



DIPLOMARBEIT

MASTER`S THESIS

Brandverhalten von Holz-Beton Verbundkonstruktionen

unter besonderer Berücksichtigung
zementgebundener Platten aus Holzleichtbeton:
experimentelle und numerische Untersuchungen

Ausgeführt am Institut für
Architekturwissenschaften, Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs

unter der Anleitung von
Assistant Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. **Alireza Fadai**
o. Univ. Prof. DDI **Wolfgang Winter**
und
Assistenzprofessor Dipl.Ing. Dr.techn. **Heinrich Bruckner**

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von
Christoph Radlherr
Mat.Nr.: 0526322
Neuwaldegger Straße 9B, 3433 Königstetten

Danksagung

Diese Arbeit stellt den Abschluss meiner Studienzzeit an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Wien dar. Ich möchte mich bei all jenen bedanken, die unmittelbar etwas zu meinem Studienerfolg beigetragen oder mich durch diesen wichtigen Lebensabschnitt begleitet haben.

Mein größter Dank richtet sich an meine Familie, die während des gesamten Studiums stets ein wichtiger Rückhalt für mich war. An der Universität gab es einige Wegbegleiter, allen voran möchte ich meine Mitstudenten *Oliver Foltin, Thomas Glatz, Katharina Hanna, Christian Holler, Michael Schefbeck und Martin Stadlbauer* nennen, zu denen sich mittlerweile eine Freundschaft entwickelt hat, die über die gemeinsame Studienzzeit hinaus geht.

Bezugnehmend auf meine Diplomarbeit möchte ich *Herrn Assistant Prof. Dipl. Ing. Dr.techn. Alireza Fadai und Herrn o. Univ. Prof. DDI Wolfgang Winter vom Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau* für die Betreuung und die genaue Korrektur danken. Ebenso möchte ich meinen Dank an *Herrn Assistenzprofessor Dipl.Ing. Dr.techn. Heinrich Bruckner*, sowie *Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Kirnbauer* und *Herrn Hubert Mayerhofer vom Institut für Baustofflehre, Werkstofftechnologie und Brandsicherheit* aussprechen, die mich in der Versuchsphase stets gut betreut haben.

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die von mir am heutigen Tage dem Prüfungsausschuss der Fakultät für Bauingenieurwesen vorgelegte Diplomarbeit zum Thema

**Brandverhalten von Holz-Beton
Verbundkonstruktionen
unter besonderer Berücksichtigung
zementgebundener Platten aus Holzleichtbeton:
experimentelle und numerische Untersuchungen**

**Fire behavior of timber-concrete
composite structures
with particular focus on
cement-bonded board composed of wood lightweight concrete:
experimental and numerical investigations**

vollkommen selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie Zitate kenntlich gemacht wurden.

Königstetten, Januar 2015

.....
Unterschrift

Kurzfassung

Im Rahmen des vom *Wissenschaftsfonds FWF* geförderten *Forschungsprojekts WooCon* „*Wood-based concrete: building construction with composite elements of wood-concrete compound and timber*“ arbeitet das *Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI)* der *Technische Universität Wien* daran, Verbundsysteme in ökologischer Holzleichtbeton-Verbundbauweise zu entwickeln und deren praktischen Einsatz zu optimieren.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, einen Beitrag zur Optimierung von Holz-Beton Verbundkonstruktionen hinsichtlich des Brandverhaltens zu leisten. Dabei werden scheiben- und plattenförmige Verbundelemente in kleinformatischen Versuchsreihen untersucht und anschließend ausgewertet. Zur Herstellung der Probekörper kommt ein Verbund zwischen Brettsperrholz und dem brandhemmenden Kompositwerkstoff Holzleichtbeton zum Einsatz, der in erster Linie hinsichtlich seiner brandhemmenden Wirkung untersucht wird. Zeitgleich widmet sich *Sepehr Setoodeh* in seiner Diplomarbeit mit dem Titel „*Tragverhalten der Wandkonstruktionen aus Massivholz-Holzleichtbeton-Verbundbauweise*“ [47] der grundlegenden Fragestellung, inwieweit Holzleichtbeton beim äquivalenten scheibenförmigen Verbundkörper im Stande ist, einen statisch wirksamen Beitrag für die Gesamtkonstruktion zu leisten.

Abstract

In the course of the Austrian Science Fund FWF research project *WooCon "Wood-based concrete: building construction with composite elements of wood-concrete compound and timber"*, the *Department of Architectural Sciences Structural Design and Timber Engineering (ITI)* at the *Vienna University of Technology* works on composite systems in ecological timber-concrete composite structures to develop and improve their practical application.

The aim of this diploma thesis is to contribute to the optimization of timber-concrete composite-constructions in terms of flammability. Disc- and plate-shaped composite elements are tested in small-scale trials and subsequently evaluated. To prepare the test specimen a bond between cross laminated timber and incombustible cement bonded chipboards is used, which is examined primarily in terms of its fire-retarding effect. At the same time *Sepehr Setoodeh* attends to the fundamental question of how cement bonded chipboards improve the equivalent composite structure concerning to static effects in his thesis entitled *"Behavior and design of wall elements composed of lightweight wood-concrete and timber in composite action"*. [47]

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Einleitung..... | 1 |
| 1.1 | Einleitung, Motivation und Zielsetzung..... | 1 |
| 1.2 | Gliederung der Arbeit | 3 |
| 2 | Grundlagen | 5 |
| 2.1 | Holz und Holzwerkstoffe..... | 5 |
| 2.1.1 | Einleitung | 5 |
| 2.1.2 | Chemischer Aufbau des Holzes | 7 |
| 2.1.3 | Die Verbrennung von Holz | 8 |
| 2.1.3.1 | Phase 1: Trocknung (100°C bis 150°C) | 9 |
| 2.1.3.2 | Phase 2: Thermische Zersetzung (150°C-500°C)..... | 9 |
| 2.1.3.3 | Phase 3: Oxidation (500°C-1100°C) | 9 |
| 2.1.4 | Entzündung von Holz | 10 |
| 2.1.5 | Einfluss der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften von Holz | 14 |
| 2.1.5.1 | Zugfestigkeit..... | 15 |
| 2.1.5.2 | Druckfestigkeit | 15 |
| 2.1.5.3 | Biegefestigkeit | 15 |
| 2.1.5.4 | Schubfestigkeit | 16 |
| 2.2 | Holzleichtbeton..... | 17 |
| 2.2.1 | Einleitung | 17 |
| 2.2.2 | Materialzusammensetzung | 18 |
| 2.2.2.1 | Für die Herstellung geeignete Hölzer..... | 20 |
| 2.2.2.2 | Für die Herstellung geeignete Zemente | 22 |
| 2.2.3 | Eigenschaften von Holzleichtbeton | 22 |
| 2.2.4 | Brandschutz von Holzleichtbeton | 23 |
| 2.2.5 | Plattenwerkstoffe aus Holzleichtbeton | 24 |
| 2.2.5.1 | Holzwoleleichtbauplatten (zementgebundene Holzwoleplatten)..... | 25 |
| 2.2.5.2 | Holzspanplatten (zementgebundene Hackspanplatten)..... | 26 |
| 2.3 | Verbundbau..... | 27 |
| 2.4 | Brand | 29 |
| 2.4.1 | Verbrennung und Brandentstehung..... | 29 |
| 2.4.2 | Brandlast | 30 |
| 2.4.3 | Brandentwicklung und Brandphasen | 31 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.4.4 | Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen..... | 31 |
| 2.4.4.1 | Klassifizierung für Baustoffe..... | 31 |
| 2.4.4.2 | Klassifizierung für Bauteile..... | 33 |
| 2.4.5 | Das Kapselkriterium K ₂ 60 nach ÖNORM EN 13501-2..... | 35 |
| 3 | Versuchsplanung..... | 37 |
| 3.1 | Versuchsannahmen..... | 37 |
| 3.2 | Versuchsanlage..... | 38 |
| 3.2.1 | Der Prüfofen..... | 38 |
| 3.2.2 | Die Einheitstemperaturzeitkurve..... | 42 |
| 3.3 | Definition der Probekörper..... | 43 |
| 3.4 | Messeinrichtungen und Messgrößen..... | 45 |
| 3.4.1 | Thermomessung und elektrischer Widerstand..... | 45 |
| 3.4.2 | Multimeter..... | 53 |
| 3.4.3 | Folgesoftware ExceLINX™..... | 57 |
| 3.4.4 | Feuchtemessung und Bestimmung der Feuchte durch Darrtrocknung .. | 63 |
| 3.4.4.1 | Feuchtebestimmung der Holzproben..... | 63 |
| 3.4.4.2 | Feuchtebestimmung der Holzleichtbetonplatten..... | 68 |
| 3.4.5 | Gasdruck..... | 71 |
| 4 | Versuchsvorbereitung..... | 73 |
| 4.1 | Vorbereitung der Prüfeinrichtung..... | 73 |
| 4.1.1 | Standort der Prüfeinrichtung..... | 73 |
| 4.1.2 | Überprüfung der Temperaturmeseinrichtungen..... | 73 |
| 4.2 | Probekörper..... | 75 |
| 4.2.1 | Konditionierung der Probekörper..... | 75 |
| 4.2.2 | Herstellung der Probekörper..... | 77 |
| 4.2.2.1 | Überlegungen zum Probekörperaufbau..... | 77 |
| 4.2.2.2 | Wahl der Probekörpertypen für die Vorversuchsreihe..... | 79 |
| 4.2.2.3 | Feuerschutzplatten..... | 79 |
| 4.2.3 | Vorversuche an zementgebundenen Holzspanplatten..... | 80 |
| 4.2.4 | Vorversuche an Verbundkörpern aus Holz-Holzleichtbeton..... | 84 |
| 4.2.4.1 | Vorversuchsreihe 1 (VV1)..... | 84 |
| 4.2.4.2 | Vorversuchsreihe 2 (VV2)..... | 85 |
| 4.2.4.3 | Vorversuchsreihe 3 (VV3)..... | 86 |
| 4.2.4.4 | Vorversuchsreihe 4 (RV)..... | 87 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.2.5 | Gegenüberstellung der Vorversuche und Interpretation..... | 88 |
| 5 | Brandversuche und Interpretation..... | 95 |
| 5.1 | Versuchsdurchführung..... | 95 |
| 5.1.1 | Hauptversuchsreihe 1 (HV1) - Idealisierter Verbund..... | 96 |
| 5.1.2 | Hauptversuchsreihe 2 (HV2) – Plattenstöße..... | 100 |
| 5.1.3 | Hauptversuchsreihe 3 (HV3) – Schraubenverbindungen..... | 103 |
| 5.1.4 | Hauptversuchsreihe 4 (HV4) – Klebeverbindungen | 107 |
| 5.2 | Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse..... | 109 |
| 5.3 | Temperaturverteilung im Querschnitt..... | 110 |
| 5.4 | Temperaturverteilung im Schraubenbereich..... | 116 |
| 5.5 | Näherungsrechnung nach ÖNORM EN 1995-1-2..... | 119 |
| 5.5.1 | Allgemeines..... | 119 |
| 5.5.2 | Grundlagen | 119 |
| 5.5.3 | Näherung für Grundschutzzeit und Grundisolationszeit | 122 |
| 5.5.4 | Rechenbeispiel..... | 124 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 127 |
| 6.1 | Zusammenfassung..... | 127 |
| 6.2 | Schlussfolgerung und Ausblick | 129 |
| 7 | Anhang..... | i |
| 7.1 | Versuchsprotokoll..... | i |
| 7.2 | Bestimmung des Feuchtegehalts der Probekörper | iii |
| 7.2.1 | Feuchtigkeitsentwicklung im Holz | iv |
| 7.2.1.1 | 1. Messung - Tag 0..... | iv |
| 7.2.1.2 | 2. Messung - Tag 7..... | iv |
| 7.2.1.3 | 3. Messung - Tag 15 | iv |
| 7.2.1.4 | 4. Messung - Tag 27..... | iv |
| 7.2.1.5 | 5. Messung - Tag 35..... | v |
| 7.2.1.6 | 6. Messung - Tag 57..... | v |
| 7.2.2 | Feuchtigkeitsentwicklung in den Holzleichtbetonplatten | vi |
| 7.2.2.1 | 1. Messung – Tag 0 | vi |
| 7.2.2.2 | 2. Messung – Tag 7 | vii |
| 7.2.2.3 | 3. Messung – Tag 15 | viii |
| 7.2.2.4 | 4. Messung – Tag 16 | ix |

