brandverhalten einer Fassadenkonstruktion
- [80] Magistratsabteilung 39 (MA39) Wien (11.06.2004). Laborbericht Nr.: MA39 VFA 2004-1065.02. Brandverhalten einer Fassadenkonstruktion

- [81] Magistratsabteilung 39 (MA39) Wien (05.11.2004). Laborbericht Nr.: MA39 VFA 2004-1066.01. Brandverhalten einer Fassadenkonstruktion
- [82] Magistratsabteilung 39 (MA39) Wien (04.12.2007). Prüfbericht Nr.: MA39 VFA 2007-1596.01. Brandverhalten einer Fassadenkonstruktion
- [83] Magistratsabteilung 39 (MA39) Wien (14.01.2008). Laborbericht Nr.: MA39 VFA 2008-0129.01. Brandverhalten einer Fassadenkonstruktion
- [84] Magistratsabteilung 39 (MA39) Wien (10.05.2011). Prüfbericht Nr.: MA39 VFA 2011-0810.01. Brandverhalten eines Wärmedämmverbundsystems bei der Simulation in einer Loggia
- [85] MFPA Leibzig GmbH (09.06.2009). Untersuchungsberichte UB III/B-08-023/1 und UB III/B-08-023/2
- [86] Fa. W-Weber. www.w-weber.com
- [87] Schneider, Ulrich (2009). Ingenieurmethoden im Brandschutz. Werner Verlag.
- [88] ÖNORM EN 1364-3 (Jan.2006), Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile Teil 3: Vorhangfassaden – Gesamtausführung
- [89] Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V., www.heizkosten-einsparen.de
- [90] Shipper, Edward (April 2010). ASTM Leap Frog Effect, WPI - Worcester Polytechnic Institute, Worcester
- [91] Internationales Institut für Normung, www.iso.org
- [92] Multi Circuit Boards Ltd. (01.09.2011). SVHC - Konformitätserklärung
- [93] DIBt – Deutsches Institut für Bautechnik (21.12.2011). Stellungnahme des DIBt zum Beitrag des NDR in der Sendung „45 Minuten“ am 28.11.2011
- [94] Donauer, Peter-Frank (21.03.2012). Persönliches Gespräch. IBS – Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Ges.m.b.H.
- [95] Chefurka, Paul (2008). World Oil Production.
- [96] Stacher, Peter (10.10.2008). Erdöl Ressourcen und Reserven
- [97] IVH – Industrieverband Hartschaum e.V. . Stellungnahme zur Darstellung des Brandverhaltens von WDVS in den Medien Dezember 2011
- [98] Bau Welt Pümpel. www.puempel.at
- [99] Pöhn, Christian. Informationsveranstaltung Brand vor der Fassade