| | | |
|----------|---|--------|
| 7.2.2.5 | 5. Messung – Tag 17 | x |
| 7.2.2.6 | 6. Messung – Tag 27 | xi |
| 7.2.2.7 | 7. Messung – Tag 31 | xii |
| 7.2.2.8 | 8. Messung – Tag 57 | xiii |
| 7.2.2.9 | 9. Messung – Tag 58 | xiv |
| 7.2.2.10 | 10. Messung – Tag 59 | xv |
| 7.3 | Ergänzungen zu ExceLINX | xvi |
| 7.4 | Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen | xix |
| 7.4.1 | Vorversuchsreihe 1 (VV1) | xix |
| 7.4.1.1 | Vorversuchsreihe VV1-a..... | xix |
| 7.4.1.2 | Vorversuchsreihe VV1-b | xxi |
| 7.4.2 | Vorversuchsreihe 2 (VV2) | xxiv |
| 7.4.2.1 | Vorversuchsreihe VV2-a..... | xxiv |
| 7.4.2.2 | Vorversuchsreihe VV2-b | xxvii |
| 7.4.3 | Vorversuchsreihe 3 (VV3) | xxx |
| 7.4.3.1 | Vorversuchsreihe VV3-a..... | xxx |
| 7.4.3.2 | Vorversuchsreihe VV3-b | xxxiii |
| 7.4.4 | Vorversuchsreihe 4 (RV) | xxxvi |
| 7.4.4.1 | Vorversuchsreihe RV-a | xxxvi |
| 7.4.4.2 | Vorversuchsreihe RV-b | xxxix |
| 7.5 | Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen | xlii |
| 7.5.1 | Hauptversuchsreihe 1 (HV1) - Idealisierter Verbund..... | xlii |
| 7.5.1.1 | Hauptversuchsreihe HV1-60a – WSD 50 lose..... | xlii |
| 7.5.1.2 | Hauptversuchsreihe HV1-60b – WSD 50 lose..... | xliv |
| 7.5.1.3 | Hauptversuchsreihe HV1-90a – WSD 50 lose..... | xlvi |
| 7.5.1.4 | Hauptversuchsreihe HV1-90b – WSD 50 lose..... | xlix |
| 7.5.1.5 | Hauptversuchsreihe HV1-100a (feucht)..... | lii |
| 7.5.2 | Hauptversuchsreihe 2 (HV2) - Plattenstöße | lv |
| 7.5.2.1 | Hauptversuchsreihe HV2-90a – WSD 50 lose, Fuge..... | lv |
| 7.5.2.2 | Hauptversuchsreihe HV2-90b – WSD 50 lose, Fuge..... | lviii |
| 7.5.2.3 | Hauptversuchsreihe HV2-90c – WSD 35 lose, Fuge | lxi |
| 7.5.2.4 | Hauptversuchsreihe HV2-90d – 2x WSD 35 lose, Fuge..... | lxiv |
| 7.5.3 | Hauptversuchsreihe 3 (HV3) - Schrauben..... | lxvii |
| 7.5.3.1 | Hauptversuchsreihe HV3-60a– WSD 50, Schraube | lxvii |

| | | |
|-----------|--|--------------|
| 7.5.3.2 | Hauptversuchsreihe HV3-90a– WSD 50, Schraube..... | lxx |
| 7.5.3.3 | Hauptversuchsreihe HV3-90b– WSD 50, Schraube..... | lxxiii |
| 7.5.3.4 | Hauptversuchsreihe HV3-90c– WSD 50, Schraube..... | lxxvi |
| 7.5.4 | Hauptversuchsreihe 4 (HV4) – Klebeverbindungen | lxxix |
| 7.5.4.1 | Hauptversuchsreihe HV4-90a – WSD 35 geklebt..... | lxxix |
| 7.5.4.2 | Hauptversuchsreihe HV4-90b – WSD 50 geklebt | lxxxii |
| 8 | Quellenverzeichnis..... | lxxxv |
| 9 | Abbildungsverzeichnis..... | xc |
| 10 | Tabellenverzeichnis | xcvii |

1 Einleitung

1.1 Einleitung, Motivation und Zielsetzung

Die Arbeit entstand im Rahmen des vom *Wissenschaftsfonds FWF* geförderten Forschungsprojekts *WooCon* und wurde unter der Koordination des *Instituts für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI)* in Zusammenarbeit mit dem *Institut für Baustofflehre, Werkstofftechnologie und Brandsicherheit* an der *Technische Universität Wien* durchgeführt. Der experimentelle Teil fand ausschließlich im Forschungsbereich der TU Wien in der *Adolf-Blamauer Gasse* unter der Leitung von *Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-techn. Heinrich Bruckner* statt.

Das wesentliche Ziel bestand darin, den Werkstoff „Holzleichtbeton“ (unter dieser Bezeichnung sind in dieser Arbeit zementgebundene Holzspanplatten zu verstehen) auf seine Eignung als Feuerschutzplatte für eine massive Tragkonstruktion aus Brettsperrholz zu untersuchen und die Ergebnisse gegebenenfalls mit dem bekannten Brandverhalten von Gipskarton- und Gipsfaserplatten zu vergleichen. Diese mineralischen Plattenerzeugnisse werden in der Praxis sehr häufig dazu verwendet, um Brandabschnitt trennende Holzständer- oder Massivholzwände vor einer möglichen Brandeinwirkung zu schützen.

Derzeit sind tragende Bauteile der Gebäudeklasse 5 laut *OIB-Richtlinie 2* [33] als nicht brennbar auszuführen, da sich ansonsten die Brandlast und somit im Ernstfall die Brandeinwirkungsdauer in einem zu hohen Maße erhöhen würden. Es wird davon ausgegangen, dass die zu erwartenden Leistungsfähigkeit von Feuerwehreinsatzkräften unter regulären Bedingungen nicht mehr ausreichen würde, um zusammen mit der gegebenen Feuerwiderstandsdauer eines Holzgebäudes der Gebäudeklasse 5 einen Vollbrand kontrollieren zu können. Die Tragfähigkeit eines Bauwerks muss per Definition noch über die vorgegebene Dauer von 90 Minuten erhalten bleiben. Gebäude der Gebäudeklasse 4 (maximal 4 Geschoßen mit letztem Aufenthaltsniveau von 11m Höhe über dem angrenzenden Gelände) dürfen hingegen aus brennbaren Materialien errichtet werden, sofern sie eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten (REI 60) erreichen. Die Tragfähigkeit muss darüber hinaus nicht mehr aufrechterhalten werden.

In der aktuellen Fassung der *OIB Richtlinie 2 (2014)* [33] wird diskutiert, ob brennbare Bauteile bei Gebäuden bis zu 6 Etagen zuzulassen sind. Es wird geschlussfolgert, dass die Feuerwehr bei dieser Größenordnung einen Brand spätestens 90 Minuten nach Brandbeginn löschen kann. Die OIB Richtlinie definiert allgemein ein Schutzniveau, das es einzuhalten gilt (z.B. REI 90, A2 für GK 5, Geländerabsturzhöhen, etc.), wobei der 2. Teil die Anforderungen an den Brandschutz stellt. Dabei wird kein generelles Verbot von Holzkonstruktionen ausgesprochen, es sind allerdings Zusatzmaßnahmen zu tätigen, die das Erreichen des vorgegebenen Schutzniveaus möglich machen.

Die tragende Holzstruktur muss entsprechend dem Kapselkriterium durch eine nichtbrennbare Bekleidung über eine Branddauer von 60 Minuten (für GK 4), sowie 90 Minuten (für GK5) vor einer Entzündung geschützt werden. Die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung ist so zu dimensionieren, dass eine maximal zulässige Temperaturerhöhung von 250 °C im Mittel und 270 °C im Maximum über den vorgegebenen Zeitraum nicht überschritten wird. Zudem ist die Vorgabe zu erfüllen, dass es allgemein zu keiner Verkohlung der Holzoberfläche kommen darf und ein Durchtreten von Feuer und Rauch unterbunden werden kann.

Im experimentellen Abschnitt dieser Arbeit wurde die Eignung des Werkstoffs Holzleichtbeton und dessen brandschutztechnische Wirksamkeit zur Erreichung des Kapselkriteriums untersucht. Neben der Betrachtung des idealen einlagigen fugenlosen Verbundes wurde spezielles Augenmerk auf die Schwachstellen gelegt, die der praxisnahe Einbau zwangsläufig mit sich bringt. Als solche wären in erster Linie metallische Verbindungsmittel wie Schrauben, Nägel und Klammern zu nennen, die aufgrund ihrer erhöhten Wärmeleitfähigkeit die hohen Temperaturen im Brandraum direkt in das Innere der Konstruktion leiten. Eine weitere Problematik sind die durch Plattenstöße bedingten Fugenzwischenräume. Hier wurde sowohl der einlagige als auch der zweilagige Verbund mit versetzten Fugenstößen untersucht. Eine weitere Versuchsreihe widmet sich der alternativen Verbindungstechnik der Klebeverbindungen. Hier soll lediglich verifiziert werden, ob die Klebeschicht einen nennenswerten Beitrag zur Steigerung des Feuerwiderstandes leistet. Im Anschluss an die Diplomarbeit sollen weitere Versuchsreihen durchgeführt werden, bei denen die verwendeten Holzleichtbetonplatten neben der brandschutztechnischen Wirksamkeit auch eine Funktion als Putzträger haben. Dadurch soll eine qualitative Aussage ermöglicht werden, inwieweit Sanierputz zur zusätzlichen Steigerung der Feuerwiderstandsdauer beiträgt.

Die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit sollen schließlich zur Optimierung der im Rahmen des Forschungsprojekts *WooCon* für einen späteren Zeitpunkt angesetzten Großbrandversuche beitragen, bei denen großformatige Wandkonstruktionen einem Realbrandszenario unterzogen werden.

Grundlegende Erkenntnisse die dieser Arbeit zugrunde liegen wurden in den Dissertationen von *Josef Wolfsgruber – Untersuchung der Prinzipien des Brandverhaltens von Holz-Stahl-Verbundkonstruktionen (2011)* [66] und *Michael Kist – Sicherheitskonzept für mehrgeschoßige Gebäude aus Holz am Beispiel von Wien (2013)* [15] erarbeitet. Diese betreffen in erster Linie die Versuchsdurchführungen mittels Prüfofen (Wolfsgruber) und die Erarbeitung von Sicherheitskonzepten für mehrgeschoßige Holzbauten (Kist).

1.2 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit besteht neben **Kapitel 1 - Einleitung** aus sechs weiteren Kapiteln:

Kapitel 2 – Grundlagen beschreibt den derzeitigen Stand der Technik (state of the art). Dabei wird auf jene Materialien eingegangen, die in dieser Arbeit Anwendung finden (*Kapitel 2.1 - Holz und Holzwerkstoffe und Kapitel 2.2 - Holzleichtbeton*). Des Weiteren wird die Verbundbauweise in groben Zügen beschrieben (*Kapitel 2.3 - Verbundbau*) und auf jene Aspekte des Brandschutzes eingegangen, die für die folgenden Versuchsdurchführungen von Bedeutung sind (*Kapitel 2.4 - Brand*).

Kapitel 3 – Versuchsplanung beschreibt die im Rahmen der Diplomarbeit formulierten offenen Fragen die sich mit der Kapselbarkeit von Brettsperrholz durch Holzleichtbeton beschäftigen. Dabei werden entsprechende Versuchsannahmen definiert (*Kapitel 3.1 - Versuchsannahmen*), grundlegende Überlegungen zur Versuchsanlage getroffen (*Kapitel 3.2 - Versuchsanlage*), Aussehen und Art der Probekörper (*Kapitel 3.3 - Definition der Probekörper*) sowie allfällige Messeinrichtungen (*Kapitel 3.4 - Messeinrichtungen und Messgrößen*) erklärt.

Kapitel 4 – Versuchsvorbereitung beschreibt die getroffenen Vorkehrungen während der Versuchsdurchführungen vor Versuchsbeginn (*4.1 - Vorbereitung der Prüfeinrichtung*), die Konditionierung, Herstellung und Durchführung von Vorversuchen (*4.2 - Probekörper*) mit anschließender Gegenüberstellung (*4.2.5 - Gegenüberstellung der Vorversuche*).

Kapitel 5 – Brandversuche und Interpretation beschreibt die vier durchgeführten Hauptversuchsreihen (*5.1 - Versuchsdurchführung*) mit anschließender Auswertung der Ergebnisse (*5.2 - Gegenüberstellung der Versuch*). Zudem werden die geschichtete Messung des inneren zeitlichen Temperaturverlaufs eines idealisierten einlagigen Verbundes (*5.3 - Temperaturverteilung im Querschnitt*) und der zeitliche Verlauf der Temperaturverteilung im unmittelbaren Schraubenbereich erörtert und grafisch dargestellt (*5.4 - Temperaturverteilung im Schraubenbereich*). Eine Nachlaufrechnung (*5.5 - Näherungsrechnung nach ÖNORM EN 1995-1-2*) stellt den numerischen Teil dieser Arbeit dar.

Kapitel 6 – Zusammenfassung und Ausblick fasst die wesentlichen Erkenntnisse der Arbeit zusammen und beschreibt einen groben Ausblick auf weitere Forschungsarbeiten, die im Zusammenhang mit dem Brandverhalten von Holz-Beton Verbundkonstruktionen anstehen oder an diese Diplomarbeit anknüpfen.

Kapitel 7 – Anhang beinhaltet die Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messungen.

2 Grundlagen

2.1 Holz und Holzwerkstoffe

2.1.1 Einleitung

„Der Begriff Holz beschreibt das aus meist verholzten Zellen zusammengesetzte, unter der Rinde liegende Gewebe von Bäumen und Sträuchern, das beim Wachstum der Pflanze von innen nach außen neu gebildet wird. Umgangssprachlich wird im Allgemeinen der liegende Stamm oder auch erst der von Rinde befreite Stamm als Holz bezeichnet.“¹

Holz ist einer der wichtigsten Baumaterialien der Menschheitsgeschichte und hat sich bereits vor vielen tausenden Jahren manifestiert. Ökologische Aspekte, die leichte Bearbeitbarkeit, der hohe Vorfertigungsgrad auf der einen Seite, Einschränkungen im Bereich des Schallschutzes, die geringe Wärmespeichermasse oder die vergleichsweise hohe Witterungsempfindlichkeit auf der anderen Seite sind bekannte Argumente die verglichen mit den anderen gängigen Baumaterialien für oder eben gegen das Bauen mit Holz sprechen. Eine nähere Ausführung der positiven und negativen Charakteristika ist jedoch nicht zielführend für das Kernthema dieser Diplomarbeit. Das Thema Holz ist ein umfangreicher Überbegriff und lässt sich auf sehr vielfältige Weise beschreiben. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden jene Sachverhalte zusammengefasst, die von grundlegender Bedeutung für das Brandverhalten des Werkstoffs sind.

Die Charakterisierung von Holzwerkstoffen unter Feuereinwirkung ist nicht ganz einfach. Die Begriffe „Holz“ und „Brand“ sind seit jeher sehr eng miteinander verknüpft und werfen speziell mit Blick auf die zahlreichen Großstadtbrände der Vergangenheit kein gutes Licht auf den organischen Baustoff. Feuer war stets eine allzeitige Gefahr für den städtischen Holzbau. Speziell im Mittelalter gab es durch die hohe Bebauungsdichte immer wieder verheerende Brandkatastrophen mit heute kaum noch nachvollziehbaren Ausmaßen. Das führte in den meisten Städten mit der Zeit zu gezielten Fördermaßnahmen zugunsten von Steinbauten, was den urbanen Holzbau allmählich verdrängte. Holz galt somit in weiterer Folge für lange Zeit aus brandschutztechnischen Überlegungen für den Städtebau als ungeeignet. [32]

Es folgte schließlich eine Zeit, die neben baulichen Maßnahmen auch große Anstrengungen im präventiven Brandschutz hervor brachte. Heute sind die wesentlichen Parameter, die zur Zurückdrängung des städtischen Holzbaus führten aufgrund der vorhandenen Möglichkeiten im vorbeugenden aber auch im abwehrenden Brandschutz größtenteils nicht mehr gültig.

¹ [51] Sonntag F. (2003), S14

Inzwischen gibt es eine klare Gegenanschauung, die Holz im Allgemeinen ein sehr gutes Brandverhalten zuschreibt. Trotz seiner Brennbarkeit und der Festigkeitsabnahme mit steigender Temperatur können sich Bauteile aus Holz als äußerst widerstandsfähig gegen eine Brandbeanspruchung erweisen. Verglichen mit ungeschützten Stahlkonstruktionen, bei denen es durch den thermisch bedingten Festigkeitsabfall sehr schnell zum Tragfähigkeitsverlust kommen kann, können Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen bei entsprechender Dimensionierung ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen einer längeren Brandbeanspruchung standhalten ohne zu kollabieren. [02]

Es gibt mittlerweile Studien, die sich unter anderem mit der Frage beschäftigen, wie wichtig der Einsatz ökologisch nachwachsender Rohstoffe zur allgemeinen Sicherstellung unseres Lebensstandards tatsächlich ist. In der Dissertation von Adolf Merl [29] „*Ressourcenmanagement in urbanen Räumen, Fallstudie Wien*“ wird der nachhaltige Einsatz von Holz im Rohbau thematisiert. Als Schlussfolgerung der Arbeit werden zahlreiche Argumente aufgezeigt, die dafür sprechen, Holz auch wieder verstärkt im innerstädtischen Bereich einzusetzen. Es sei wichtig, auch dort die Möglichkeit zur Erreichung der geforderten Schutzziele mit dem Baustoff Holz zu prüfen.

„Mit der Novellierung der Wiener Bauordnung 2001 [62] wurde der Einsatz von Holz als Konstruktionsbaustoff im mehrgeschoßigen Wohnbau für bis zu fünf Obergeschoße bei Ausbildung eines mineralischen Sockelgeschoßes ermöglicht. In der Zwischenzeit konnten erfolgreiche Projekte wie beispielsweise die Wohnanlage Spöttelgasse [17] und die Objekte des Bauträgerwettbewerb „Mühlweg“ [18] realisiert werden.“²

Hinsichtlich der brandschutztechnischen Vorschriften gibt es innerhalb der Bundesländer oftmals unterschiedliche Auslegungen und Formulierungen ähnlicher Sachverhalte, wodurch teilweise differierende Ansätze möglich sind. Grundsätzlich ist für Gebäude der Gebäudeklasse 5 (bis maximal sieben Geschoße) festgelegt, dass tragende Bauteile als „nicht brennbar“ ausgeführt werden müssen. Erreicht man jedoch das sogenannte „Schutzziel“, so ist theoretisch auch der Einsatz von brennbaren Baustoffen wie Holz zulässig. Der Begriff des Schutzziels ist allerdings in der Bauordnung nicht eindeutig definiert. Natürlich hat die Holzindustrie ein Interesse daran, diesbezüglich konkrete und allgemein gültige Vorgaben zu bekommen, die es möglich machen, das entsprechende Ziel zu erreichen, denn damit würde sich flächendeckend ein neuer Markt eröffnen. An vorderster Front arbeiten große Brettsperrholz-Hersteller wie „Stora Enso“, „KLH“ oder „Binderholz“ daran, mit der Holzbauweise im urbanen Raum in Zukunft noch höher bauen zu können.

Erste Projekte haben mittlerweile gezeigt, dass auch Holzbauten jenseits der Gebäudeklasse 4 machbar sind. Voraussetzung dafür ist allerdings die vollständige Kapselung der gesamten

² [55] Teibinger M. DI Dr., Busch T., *Holzforschung Austria*, (2007), S4

Holzoberfläche mit einem nicht brennbaren Baustoff. Zwei der bekanntesten Referenzobjekte in Österreich sind der Siebengeschoßer in der Wagramerstraße (Wien, 2011) und das achtgeschoßige „Fast-Hochhaus“ LifeCycle Tower One (Dornbirn, 2012). Damit ist die Hochhausgrenze beinahe erreicht, die mit einer Höhe von 22 Metern zwischen Terrain und der obersten Fußbodenoberkante definiert ist. Das ist jene Höhe, die von Feuerwehreinsatzkräften mit den heute zur Verfügung stehenden technischen Hilfsmitteln vom Boden aus bewältigbar ist.

Derzeit erfordert das städtische Bauen mit Holz in der Gebäudeklasse 5 aber meist noch vergleichsweise viel Geduld und Durchhaltevermögen für alle Beteiligten, da es speziell auf Behördenebene mit vielen Unwegsamkeiten verbunden ist. Die Auslegung der Brandschutzbestimmungen ist überwiegend Angelegenheit der zuständigen Magistrate, die sich meist auf die vielen unterschiedlichen Parameter berufen die jedes einzelne Bauvorhaben mit sich bringt, sodass momentan eine flächendeckend einheitliche Vorgabe der zu erreichenden Schutzziele nicht möglich ist. Da die ersten Holzbauten in der Gebäudeklasse 5 aber bereits stehen und entsprechend auch als „Vorzeigobjekte“ vermarktet werden, ist es wohl nur mehr eine Frage der Zeit, bis der Holzbau innerstädtisch vermehrt Anerkennung findet und wieder stärker zum Einsatz kommt.

2.1.2 Chemischer Aufbau des Holzes

Holz ist ein heterogener anisotroper Werkstoff und besteht aus unterschiedlichen Zellen, Harzen und Fetten. Neben der Festigkeit sind die Zellen für den Wassertransport, den Stoffwechsel und die Einlagerung von Reservestoffen für das Wachstum zuständig. In Abhängigkeit von der Jahreszeit kommt es zur unterschiedlichen Ausbildung der Zellen. Den Hauptbestandteil von fürs Baugewerbe relevanten Nadelhölzern bilden mit einem Anteil von 90% bis 95% lang gestreckte röhrenförmige Zellen, die sogenannten Tracheiden. Diese sind neben der Festigung des Holzgefüges für den Transport von Wasser und Nährstoffen verantwortlich. Parenchymzellen als zweite typische Zellart von Holz, dienen vorrangig der Speicherung von Zellsaft, Fetten und Harzen. Wie alle festen Brennstoffe lässt sich Holz sowohl in brennbare, als auch in nicht brennbare Bestandteile unterteilen. Zu den nicht brennbaren Bestandteilen zählen Asche und Wasser. In der Asche sind jene festen Rückstände erfasst, die nicht mit Sauerstoff reagieren können. Holz unterscheidet sich von Kohle dadurch, dass es einen hohen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und einen geringen Gehalt an Asche hat. [19] [28]

Chemisch betrachtet besteht Holz überwiegend aus Kohlenstoff-, Sauerstoff- und Wasserstoffverbindungen, sowie in geringen Mengen aus Stickstoff, Schwefel und Aschebestandteilen (*vgl. Tabelle 1*). Dieser elementare Aufbau ist mit geringfügigen Schwankungen in der prozentuellen Gewichtung für alle Holzarten gleich. [19], [51]

| Element | Chem. Formelzeichen | Anteil [%] |
|----------------|---------------------|------------|
| Kohlenstoff | C | ~50 |
| Wasserstoff | H | ~6,3 |
| Sauerstoff | O | ~42 |
| Stickstoff | N | <1 |
| +Mineralstoffe | | |

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von Holz in Masse-% [66]

Die chemischen Stoffgruppen werden häufig auch in Abhängigkeit von ihrer Bedeutung in Haupt- und Nebengruppen unterteilt. Die Verbrennung von Holz wird in erster Linie durch den kontinuierlichen Abbau der Hauptgruppenbestandteile charakterisiert.

| Gruppe | Bestandteile | Anteil [%] | Funktion |
|---------------------------|--|------------|-------------------------------|
| Haupt- gruppe: | Zellulose | ~45 | Festigkeit (v.a. Zug) |
| | Holzpolyose (Hemizellulosen) | ~20 | Reservestoff und Kittsubstanz |
| | Lignin | ~30-35 | Versteifung der Zellwände |
| Neben- gruppe: | Fette, Öle, Wachse, Eiweiße, Harze, Stärke, Zucker, Gerbstoffe, Alkaloide und mineralische Bestand- teile | | |

Tabelle 2: Einteilung der Stoffgruppen von Holz in Haupt- und Nebengruppen

2.1.3 Die Verbrennung von Holz

„Die Theorie zur Holzverbrennung beschreibt die Umsetzung der Holzsubstanz in Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Wasserdampf und Stickstoff. Bei erhöhten Temperaturen kommt es im Holz zu thermischen Prozessen (Verdampfung der Holzfeuchte, Pyrolyse, Verkohlung) und damit zu strukturellen, physikalischen und chemischen Veränderungen im Holz und zur Bildung von Holzkohle und brennbaren Pyrolysegasen.“³

Die Verbrennung von Holz wird in unterschiedliche Zersetzungsphasen unterteilt. Die wichtigsten Komponenten sind das vorhandene Sauerstoffangebot und die Temperatur. Die Reaktionen laufen dabei stets in einer geordneten Reihenfolge ab, erfolgen allerdings nicht bei exakten Grenztemperaturen, sondern überlagern sich und sind jeweils bestimmten Temperaturbereichen zugeordnet.