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1–1: WDVS Allgemein.....	7
Abb. 1–2: Marktanteile Dämmstoffe ^[5]	9
Abb. 1–3: Marktentwicklung WDVS ^[5]	9
Abb. 1–4: Verarbeitung von Dämmstoffen aus Polystyrol-Hartschaum ^{[2][6][7]}	10
Abb. 1–5: Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen ^[8]	10
Abb. 1–6: Preise von Dämmstoffen ^{[9][98]}	11
Abb. 1–7: Brandschutztechnische Zusatzmaßnahme – Sturzschutz ^[21, S18]	14
Abb. 1–8: Innenventilierter Fensterausbrand ^[15, S9]	15
Abb. 1–9: Alternative brandschutztechnische Zusatzmaßnahme – Brandriegel ^[21, S21] ...	16
Abb. 1–10: Anforderungen an das Brandverhalten von WDV-Systemen ^[25, S8]	18
Abb. 2–1: Brandfall Adliswil (Schweiz) 1992 ^[28]	20
Abb. 2–2: Brandfall Graz (Österreich) 2004 ^[29]	21
Abb. 2–3: Brandfall Berlin (Deutschland) 2005 – Brandphase ^[31]	22
Abb. 2–4: Brandfall Berlin (Deutschland) 2005 – Fassadenschädigung ^[31]	22
Abb. 2–5: Brandfall Vorau (Österreich) 2005 ^[33]	23
Abb. 2–6: Brandfall Kleinhauzdorf (Österreich) 2006 ^{[34][35]}	24
Abb. 2–7: Brandfall Güssing (Österreich) 2007 ^[36]	24
Abb. 2–8: Brandfall Leoben (Österreich) 2008 ^[37]	25
Abb. 2–9: Brandfall Dijon (Frankreich) 2010 ^{[38][39]}	26
Abb. 2–10: Brandfall Grünbach (Österreich) 2010 ^[40]	26
Abb. 2–11: Brandfall Delmenhorst (Deutschland) 2011 – Brandphase ^[41]	27
Abb. 2–12: Brandfall Delmenhorst (Deutschland) 2011 – Fassadenschädigung ^[41]	28
Abb. 2–13: Brandfall St. Georgen (Österreich) 2011 – Brandphase ^[42]	28
Abb. 2–14: Brandfall St. Georgen (Österreich) 2011 – Fassadenschädigung ^[42]	29
Abb. 2–15: Brandfall Wien (Österreich) 2011 ^{[37][43]}	29
Abb. 2–16: Brandfall Miskolc (Ungarn) 2012 ^[44]	30
Abb. 2–17: Statistische Ursachenermittlung von Brandfällen	31
Abb. 2–18: Gebäudeskizze, Fensterpositionen ^[99, S27]	33
Abb. 2–19: Schädigung Dämmebene nach Entfernen der Putzreste ^[99, S36]	34
Abb. 2–20: Naturbrandversuch Graz (Österreich) 2007 – Müllbehälterbrand ^{[37][45]}	35
Abb. 2–21: Naturbrandversuch Graz (Österreich) 2007 – Fensterausbrand ^{[37][45]}	35

Abb. 2-22: Entflammungsversuch EPS mit Flammenschutzmittel ^[46]	36
Abb. 2-23: Entflammungsversuch EPS ohne Flammenschutzmittel ^[46]	37
Abb. 2-24: Direkte Beflammung von EPS hinter der Deckschichte – Versuchsstart ^[29] ..	38
Abb. 2-25: Direkte Beflammung von EPS hinter der Deckschichte – Versuchsende ^[29] .	38
Abb. 2-26: Brandversuch WDVS ohne Sturzschutz – Versuchsaufbau ^[32]	39
Abb. 2-27: Brandversuch WDVS ohne Sturzschutz – Brandeinwirkung ^[32]	39
Abb. 2-28: Brandversuch WDVS ohne Sturzschutz – brennendes Abtropfen ^[32]	40
Abb. 3-1: Klassifizierungskriterien EN 13501-1 ^[56]	45
Abb. 3-2: Einzelflammentest gemäß EN ISO 11925-2 ^{[58][59]}	46
Abb. 3-3: SBI-Prüfung gemäß EN 13823 ^{[61, S10.18][62]}	47
Abb. 3-4: Nichtbrennbarkeitsprüfung gemäß EN ISO 1182 ^{[64][65]}	48
Abb. 3-5: Bestimmung der Verbrennungswärme gemäß EN ISO 1716 ^{[66][67]}	49
Abb. 3-6: Prüfstand gemäß ISO 13785-1 ^{[48][70]}	51
Abb. 3-7: Prüfstand gemäß ISO 13785-2 ^{[49][71]}	52
Abb. 3-8: Prüfstand gemäß ÖNORM B 3800-5 ^[72]	55
Abb. 3-9: Beispiel (MPA Braunschweig) für einen Prüfstand gemäß DIN 4102-20 ^[73] ...	56
Abb. 4-1: Brandprüfung gemäß ÖNORM B 3800-5 mit Sturzschutz ^[74]	58
Abb. 4-2: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 1 – Prüfaufbau ^[75]	59
Abb. 4-3: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 1 – Prüfung ^[75]	60
Abb. 4-4: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 2 – Prüfaufbau ^[75]	61
Abb. 4-5: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 2 – Prüfung ^[75]	61
Abb. 4-6: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 3 – Prüfaufbau ^[75]	62
Abb. 4-7: Brandprüfung (normnah) mit Seitenwind 3- Prüfung ^[75]	63
Abb. 4-8: Brandprüfung einer Durchfahrt 1 – Prüfung ^[54]	64
Abb. 4-9: Brandprüfung einer Durchfahrt 1 – Fassadenschädigung ^[54]	64
Abb. 4-10: Brandprüfung einer Durchfahrt 2 – Prüfung ^[76]	65
Abb. 4-11: Brandprüfung einer Durchfahrt 2 – Fassadenschädigung ^[76]	66
Abb. 4-12: Brandprüfung Untersicht Auskragung - Prüfung	67
Abb. 4-13: Brandprüfung Untersicht Auskragung – Fassadenschädigung	67
Abb. 4-14: Orientierende Prüfung ohne Sturzschutz – Prüfbeginn ^[77]	69
Abb. 4-15: Orientierende Prüfung ohne Sturzschutz – Fassadenschädigung ^[77]	70
Abb. 4-16: Prüfung Sturzschutz aus Polyurethan – Prüfbeginn ^[78]	71
Abb. 4-17: Prüfung Sturzschutz aus Polyurethan – Fassadenschädigung ^[78]	71
Abb. 4-18: Prüfung Sturzschutz aus Mineralwolle – Prüfbeginn ^[79]	72
Abb. 4-19: Prüfung Sturzschutz aus Mineralwolle – Fassadenschädigung ^[79]	73
Abb. 4-20: Prüfung Sturzschutz aus Calciumsilikat – Prüfbeginn ^[80]	74