³ [66] Wolfsgruber J., (2011), S9

2.1.3.1 Phase 1: Trocknung (100°C bis 150°C)

Holz ist ein hygroskopischer Werkstoff und besitzt somit die Eigenschaft, sich dem Feuchtezustand der Umgebung stets anzupassen. „Erntefrisches Waldholz hat einen Wassergehalt von 40% bis 50%, luftgetrocknetes Holz enthält 15% bis 20% Wasser.“⁴ Feuchteänderungen sind zwangsläufig auch mit Formänderungen verbunden. Trockenes Holz in feuchter Umgebung wird beginnen zu quellen, umgekehrt schwindet nasses Holz in trockener Umgebung. Daher ist es aus konstruktiver Sicht wichtig, Holz bereits vor der Verarbeitung in jenen Trockenzustand zu bringen, der dem späteren Einbauzustand entspricht.

An die zu Beginn der Erwärmung einsetzenden Austrocknung des Holzes schließt die Verdampfungsphase an, für die in der Literatur sehr unterschiedliche Temperaturbereiche angeführt werden. Die Angaben betreffen den Bereich zwischen 95°C bis 105°C, bzw. bis zu 150°C. In dieser Phase verdunstet das im Holz gebundene Wasser. Je mehr Wasser im Holz enthalten ist, umso größer ist jene Energiemenge die benötigt wird, um das Wasser zum Verdampfen zu bringen. Da es sich bei der Trocknung um einen endothermen, also um einen wärmeverbrauchenden Prozess handelt, hat der Feuchtegehalt im Holz einen maßgeblichen Anteil für die Entzündbarkeit des Werkstoffs (*vergleiche Tabelle 3*)

2.1.3.2 Phase 2: Thermische Zersetzung (150°C-500°C)

Die Phase der thermischen Zersetzung wird oft auch als Entgasung oder als Pyrolyse bezeichnet. Dabei kommt es unter gleichzeitigem Ablauf von oft sehr komplexen chemischen Reaktionen zum Abbau der einzelnen Komponenten. Bei Temperaturen unter 200°C wird zuerst die Holzpolyose umgewandelt. Anschließend beginnen praktisch übergangslos die Erweichungsvorgänge der Zellulose, wobei sich die chemische Zusammensetzung der Gase noch kaum ändert und der Pyrolysevorgang entsprechend langsam voran geht. Bei einer Steigerung bis in den Temperaturbereich von 280°C-350°C kommt es schließlich zu sehr lebhaften, endothermen Reaktionen, bis die Zellulose unter starkem Gewichtsverlust und der Bildung von Holzkohle vollständig zersetzt wird. Als letzte Komponente wird das Lignin abgebaut. Der Vorgang erreicht zwischen 350°C und 400°C seinen Höchstwert und ist bei etwa 500°C gänzlich abgeschlossen (*vergleiche Tabelle 3*). [06] [66] [19]

2.1.3.3 Phase 3: Oxidation (500°C-1100°C)

Das Endprodukt der thermischen Zersetzung ist schließlich Holzkohle. Dieser Rückstand ist mit einem Kohlenstoffanteil von über 90% relativ leicht entflammbar. Bereits sehr kleine Flammen reichen aus, um den Kohlenstoff zu entzünden. Eine wichtige Rolle für den Verbrennungsvorgang von Holz hat das Sauerstoffangebot der Umgebung, weshalb diese Phase auch als

⁴ [28] Lassensberger L., (o.J.), S1

Oxidation bezeichnet wird. Der Sauerstoff fungiert hier als eine Art Brenngas das die Temperatur schnell auf bis zu 1100°C hoch treiben kann.

| Phasen | Temp. | Vorgänge | |
|---------|--------|--|--|
| Phase 1 | 100°C | Erwärmung des Materials | <ul style="list-style-type: none"> • Holz Trocknung, Verlust an freiem und ungebundenem Wasser |
| | 150°C | | <ul style="list-style-type: none"> • Abbau des Lignins und der Hemizellulosen • Beginn der Veränderungen der Zellulosen |
| Phase 2 | 225°C | Bereich der kritischen Zersetzungstemperaturen | <ul style="list-style-type: none"> • Beginn der Entwicklung der Zersetzungsgase • Langsamer Verlauf der Reaktionen • Selbstentzündung bei längerer Temperatureinwirkung möglich |
| | 270°C | Bereich der Entzündungstemperaturen | <ul style="list-style-type: none"> • Zersetzung der Zellulose • Starke Bindung der Zersetzungsgase • Beginn der Bildung einer Holzkohleschicht • Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit |
| | 290°C | | <ul style="list-style-type: none"> • Gewichtsverlust des Holzes steigt rapide (bis zu 39 M-%) |
| | 400°C | Verbrennung mit offener Flamme | <ul style="list-style-type: none"> • Flammausbreitung an der Oberfläche • Exothermer Verlauf der Zersetzungsreaktionen • Maximale Bildung der brennbaren Gase |
| Phase 3 | 500°C | Glühen und vollständige Verbrennung der Pyrolyserückstände | <ul style="list-style-type: none"> • Starke Bildung glühender ligninreicher Schichten • Brandausbreitung in die Holztiefe |
| | 700°C | | <ul style="list-style-type: none"> • Abbrennen des Holzkohlerückstandes • Vollständiges Abbrennen der Zersetzungsgase an der Oberfläche |
| | 1100°C | | <ul style="list-style-type: none"> • Produktion der brennbaren Zersetzungsprodukte beendet • Material vollständig zerstört. Es bleiben nicht brennbare mineralische Bestandteile des Holzes als Asche zurück |

Tabelle 3: Phasen der thermischen Zersetzung von Holz [48]

2.1.4 Entzündung von Holz

Grundsätzlich ist bei der Verbrennung von Holz der Flammenbrand und der Glutbrand zu unterscheiden. Während es beim Flammenbrand zur Verbrennung von Dämpfen und Gasen kommt, verbrennen beim Glutbrand feste Stoffe, bei denen im Zusammenhang mit der Pyrolyse ebenfalls ein Flammenbrand entstehen kann. Wie in **Abschnitt 2.1.3** beschrieben, ist die Entzündung von Holz mit der thermischen Zersetzung der Holzstruktur und den dadurch frei werdenden Pyrolysegasen definiert. Dabei entweichen unter Bildung von Holzkohle brennbare Gase, die es bei entsprechender Konzentration möglich machen, dass es zu einer Selbstentzündung kommt, ohne dass eine weitere Zündquelle notwendig ist. Von wesentlicher Bedeutung sind hier die Umgebungsbedingungen wie der Sauerstoffgehalt oder die Erwärmungsdauer des

Holzes, sowie das Temperaturniveau. Diese Parameter stehen in engem Zusammenhang mit der Rohdichte, dem Feuchtigkeitsgehalt, sowie Form und Verteilung einer Holzprobe. Zerkleinert man einen Probekörper beispielsweise in immer feinere Einzelteile, so vervielfacht sich damit dessen Oberfläche bei immer gleichbleibendem Volumen. Ist die Oberfläche eines Körpers also groß und viel Sauerstoff vorhanden, kann der Abbrand explosionsartig erfolgen (z.B.: Sägespäne und Holzstäube bei der Holzverarbeitung). Dadurch kommt es zwangsläufig zu einer deutlichen Erhöhung des Brandrisikos da die zu erwartende Brenneffektivität steigt. Sind umgekehrte Verhältnisse vorhanden, d.h. kleine Oberflächen und wenig Sauerstoff, so kann lediglich ein Schwelbrand entstehen oder der Brand erstickt. [19]

Eine schlagartige Entzündung von stark zerkleinertem Holz bei reichlichem Sauerstoffvorkommen ist bereits in Temperaturbereichen zwischen 200° und 400°C möglich, bei Erwärmungen über viele Stunden können sogar Entzündungstemperaturen von nur 120°C bis 160°C ohne vorhandene Pilotflamme ausreichen (*siehe **Abbildung 1***).

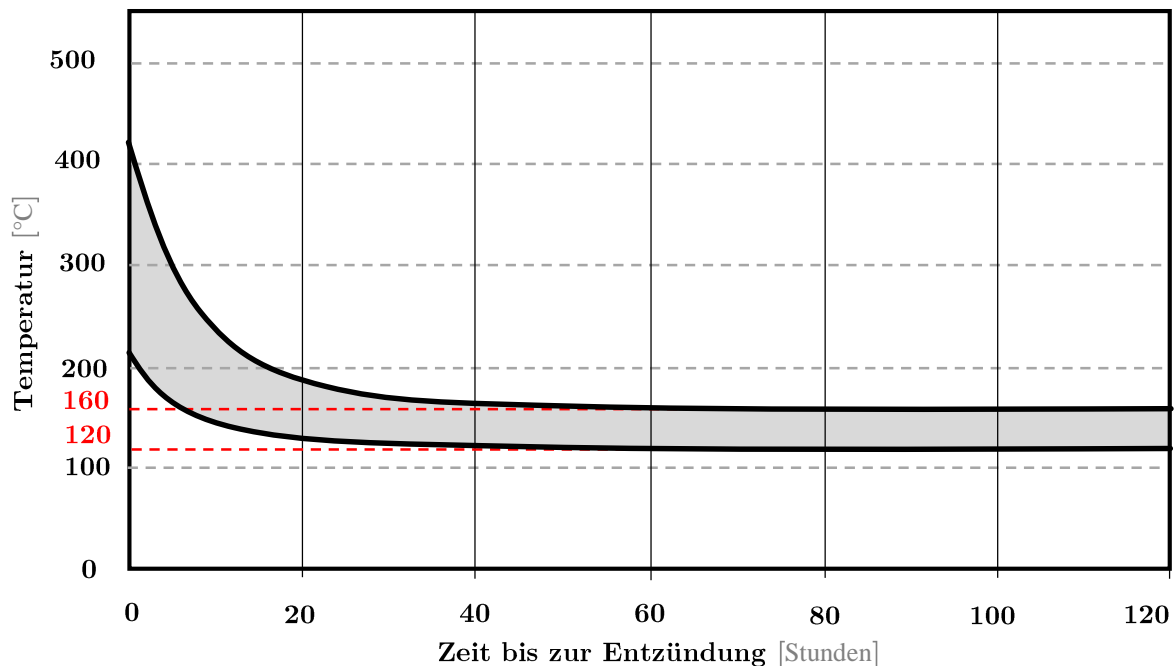


Abbildung 1: Entzündungstemperatur von unbehandeltem Holz in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer (schematische Darstellung) [02] [66]

Die durch Brand hervorgerufene Zersetzung der inneren Holzstruktur und die Bildung von Holzkohle führen zu einem Masseverlust, der stark von der Rohdichte abhängt. Somit ist Holz mit geringerer Dichte eher entzündbar als schweres Holz und verbrennt in weiterer Folge meist auch schneller. Eine der wichtigsten Kenngrößen zur Bestimmung des Abbrandverhaltens von Holz im Brandfall ist die Abbrandgeschwindigkeit. Dabei wird das Verhältnis der Verkohlungs-

tiefe pro Zeiteinheit mittels der Abbrandrate β in mm/min definiert. Zahlreiche Untersuchungen lassen auf eine praxisnahe Bandbreite zwischen $\beta=0,50$ mm/min für Laubholz (Dichte von über 450kg/m³) und $\beta=0,80$ mm/min für Nadelholz (Dichte von über 290kg/m³) schließen. [02]

Nach *Frangi* [06] und *Wolfsgruber* [66] gibt es zur Abbrandgeschwindigkeit von Holz zahlreiche experimentelle Untersuchungen verschiedener Autoren, die teilweise zu widersprüchlichen Aussagen bezüglich der Einflussfaktoren kommen. Eine Vielzahl an Erkenntnissen beruht auf Versuchen mit Bauteildimensionen, die im Wesentlichen das Ziel der Bestimmung von Feuerwiderstandsdauer und entsprechenden Mindestquerschnitten verfolgen. Deutlich weniger Versuche wurden an Kleinprobekörpern durchgeführt, was prinzipiell bessere Rückschlüsse auf die tatsächlichen Abbrandgeschwindigkeiten eines Materials wiedergibt. *Frangi* und *Wolfsgruber* fassen in ihren Dissertationen folgende Feststellungen zu den wesentlichen Parametern für die Abbrandgeschwindigkeit zusammen:

- **Brandraumtemperatur:** die Abbrandgeschwindigkeit hängt in hohem Maße von der Temperaturentwicklung im Brandraum ab.
- **Geometrie und Lage:** Speziell aus der praktischen Versuchsdurchführung mit Bauteildimensionen geht hervor, dass Querschnittsgeometrie und Lage der Brandkörper von großer Bedeutung sind. Dabei geht es in erster Linie darum, dass eine mehrseitige Brandbeanspruchung eine höhere Abbrandgeschwindigkeit bewirkt, als eine einseitige Beanspruchung.
- **Rohdichte und Zellstruktur:** Die Rohdichte einer Holzart ist kein unmittelbares Kriterium zur Beurteilung der Abbrandgeschwindigkeit. Von wesentlich größerer Bedeutung ist der Aufbau der Zellstruktur. Buchenholz hat verglichen mit Fichte eine große Rohdichte, die Abbrandgeschwindigkeit von Buchenholz ist dabei dennoch höher, was auf die zersetztporige Struktur und eine Vielzahl an röhrenförmigen Gefäßen zurückzuführen ist, die sich schnell erweichen lassen. Über den reinen Einfluss der Rohdichte innerhalb derselben Holzart stehen hingegen keine eindeutigen Aussagen zur Verfügung.
- **Faserrichtung:** Die Abbrandgeschwindigkeit quer zur Faser ist etwa doppelt so groß wie in Faserrichtung.
- **Lineares Abbrandverhalten:** Für die ISO-Normbrandbeanspruchung von Holzbau-teilen wird über die charakteristische Abbrandtiefe bis zu einer Branddauer von 90 Minuten ein linearer Ansatz angenommen. Aus Versuchen der ETH Zürich gehen hierfür teilweise sogar 110 Minuten hervor. Diesen Beobachtungen liegt der Sachverhalt zu Grunde, dass einerseits steigende Brandraumtemperatur und andererseits die steigende Wärmedämmwirkung der gebildeten Holzkohleschicht gegenläufige Effekte sind, die einander aufheben.

- **Sonderfall „konstante Raumtemperatur“:** Bleibt die Brandraumtemperatur konstant, kommt es zu einer raschen Abnahme der Abbrandgeschwindigkeit. Ein Anstieg der Raumtemperatur im Zuge eines Brandes ist jedoch der Regelfall.
- **Kohlebildung:** Der Beginn der Brandbelastung kann bei ISO-Normbrandbeanspruchungen dem Beginn der Kohlebildung gleich gesetzt werden, da die Zeit bis zur Kohlebildung in der Regel nur wenige Minuten beträgt und somit vernachlässigbar klein ist.
- **Holzfeuchte:** Mit zunehmender Holzfeuchte nimmt die Abbrandgeschwindigkeit ab. Nach *Lache* [27] weisen Hölzer mit einer Holzfeuchte von 20% ein um etwa 10% reduziertes Abbrandverhalten auf, als das bei einer Holzfeuchte von 8% der Fall ist. Für die praktische Anwendung ist diese Abnahme aber von verhältnismäßig geringer Bedeutung.
- **Risse und Klüfte:** Im Vollholzquerschnitt kommen oft Schwindrisse vor, die sich ungünstig auf das Abbrandverhalten auswirken, da sie die Angriffsfläche vergrößern und es durch das in den Querschnitt eindringende Feuer zu einer zusätzlichen Schwächung des Inneren kommt. Daher wird dem praktisch rissfreien Brettsperrholz eine geringere Abbrandrate zugeschrieben, als vergleichbarem Nadelholz.
- **Verformungen:** Bereiche mit hohen Vorverformungen der Holzfaser infolge mechanischer Beanspruchung (zum Beispiel die Unterseite eines Balkens in Feldmitte) besitzen aufgrund der Dehnung und der erhöhten Längszugspannung in den Fasern eine größere Abbrandgeschwindigkeit, als jene Bereiche, die einer geringeren Beanspruchung unterliegen.
- **Sauerstoff:** Die Brandraumatmosfera ist grundsätzlich von großer Bedeutung für die Dauer eines Brandes. Eine ausreichende Sauerstoffzufuhr ist somit Grundvoraussetzung für das Fortschreiten des Abbrandes
- **Abbrandmessung:** Als Bezugsebene zur Messung der Abbrandgrenze wird die durch Temperatureinwirkung braun verfärbte, aber noch nicht vollständig zu Holzkohle umgesetzte Schicht genommen.

In der Literatur findet man für die Bemessung oft unterschiedliche standardisierte Abbrandraten. Als gebräuchlicher Wert werden meist 0,65mm/min genannt, was einer typischen Abbrandgeschwindigkeit von Nadelholz entspricht. Die *ÖNORM EN 1995-1-2* [35] beschreibt die Bemessung von Holzbauteilen und Holzbaukonstruktionen bei Brandbeanspruchung unter Einheitstemperatur. Hinsichtlich Abbrandverhalten wird zwischen dem Bemessungswert der ein-dimensionalen Abbrandrate β_0 und dem Bemessungswert der ideellen Abbrandrate β_n unterschieden. Für ein einseitiges Verhalten, wie es beispielsweise beim Brand einer Massivholzdecke vorkommt, wird β_0 herangezogen. Bei Stützen und Balken, die häufig einer mehrseitigen Feuerbeanspruchung ausgesetzt sind, wird durch die Verwendung von β_n die Abbrandrate erhöht,

wobei hier auch zusätzliche Effekte der Eckausrundungen, sowie der erhöhten Rissbildung zum Tragen kommen.

Es gibt zwei gängige Möglichkeiten zur Bestimmung des Abbrandes eines Versuchskörpers. Bei der einfacheren und international gebräuchlicheren Methode erfolgt lediglich eine einmalige Messung nach Versuchsende. Dabei wird die verkohlte Schicht entfernt und die verbleibende Restquerschnittsbreite gemessen. Die Abbrandrate wird schließlich über die Versuchsdauer und die Differenz aus ursprünglichem Querschnitt und Restquerschnitt ermittelt. [06]

$$d = \beta \cdot t \quad (1)$$

| | | |
|---------|-----|----------------------|
| d | ... | Abbrandtiefe [mm] |
| β | ... | Abbrandrate [mm/min] |
| t | ... | Zeit [min] |

„Die zweite aufwendigere Methode, welche den großen Unterschied der Festigkeit von Holz und Holzkohle nutzt, ist die kontinuierliche Messung des Abbrandes während der Brandbeanspruchung. Dabei wird ein Messfühler mit einem genau definierten Druck durch die Holzkohle gedrückt und an der unverkohlten Grenzschicht zurückgehalten. Dieses Messprinzip wurde von *Knublauch* [25] entworfen und auch von *Lache* [27] verwendet. Die Ergebnisse aus der kontinuierlichen Messmethode wiesen für die Abbrandgeschwindigkeit immer geringfügig höhere Werte auf, als aus der einmaligen Messung nach Versuchsende. Der Unterschied wurde von *Knublauch* und *Lache* auf das Einbrennen des Messfühlers ins Holz zurückgeführt.“⁵

2.1.5 Einfluss der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften von Holz

Die Temperatur des Materials hat zusammen mit anderen Kenngrößen unmittelbaren Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von Holz. Untersuchungen von Zug-, Druck-, Biege-, und Scherfestigkeitsverhalten im Brandfall waren in der Vergangenheit häufig Thema von Forschungsarbeiten. Dabei fallen die Ergebnisse in Abhängigkeit von den gewählten Randbedingungen oft sehr unterschiedlich aus. Insbesondere die Einstellung von äquivalenten Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen ist sehr schwierig, da bereits minimale Abweichungen unterschiedliche Messergebnisse hervorbringen. Bei Proben in Bauteilgröße sind einheitliche Ergebnisse somit selbst bei sorgsamer Versuchsdurchführung nur schwer zu erreichen. [48]

⁵ [06] Frangi A., (2001), S6

2.1.5.1 Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit von Holz wird überwiegend durch die Zellulosefasern bestimmt, die den Hauptbestandteil des Holzgefüges ausmachen und ab einer Temperatur von etwa 200°C kontinuierlich abgebaut werden. Der Festigkeitsverlust geht somit mit der starken Gewichtsabnahme einher, im darunter liegenden Temperaturbereich sind die strukturellen Veränderungen vergleichsweise gering. Durch diesen Sachverhalt stellt sich eine bilineare Festigkeitsabnahme ein. [48]

In der *ÖNORM EN 1995-1-2* [36] ist der Abbau der Zugfestigkeit ebenso als bilineares Temperatur-Zugfestigkeitsdiagramm dargestellt, allerdings erfolgt der Bilinearitätsknick bereits bei 100°C, wobei die Festigkeit dabei 63% der Ausgangsfestigkeit bei 20°C ausmacht. Die weitere Abnahme wird ebenfalls linear dargestellt, bis der völlige Festigkeitsverlust bei 300°C erreicht ist (*siehe Abbildung 2*).

2.1.5.2 Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit von Holz wird im Wesentlichen durch die Veränderungen des Lignins unter Temperaturbeanspruchungen bestimmt. Zuerst kommt es zu einer Erweichung und einer damit verbundenen Veränderung von glasartigem zu elastischem Verhalten, ab 160°C erfolgt eine Wiederverfestigung mit anschließender Umwandlung zu einem kohleähnlichen Stoff. Die Gewichtsreduktion durch die Umwandlung des Lignins ist relativ gering, dennoch liegt bei 300°C ein völliger Festigkeitsverlust vor. Im Gegensatz zur Zugfestigkeit ist bei der Druckfestigkeit neben den Temperaturverhältnissen vor allem auch der Feuchtegehalt des Holzes von großer Bedeutung. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Druckbeanspruchbarkeit mit steigendem Wassergehalt im Allgemeinen abnimmt. [48]

Die *ÖNORM EN 1995-1-2* [36] beschreibt für die Druckfestigkeit unter Temperatureinfluss wie auch bei der Zugfestigkeit ein bilineares Verhalten, mit einem Steigungswechsel bei 100°C. Die Abnahmeverhältnisse sind hier allerdings bedeutend größer, da bei 100°C nur mehr 25% der Ausgangsfestigkeit bei 20° Raumtemperatur aufgenommen werden können. Verantwortlich dafür sind der starke Einfluss des Kriechens und die Plastifizierung von Holz unter Druckbeanspruchung. Von dort fällt die Festigkeit linear ab, bis die Aufnahmefähigkeit ebenfalls bei 300°C gänzlich erschöpft ist (*siehe Abbildung 2*).

2.1.5.3 Biegefestigkeit

Zur Bestimmung der Biegebeanspruchbarkeit unter Temperaturerhöhung gibt es im Gegensatz zu Zug- und Druckbeanspruchungen vergleichsweise wenige Forschungsarbeiten. Auch in der *ÖNORM EN 1995-1-2* [36] sind keine unmittelbaren Beziehungen zwischen Biegefestigkeit und fortschreitender Temperaturzunahme festgelegt. Die Norm regelt lediglich die Bemessung eines

Bauteils in Abhängigkeit vom Restquerschnitt nach erfolgtem Abbrand unter Anführung eines entsprechenden Abminderungsfaktors. [48]

2.1.5.4 Schubfestigkeit

Die Abnahme der Schubfestigkeit durch den Temperaturanstieg des Holzes ist in der *ÖNORM EN 1995-1-2* [36] geregelt und darf in allgemeinen Berechnungsverfahren mit Methoden der Finiten Elemente durchgeführt werden. Auch hier verläuft die Beziehung zwischen Temperaturzunahme und Festigkeitsabnahme bilinear, wobei der Steigungswechsel analog zur Zug- und Druckfestigkeit bei 100°C erfolgt und die Festigkeitsabnahme bei 300°C als abgeschlossen gilt (siehe *Abbildung 2*).