Abb. 4-21: Prüfung Sturzschutz aus Calciumsilikat – Fassadenschädigung ^[80]	74
Abb. 4-22: Prüfung Sturzschutz aus Polyurethan – Prüfbeginn ^[81]	75
Abb. 4-23: Prüfung Sturzschutz aus Polyurethan – Fassadenschädigung ^[81]	76
Abb. 4-24: Brandprüfung Armierungswinkel am Sturz – Prüfbeginn ^[82]	77
Abb. 4-25: Brandprüfung Armierungswinkel am Sturz – Polystyrolaustritt ^[82]	77
Abb. 4-26: Brandprüfung Armierungswinkel am Sturz – Fassadenschädigung ^[82]	78
Abb. 4-27: Prüfung Sturzschutz aus Mineralwolle – Prüfbeginn ^[83]	79
Abb. 4-28: Prüfung Sturzschutz aus Mineralwolle – Fassadenschädigung ^[83]	80
Abb. 4-29: Brandprüfung Loggia-Nische 1 – Fassadenschädigung ^[84]	81
Abb. 4-30: Brandprüfung Loggia-Nische 2 – Fassadenschädigung ^[84]	82
Abb. 4-31: Brandprüfung Loggia-Nische 3 – Fassadenschädigung ^[84]	83
Abb. 4-32: Brandprüfung Sturzschutz aus Polyurethan 0,5m über dem Sturz ^[85]	84
Abb. 4-33: Brandprüfung Sturzschutz aus Polyurethan 3,5m über dem Sturz ^[85]	85
Abb. 2-1: Abbildung Maßzeichnung Mülltonne 360l ^[86]	92
Abb. 2-2: Messtechnik und Messpunktpositionen	94
Abb. 3-1: Herstellung des Rohbaus des Prüfaufbaus	94
Abb. 3-2: Herstellung Fassadendämmung, Putzauftrag.....	95
Abb. 3-3: Umsetzung des Befestigungskonzeptes für die Messpunkte	96
Abb. 3-4: Anbringung der 57 Messsonden	96
Abb. 3-5: Vorbereitung der Messtechnikstation vor der Brandprüfung.....	96
Abb. 3-6: Erstellung der Bestandspläne auf Basis der Naturmaße	97
Abb. 4-1: Aufzeichnung, Überwachung, Beobachtung, Dokumentation.....	98
Abb. 6-1: Beispiele Zeit-Temperatur-Diagramme.....	99
Abb. 6-2: Windmessung, Flammenauslenkung durch Seitenwind	100
Abb. 6-3: Schädigung der Fassadenkonstruktion an der Putzoberfläche	100
Abb. 6-4: Schädigung der Fassadenkonstruktion hinter der Putzoberfläche	101

Anhang - Prüfbericht