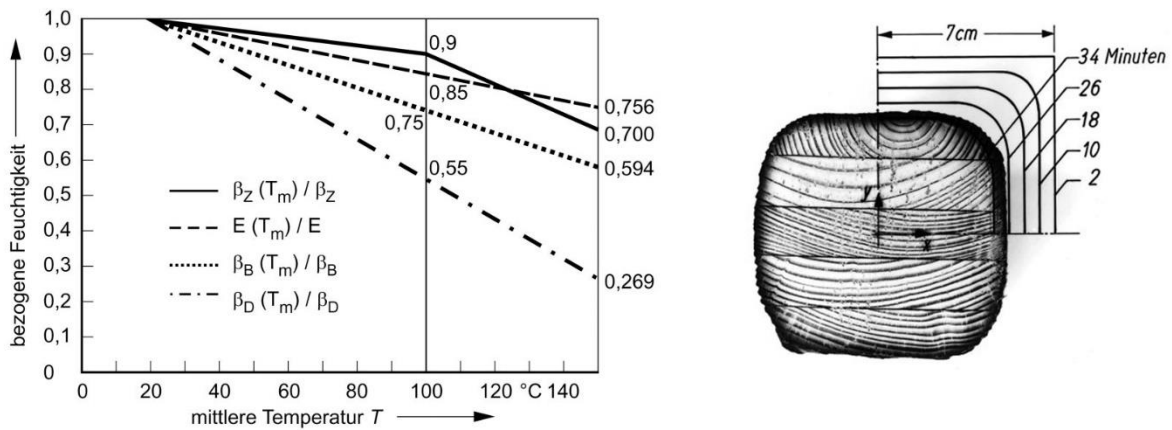


Abbildung 2: Abminderungsfaktoren für die Festigkeit von Nadelholz parallel zur Faser in Abhängigkeit von der Temperatur nach *ÖNORM EN 1995-1-2*

2.2 Holzleichtbeton

2.2.1 Einleitung

Bei Holzleichtbeton spricht man von einem Komposit- oder Verbundwerkstoff. Darunter versteht man definitionsgemäß die Zusammenführung zweier oder mehrerer Ausgangsmaterialien, die wiederum einen neuen Werkstoff bilden, der ganz eigene stoffliche und geometrische Eigenschaften mit sich bringt. Weitere gängige Werkstoffbezeichnungen für Holzleichtbeton sind die Begriffe „*Holzspanbeton*“, „*Holzfaserbeton*“ oder „*Holzbeton*“. Hinsichtlich der Nomenklatur gibt es regionale, aber oft auch herstellerspezifische Unterscheidungen. „Beispielsweise verkaufen die Hersteller *Velox* oder *Heraklith* ihre Produkte unter dem Namen „*Holzspan-Dämmplatte*“ und „*Holzwolleleichtbauplatte*“.“⁶

Die Materialzusammensetzung aus organischen und anorganischen Baurohstoffen ist keine Erfindung der jüngsten Vergangenheit, sondern lässt sich bereits auf die Mitte des 19. Jahrhunderts zurückverfolgen. Das Experimentieren mit Magnesiumoxyd und Magnesiumchloridlösungen brachte ein Bindemittel hervor, das in hohem Maße dafür geeignet war, organische Füllstoffe zu binden. Trotz erster guter Ansätze konnte sich der Einsatz des Magnesiumzements aber noch nicht durchsetzen. Erst Ende der 1890er kam es zur industriellen Fertigung von zementgebundenen Holzrestwerkstoffen in Form von Fußbodenplatten, die aus einer unter hohem hydraulischem Druck verarbeiteten Mischung aus Magnesiumzement und Sägespänen bestehen. Schließlich begann man Anfang des 20. Jahrhunderts Potential im Verbundwerkstoff zu erkennen, was unter anderem flächendeckende Errichtungen von Steinholzfabriken sowie die Ausstellung zahlreicher materialspezifischer Patente bezeugen. Unter heute kaum mehr gebräuchlichen Begriffen wie „*Steinholz*“ oder „*Sägemehlbeton*“ kam es zu einer Reihe an Anwendungen. In den 1930er Jahren wurde der speziell bei Industriebauten gebräuchliche „*Steinholzestrich*“ erstmals genormt. Dieser wurde oft auch als „*Steinholz-Stampfbeton*“ bezeichnet und kann als Vorbote für die heute gebräuchlichen Holzleichtbetone verstanden werden. [21]

Bei der Verbindung aus Holz und Zement gab es allerdings zwei wesentliche Probleme die dafür verantwortlich waren, dass vorerst noch überwiegend magnesit- und gipsgebundene Holzfaserverprodukte hergestellt wurden. Zum einen traten häufig Störungen bei der Zementerhärtung auf, zum anderen stellten sich durch den Abbindevorgang verhältnismäßig große Dimensionsänderungen ein. Zement wurde somit erst einige Jahre später zum bestimmenden Bindemittel. Nach dem zweiten Weltkrieg kam es zu einer Rohstoffverknappung, was dazu führte, dass am Baustoff Holzbeton weiter experimentiert wurde. Zu dieser Zeit fehlten allerdings noch konkrete Erkenntnisse über die Materialeigenschaften unter Änderung der stofflichen Zusammensetzung, wodurch die Verwendungsmöglichkeiten auch noch nicht ausreichend erschöpft waren. In den

⁶ [14] Kirchmayer E., (2012), S15

Folgejahren fanden verschiedenen Komposite aus organischen Füllstoffen mit anorganischen Bindemitteln vorwiegend aus Kostengründen verstärkt im Kleinwohnungsbau und in landwirtschaftlichen Bauten Anwendung. Speziell in der Deutschen Demokratischen Republik (DDR) gab es neben der hohen Nachfrage durch potenzielle Produktanwender auch das notwendige Zusammenspiel aus Politik, Recht, Technik und Umweltchemie, was zur entsprechenden Förderung der Forschungsarbeiten an Holzleichtbeton führte. Schließlich kam es zur Entwicklung hochwertiger Portlandzemente, wodurch die heute bekannte Materialqualität erzielt werden konnte. [51]

2.2.2 Materialzusammensetzung

Holzleichtbeton besteht aus den Einzelbestandteilen Zement, Sägespäne (und Sägemehl), Wasser und Additiven. Wie auch bei Normalbeton können die Werkstoffeigenschaften durch die Beimengung von Zuschlagsstoffen verändert werden. Der strukturelle Aufbau ist somit vergleichbar mit jenem von Normalbeton, nur dass anstatt der Gesteinskörnung der nachwachsende Rohstoff Holz eingesetzt wird. Laut momentanem Entwicklungsstand wird Holzleichtbeton als Holz-Zement-Wasser-Gemisch in eine eigene Baustoffklasse eingeordnet. Es gibt aber auch wissenschaftliche Arbeiten, die den Werkstoff aufgrund seines großen Anteils an Holzfasern der Gruppe der faserbewehrten Betone zuordnen.

„Beim Holzleichtbeton werden die guten baumechanischen und bauphysikalischen Eigenschaften der Baustoffe Holz und Zement miteinander kombiniert. Zement ist witterungsbeständig, fäulnis- und pilzsicher und nicht brennbar. Holz ist leicht, elastisch und gut verarbeitbar. Aufgrund der relativ geringen Masse und der hohen Festigkeit im Vergleich zu anderen Werkstoffen besitzt dieser Verbundbaustoff baupraktische Vorteile. Dies gilt hauptsächlich in Bezug auf Wärmeschutz, Schallschutz und Brandschutz.“⁷ Der Bindemittelgehalt ist mit einem Wasser-Zementwert W/Z von 0,55 bis 0,65 verhältnismäßig hoch. Ein hoher W/Z -Wert ruft im Allgemeinen jedoch folgende ungewünschte Eigenschaften hervor:

- mit zunehmenden W/Z -Wert nimmt die Festigkeit des Betons ab
- Schwinden und eine schnelle Austrocknung werden begünstigt, in der Regel sind Risse die Folge.
- Der hohe Porenanteil im Holzleichtbeton bewirkt, dass sehr große Wassermengen aufgesaugt werden können.
- In der Erhärtungsphase neigen Zementkörnchen bei dünnflüssigem Zementleim (hoher W/Z -Wert) dazu Wasser abzusondern, weil die Zementkörnchen sich absetzen. Dieser Vorgang wird auch *Ausbluten* genannt.

⁷ [51] Sonntag F., (2003), S5

Anfang der 1990er wurden an der EPFL Lausanne durch *Professor Julius Natterer* umfangreiche Untersuchungsarbeiten durchgeführt, die eindeutig belegen, dass der W/Z-Wert die primäre Einflussvariable für die Festigkeit des Werkstoffs Holzleichtbeton ist. Dabei hat der Zementgehalt insbesondere Auswirkungen auf die Druck- und Biegezeigenschaften, sowie auf den Elastizitätsmodul. Aus den entsprechenden Prüfberichten geht zudem eindeutig hervor, dass die Festigkeit durch die Erhöhung des Zementanteils kontinuierlich steigt, bis bei einem W/Z-Wert von 0,55 bis 0,57 ein Maximum erreicht ist. Bei Werten über 0,65 kommt es wiederum zu einem sehr raschen Abfall der Festigkeitskurve. Je mehr Zement für die Rezeptur verwendet wird, desto mehr gleichen sich die Materialeigenschaften jenen von reinem Zementstein an bis die Holzeigenschaften schließlich überhaupt nicht mehr zur Geltung kommen. Ein absoluter Zementanteil von $>1000 \text{ kg/m}^3$ gilt somit als nicht zweckmäßig. In **Tabelle 4** erfolgt eine Gegenüberstellung der materialspezifischen Kenndaten von vier Holzleichtbetonen mit unterschiedlicher Rezeptur. Dabei variieren die Druckfestigkeiten zwischen $1,50 \text{ N/mm}^2$ und $15,0 \text{ N/mm}^2$, die Biegezugfestigkeiten zwischen $0,60 \text{ N/mm}^2$ und $5,20 \text{ N/mm}^2$, sowie die Elastizitätsmoduln zwischen 1300 N/mm^2 und 6500 N/mm^2 . [21], [14]

| | Rezeptur 1 | Rezeptur 2 | Rezeptur 3 | Rezeptur 4 |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Rohdichte [kg/m^3] | 700 | 850 | 1300 | 1450 |
| W/Z-Wert | 1,75 | 1,09 | 0,65 | 0,60 |
| Wassergehalt [kg/m^3] | 525 | 490 | 520 | 600 |
| Zementgehalt [kg/m^3] | 300 | 450 | 800 | 1000 |
| Holzgehalt [kg/m^3] | 280 | 200 | 70 | 50 |
| Zuschlag (feine Körnung) | Nadelholz | Nadelholz | Nadelholz | Nadelholz |
| Additive/Zusatzstoffe | Keine | Keine | Keine | Keine |
| E-Modul [N/mm^2] | 1300 | 1800 | 5000 | 6500 |
| Druckfestigkeit [N/mm^2] | 1,50 | 4,20 | 13,00 | 15,00 |
| Biegezugfestigkeit [N/mm^2] | 0,60 | 1,50 | 4,50 | 5,20 |
| Wärmeleitfähigkeit [W/mK] | 0,10 | 0,21 | 0,55 | 0,65 |

Tabelle 4: Übersicht von materialspezifischen Kenndaten von Holzleichtbeton [21]

Bei den im Holzleichtbeton eingesetzten Holzspänen handelt es sich in der Regel um ein Baurestprodukt wie Hackgut, Schäl-, oder Hobelspäne, was speziell aus Herstellersicht große ökologische und ökonomische Vorteile mit sich bringt. „Der Begriff Späne, oder auch Faser, ist mit einer geometrischen Definition verbunden. Das Verhältnis von Länge zu Stärke der einzelnen Holzfasern ist von entscheidender Bedeutung für die Entstehung eines ausreichenden Haftverbundes zwischen der Zementmatrix, dem Betonzuschlag und den Holzspänen.“⁸ Die Verbindung zwischen dem Zementstein und Holzrestprodukten stellt im Fertigungsprozess eine zentrale Herausforderung dar. Speziell in der ersten Entwicklungsphase nach der Erfindung des

⁸ [51] Sonntag F., (2003), S16

Kompositwerkstoffs gab es immer wieder Schwierigkeiten bei der Herstellung, was überwiegend auf die folgenden beiden Gründe zurück zu führen war:⁹

- Die gestreckte Geometrie der Holzspäne weicht grundsätzlich von der runden Partikelform normaler und leichter Gesteinskörnung ab und erschwert die Verarbeitbarkeit des Materials.
- Holz weist zahlreiche lösliche Bestandteile wie Zucker, Stärke und Phenole auf, welche die hydraulische Reaktion des Zements verzögern oder sogar unterbinden.

Das führt zur Erkenntnis, dass nicht alle Hölzer und Zementsorten für die Herstellung geeignet sind.

2.2.2.1 Für die Herstellung geeignete Hölzer

Die Zellstruktur der unterschiedlichen Holzarten variiert teilweise stark. Zudem sind Faktoren wie Standort oder die Vegetationsperiode zu berücksichtigen, da diese selbst innerhalb einer Sorte zu erheblichen Abweichungen führen können. Allgemein kann man festhalten, dass sich wintergeschlagenes Holz für die Herstellung besser eignet, als sommergeschlagenes. „Holzarten mit hohem Gehalt an wasserlöslichen Bestandteilen sind für die Herstellung von zementgebundenen Holzwerkstoffen meist ungeeignet. Unter den wasserlöslichen Stoffen sind besonders Zucker wie Glucose, Fructose und Saccharose ungünstig, da sie störend auf die Zementabbindung wirken.“¹⁰ Die Holzarten Fichte, Tanne, Kiefer, Pappel, Tola Branca, Jarrah, Karri, Akazie, und Buche gelten als geeignet um einen zementgebundenen Werkstoff herzustellen. Dabei entspricht die Reihenfolge der Aufzählung auch der Reihenfolge des Eignungsvermögens. Bei Kiefernholz gibt es allerdings auch die weit verbreitete Gegenanschauung, dass es aufgrund seines meist hohen Harzanteils nur bedingt geeignet ist. [51] Aus ökologischer Sicht ist die Verwendung heimischer Holzarten sinnvoll. Fichte und Kiefer werden daher aufgrund ihrer großen Verbreitung am heimischen Markt sehr häufig verwendet. Beide Holzarten haben ein vergleichbares Wachstum und weisen eine ähnliche Struktur an Jahresringen auf. Daraus folgt ein fast identisches Zerspanungsverhalten, wodurch die gleichen Siebfraktionen (analog zur Sieblinie bei der Gesteinskörnung von Normalbeton) erreicht werden. Unterscheidungen gibt es allerdings im Tränkverhalten, da Kiefer im Gegensatz zur Fichte ein hohes Wasseraufnahmevermögen besitzt. [21]

Im Gegensatz zu Magnesitbindern empfiehlt sich bei hydraulischen Bindemitteln eine Vorbehandlung der organischen Zuschläge.¹¹ Dadurch sollen folgende Effekte erzielt werden:

⁹ [16] vgl. Klatt Andre, Garrecht Harald

¹⁰ [51] Sonntag F., (2003), S17

¹¹ [21] Krippner R., (2004), S33

- Erhöhung der Oberflächenbindung zwischen Zementleim und dem organischen Füllstoff
- Verringerung des Schwindmaßes bei der Erhärtung
- Verringerung der Dimensionsänderungen
- Reduktion der wasserlöslichen Zucker

Die richtige Vorbehandlung des Holzes beginnt bereits mit der Wahl des richtigen Rodungszeitpunkts und anschließend mit der ordnungsgemäßen Lagerung. Dadurch kann die Intensität des Abbaus von wasserlöslichen Bestandteilen relativ gut gesteuert werden.

Eine wichtige Variable bei der Herstellung von Holzleichtbetonprodukten ist das Wasseraufnahmevermögen der verwendeten Holzart nach erfolgter Trocknung. Dieses hat einen erheblichen Einfluss auf den W/Z-Wert und in weiterer Folge auf die Festigkeitseigenschaften des Werkstoffs. Zu unterscheiden ist daher zwischen dem *tatsächlich wirksamen Wassergehalt* und dem *Gesamtwassergehalt*. Daher gibt es auch die Bezeichnungen „*wirksamer Wasser-Zement-Wert (WW/Z-Wert)*“ und „*Gesamtwasser-Zementwert (GW/Z-Wert)*“. „Der Gesamtwassergehalt eines Holzleichtbetons umfasst das Wasser, das zur Zementleimbindung benötigt wird, und das Wasser, das von den Leichtzuschlägen aufgenommen wird. Als wirksamer Wasser-Zement-Wert wird das Gewichtsverhältnis vom Gesamtwassergehalt, abzüglich der Wassermenge, die die Späne aufnehmen, zum Zementgehalt bezeichnet.“¹² Das Wasseraufnahmevermögen eines Werkstoffes wird in der Regel dadurch bestimmt, dass eine definierte Materialmenge 30 Minuten lang in ein Wasserbad getränkt wird, dessen Inhalt ebenso bekannt ist. Die Differenz zwischen ursprünglicher Wassermenge und Restwassermenge kann als vom Werkstoff aufgenommen betrachtet werden. Der Fasersättigungsbereich vieler Holzarten beträgt bis zu 30%. Daraus folgt, dass der tatsächlich wirksame Wasser-Zement-Wert wesentlich kleiner ist, als der Gesamtwasser-Zementwert. [51]

Durch die Zugabe von Additiven lassen sich die abbindehemmenden Einflüsse der Holzpartikel durch eine entsprechende Vormineralisierung minimieren. [21] „Die Möglichkeit der Mineralisierung der Späne soll neben der Erhöhung der Oberflächenbindung das Quellen beim Anmachen des Frischbetons vorwegnehmen und somit den unerwünschten Schwindvorgängen entgegenwirken.“¹³

¹² [51] Sonntag F., (2003), S19

¹³ [51] Sonntag F., (2003), S18

2.2.2.2 Für die Herstellung geeignete Zemente

Zement ist ein anorganischer, nichtmetallischer Baustoff. „Darunter versteht man ein zur Herstellung von Beton und Mörtel verwendetes, auch unter Wasser erhärtendes hydraulisches Bindemittel, das durch Brennen von Kalk und Ton beziehungsweise von Mergel und anschließend dem Vermahlen entsteht.“¹⁴ Nicht alle gängigen Zementsorten sind für die Bindung von organischen Füllwerkstoffen geeignet.

Die wesentlichen Anforderungen an Zemente für die Produktion von Holzleichtbetonwerkstoffen sind eine hohe Kohäsionsfähigkeit, eine geringe Entmischungstendenz, ein hohes Wasserrückhaltevermögen sowie eine gute und verlängerte Verarbeitbarkeit. Über die Ursache für die zementschädigende Wirkung der Zuschläge gibt es noch keine einheitliche wissenschaftliche Erkenntnis. Es wird jedoch in allen Ansätzen davon ausgegangen, dass die löslichen Bestandteile im Holz eine Verzögerung der Zementhydratation durch die Ausbildung einer Schutzhaut auf den Klinkerphasen bewirken. Allgemein lässt sich festhalten, dass ein erhöhter Anteil an hydraulischen Bindemitteln das Eignungsvermögen begünstigt. In der Regel werden Portlandzemente (CEM I) verwendet, die durch die Vermahlung von Klinker und Anhydrit hergestellt werden. Folgende spezifischen Portlandzemente werden häufig verwendet: [51]

- **Tricalciumaluminat (C₃A)-reiche Zemente:** Durch die Klinkerphase C₃A wird die durch Zucker hervorgerufene Verzögerung der Zementhydratation absorbiert.
- **Alkaliarme Zemente:** Zemente mit einem hohen Alkaligehalt führen zu einer raschen stufenweisen Umwandlung und Abspaltung der im Holz enthaltenen Pyrolyse, was eine vergleichbare Wirkung hat, wie die aus dem Holz abgebauten monomeren Zucker. Zemente mit einem geringen Alkaligehalt rufen geringere Abbindestörungen hervor, als Zemente mit einem normalen Alkaligehalt.
- **Zemente mit hohen Frühfestigkeiten:** Schnell erhärtende Zemente sind für die Produktion von Holzleichtbetonprodukten besser geeignet, als Zemente mit einer langen Erhärtungsdauer.

2.2.3 Eigenschaften von Holzleichtbeton

Die wesentlichen Materialeigenschaften von Holzleichtbeton wurden bereits in der Diplomarbeit von *Kirchmayer* [14] zusammengefasst. Darin sind die wesentlichen Kaufargumente der Herstellerfirmen enthalten.

¹⁴ [31] vgl. Meyers Großes Taschenlexikon, (1987), S268

Vorteile:

- gute Bearbeitbarkeit (schrauben, sägen, nageln)
- geringe Wärmeleitung bei guter Atmungsfähigkeit
- ökologische Aspekte: Verwendung von Holzresten aus der Holzindustrie
- ökonomische Aspekte: Holzreste sind günstige Abfallprodukte
- kann als Platte vorgefertigt werden
- geringes Gewicht
- rasche Austrocknung

weitere positive Eigenschaften sind die gute Eignung bezüglich Schall- und Brandschutz

Als Nachteile sind folgende Aspekte zu nennen:

- nicht alle Hölzer sind gleich geeignet
- Bearbeitbarkeit ist abhängig von der Länge und Menge der Holzspäne

2.2.4 Brandschutz von Holzleichtbeton

Erzeuger aller gängigen Holzleichtbetonprodukte heben die hervorragenden brandschutztechnischen Eigenschaften als einen der wichtigsten werkstoffspezifischen Vorteile hervor. Zementgebundene Holzfaser- oder Holzspanprodukte gelten als schwer entflammbar und feuerhemmend, das Brandverhalten nach *ÖNORM EN 13501-1* [34] wird abhängig vom Bindemittelanteil durch die *Brennbarkeitsklassen A2 (kein Beitrag zum Brand) oder B (sehr begrenzter Beitrag zum Brand)* kategorisiert. Es ist allerdings zu beachten, dass dünnwandige Elemente häufig keine feuerhemmende Wirkung erzielen, und daher zusätzliche Putzschichten zu empfehlen sind.

Unbehandeltes Holz und Holzwerkstoffe leisten definitionsgemäß einen „*hinnehmenden Beitrag zum Brand*“ und werden somit der *Brennbarkeitsklasse D* zugeordnet. Die Oberflächenmineralisierung des organischen Füllstoffs Holz durch das anorganische Bindemittel Zement führt bei der Erzeugung von Holzbetonprodukten zu einer schrittweisen Versteinerung bis das Brandverhalten schließlich stark unterdrückt ist und sich beim Holzleichtbeton eine höhere Feuerwiderstandsfähigkeit einstellt.

Die an der *EPFL Lausanne* durchgeführten Untersuchungen (*vgl. Kapitel 2.2.2*) zeigen, dass bei der Materialzusammensetzung folgende Dinge zu berücksichtigen sind, um die Brennbarkeitsklasse A2 erreichen zu können: [21]

- ein Zementanteil von mindestens $300\text{kg}/\text{m}^3$ ist notwendig, um eine ausreichende Mineralisierung des Füllstoffs zu erwirken.
- der Holzmasseanteil darf 15% der Gesamtmasse nicht übersteigen.
- der W/Z-Wert ist für eine gleichmäßige Umhüllung der Holzpartikel von großer Bedeutung und sollte zwischen 0,55 und 0,65 liegen.

Für Holzleichtbeton ist im Brandfall eine geringe Rauchentwicklung und Giftigkeit der entweichenden Gase zu erwarten. „Unter Berücksichtigung statischer Erfordernisse und bei ausreichenden Mischungsverhältnissen kann Holzleichtbeton unter anderem für tragende und aussteifende Wände im Mehrgeschoßwohnungsbau [...] eingesetzt werden. Allerdings sind zur brandtechnischen Beurteilung solcher Wandkonstruktionen Normprüfungen [...] durchzuführen.“¹⁵

2.2.5 Plattenwerkstoffe aus Holzleichtbeton

Laut *Krippner* [21] ist Holzleichtbeton in einer vereinfachten, überschlägigen Abschätzung gegenüber Normalbeton als etwa ein Drittel teurer einzustufen. Das liegt in erster Linie am hohen Bindemittelanteil und an der Tatsache, dass die beim Normalbeton verwendete Gesteinskörnung vergleichsweise kostengünstig ist. Leichtbeton hingegen ist aufgrund der Verwendung von hochfesten Zuschlägen wie Blähton als etwa ein Drittel teurer einzustufen.

Weltweit werden mineralisch gebundene Faserwerkstoffe von vielen kleinen und mittelgroßen Firmen, sowie von mehreren Großkonzernen hergestellt. Neben plattenförmigen Bauprodukten werden vor allem Holzmantelbetonsteine, Fertigteil- und Halbfertigteilelemente, Schallschutzelemente, sowie Sonderprodukte hergestellt. Mittlerweile gibt es eine reichhaltige Produktpalette die sich stetig erweitert. Dazu zählen neben Erzeugnissen aus Holzleichtbeton und zementgebundener Holzwolle auch lehmgebundene Faserwerkstoffe, die in der westlichen Welt jedoch eine untergeordnete Rolle spielen. Der Einsatz von organischen Fasern ist häufig auf das wachsende ökologischen Bewusstseins zurück zu führen. Die guten ökologischen Aspekte werden auch von den Herstellern als zentrales Verkaufsargument beworben. [53]

In der Literatur gibt es unterschiedliche Ansätze bei der Einteilung von Holzbetonprodukten. Mögliche Kategorisierungen sind in der Diplomarbeit von *Stöllinger* [53] zusammengefasst. So teilt *Sarja* [45] die Holzbetone in Abhängigkeit von der Rohdichte in vier Klassen ein:

- **Zementgebundene Holzwolle** (wood wool cement): 350 bis $600\text{kg}/\text{m}^3$, Holzfasern bis 80mm Länge

¹⁵ [21] Krippner R., (2004), S54

- **Zementgebundener Hackspan** (wood chip cement): 400 bis 600kg/m³, kurze Späne bis 20mm Länge
- **Zementgebundener Holzpartikel-Beton** (wood particle cement): 1000 bis 1200kg/m³, kurze Späne bis 20mm Länge
- **Konstruktionsbetone mit Holzfasern**: 1200 bis 2000kg/m³, kurze Späne bis 30mm Länge

Die in Mitteleuropa am häufigsten verwendeten Plattenerzeugnisse werden den ersten beiden Klassen zugeordnet. „Zementgebundene Holzwoleplatten“ werden häufig als „Holzwoleleichtbauplatten“ bezeichnet, der gängige Terminus für „zementgebundene Hackspanplatten“ ist in der Praxis „Holzspanplatten“. „Zementgebundene Holzpartikelbetone“, sowie „Konstruktionsbetone mit Holzfasern“ sind ebenso als „Holzspanplatten“ zu verstehen, diese weisen jedoch einen hohen Bindemittelgehalt und somit eine höhere Dichte auf.

2.2.5.1 Holzwoleleichtbauplatten (zementgebundene Holzwoleplatten)

Der Grundstein für die heute verwendeten Holzwoleleichtbauplatten wurde Anfang des 20. Jahrhunderts in Wien gelegt. Im Jahr 1908 kam es zur Ausstellung des Patents für „Magnesium gebundene Holzwoleplatten“. Diese gingen schließlich zwei Jahre später unter dem auch heute noch sehr weit verbreiteten Markennamen *Heraklith* in Serienproduktion. Ende der 1920er Jahre wurde anstelle des Magnesiums erstmals Portlandzement als Bindemittel verwendet. [09]

Die Platten werden aus einem schwach verdichteten Gemisch aus Holzwole und mineralischem Bindemittel (Zement oder Magnesit) hergestellt. Die Gewinnung von Holzwole erfolgt in erster Linie aus Fichte und Kiefer. Die Hölzer werden dabei zu langen, gewellten, meist ineinander verknäulten Fasern gehobelt, die in der Regel 0,03 bis 0,4mm dick und zwischen 50 und 80mm lang sind. [31] Um die im Holz enthaltenen Stärke und den Zucker zu reduzieren, erfolgt vor der Verarbeitung zu Dämmplatten die Lagerung, wobei die Dauer von der Holzart abhängt. „Bei manchen Herstellungsprozessen wird, vor allem bei der Herstellung von bestimmten Harthölzern, die Holzwole zusätzlich über Nacht ins kalte Wasser getränkt, um die löslichen kurzkettigen Zucker und andere störende Inhaltsstoffe des Kernholzes heraus zu lösen.“¹⁶ Häufig findet auch eine Vorbehandlung durch Kalziumchlorid statt. Schließlich wird die Holzwole luftgetrocknet und zur Verarbeitung im Verhältnis 2:1 bis 1:1 mit Zement vermischt. [53] Bei der Verarbeitung des Verbundwerkstoffs wird über den Pressdruck der Verdichtungsgrad und die Festigkeit des Werkstoffs gesteuert. Üblicherweise haben Holzwoleleichtbauplatten eine relativ geringe Dichte (~400kg/m³), eine geringe Wärmeleitfähigkeit von (~0,18-0,35W/mK), sowie gute Schalldämmeigenschaften. Sie sind resistent gegen Pilze, Fäulnis, sowie tierische

¹⁶ [53] Stöllinger W., (2013), S69

Schädlinge, gelten als guter Putzträger und werden häufig aus Gründen des Schall- und Brandschutzes, sowie zu Dämmzwecken verwendet. [14] Im Holzbau werden Holzwolleleichtbauplatten in erster Linie als Putzträger außen und als feuerfeste Beplankung innen verwendet. Der Werkstoff gilt als ökologisch unbedenklich und daher als gut deponierbar. Er kann zur Weiterverwendung gemahlen werden, wodurch man Basisstoffe für neue Zementprodukte erhält. Die Platten eignen sich auch zur Kompostierung, dabei verrotten die organischen Inhaltsstoffe und der Zement sorgt für eine Erhöhung des Sauerstoffniveaus, was wiederum den Verrottungsprozess beschleunigt. Dabei ist allerdings drauf zu achten, dass das Material frei von Verbindungsmitteln wie Schrauben und Nägel, sowie anderen Verunreinigungen ist.

2.2.5.2 Holzspanplatten (zementgebundene Hackspanplatten)

Im Jahr 1932 wurde die Spanplatte durch den deutschen Tischler *Max Himmelheber* erfunden, der sich bereits im Kindesalter mit der Verwertung von Holzabfällen auseinander setzte. Es gelang ihm schließlich, Holzrestprodukte nutzbar zu machen, wodurch über 80% des gefällten Holzes weiter verarbeitbar waren. Bis dahin konnte man lediglich etwa 40% nutzbar machen. Die ersten Hochleistungserspaner kamen in mehreren Fabriken weltweit zum Einsatz, als Bindemittel verwendete man damals allerdings noch keinen Zement sondern Leim. Himmelhebers Erfindung veränderte in erster Linie die Möbelbranche, brachte aber auch wichtiges Knowhow für die Technologie der zementgebundenen Hackspanplatte. [04] 1956 wurde im österreichischen Maria Rojach das Familienunternehmen *Velox* gegründet, das bis heute Plattenerzeugnisse mit den Abmessungen 200x50cm produziert. Diese finden speziell im mehrgeschossigen Hochbau, bei Lärmschutzwänden, Sichtschutzwänden und als Fertigschalungen für den Bau Anwendung. [59] Neben dem Begriff „*Veloxplatte*“ existieren auch zahlreiche andere Produktbezeichnungen wie „*Duripanel*“ (Firma: *Eternit, Vöcklabruck/AUT*), „*Amroc Panel*“ (Firma: *Amroc Baustoffe, Magdeburg/GER*), „*Cetris Basic*“ (Firma: *Cetris, Hranice/CZE*).

2.3 Verbundbau

Die Verbundbauweise kombiniert die positiven Eigenschaften zweier oder mehrerer Materialien und eröffnet damit erweiterte Einsatzmöglichkeiten im Bauwesen. Dabei erfolgt eine Zusammenführung zu einem Werkstoff oder einem Konstruktionselement, wobei sich im Optimalfall die Schwächen der eingesetzten Komponenten aufheben. Es wird meist ein deutlich verbessertes Duktilitätsverhalten, sowie eine erhöhte Tragfähigkeit erzielt. Sehr häufig besteht die Möglichkeit, Bauteilabmessungen weitgehend zu reduzieren.

Ein besonders wichtiges Thema, das im Zusammenhang mit dem Verbundbau steht, ist der Brandschutz. Für eine optimale Einstufung vieler Werkstoffe in eine Feuerwiderstandsklasse nach *ÖNORM EN 13501-2 bis 5* [34] müssen häufig entsprechende Schutzmaßnahmen (z.B.: Verkleidungen oder Spritzputze) getroffen werden.

In Abhängigkeit von Geometrie und Zusammensetzung werden allgemein folgende Verbundarten unterschieden:

- **Teilchenverbundwerkstoffe (Dispersionswerkstoffe)** z.B.: Duroplaste, Sinterwerkstoffe, Sinterhartmetalle
- **Faserverbundwerkstoffe** z.B.: Stahlbeton, Faserbeton, Holzfaserbeton, Stahlfaserbeton, glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK)
- **Schichtverbundwerkstoffe (Laminate)** z.B.: Verbundplatten, Verbundrohre, Sandwich-Konstruktionen, Bimetalle
- **Strukturverbundwerkstoffe** z.B.: Stahl-Beton Verbundkonstruktionen, Holz-Stahl Verbundkonstruktionen, Holz-Beton Verbundkonstruktionen

Die für den Hochbau in erster Linie relevanten Verbundsysteme sind Schichtwerkstoffe und Strukturverbundwerkstoffe. Dabei ist insbesondere die Rede von Stützen, Trägern und Decken aus den strukturellen Verbindungen Stahl-Beton, aber auch Holz-Beton.

Baukonstruktionen aus Holz werden häufig mit mineralischen Werkstoffen kombiniert. Dabei entstehen Verbindungen wie Holz-Beton-Verbundelemente zu denen beispielsweise Platten- oder Balkendecken gehören, wobei jede Komponente dabei in der Regel auch konstruktiv wirksam wird.

„Eine andere Möglichkeit besteht darin die Holzbauteile brandschutztechnisch zu bekleiden (kapseln), um diese vom Feuer zu schützen z.B. mit Gipskartonfeuerschutzplatten.“¹⁷ Dabei übernimmt die Bekleidung vornehmlich die Rolle des reinen Feuerschutzes. In der momentan

¹⁷ [15] Kist M., (2013), S12

ebenfalls am *Institut für Architekturwissenschaften, Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau* verfassten Diplomarbeit mit dem Titel *Tragverhalten der Wandkonstruktionen aus Massivholz-Holzleichtbeton-Verbundbauweise* von *Sepehr Setoodeh* wird untersucht, ob die an sich spröden Holzspanplatten als Bekleidungsmaterial nennenswerte Reserven zur Stabilisierung der Holzkonstruktion aufweisen.

In dieser Diplomarbeit erfolgt eine Untersuchung von Holzwandkonstruktionen mit dem primären Ziel, für diese durch vollständige Kapselung der gesamten Oberfläche eine höhere Brandresistenz zu erzielen. Dabei kommt Brettsperrholz (BSP) als tragendes Konstruktionselement, sowie zementgebundene Holzspanplatten (Holzleichtbeton) als Beplankung zum Einsatz. Beide Komponenten werden mittels Kleber oder Schrauben kraftschlüssig miteinander verbunden und ergeben zusammen einen schichtweisen Strukturverbund. Dabei ist die zementgebundene Holzspanplatte in sich schon als Verbundwerkstoff (Faserverbund) zu verstehen, bei dem Zement die Aufgabe des Bindemittels übernimmt das bei entsprechender Dosierung zur vollständigen Mineralisierung des Füllstoffes Holz führt. Dieses wiederum macht es möglich, einen relativ leichten Verbundwerkstoff herzustellen und trägt –verglichen mit anderen Betonen- zu einem guten Dämmvermögen bei.

2.4 Brand

2.4.1 Verbrennung und Brandentstehung

Die Verbrennung ist ein chemischer Vorgang durch den brennbare Stoffe unter Zuführung von Wärme mit Sauerstoff reagieren. Man spricht dabei von einem Sonderfall der Oxidation, der Feuer als Begleiterscheinung verursacht. „Brennbare Stoffe sind gasförmige, flüssige oder feste Stoffe, einschließlich Dämpfe, Nebel und Stäube, die im Gemisch oder in Kontakt mit Luft oder Sauerstoff zum Brennen angeregt werden können.“¹⁸ „Dabei handelt es sich meistens um organische Verbindungen, d.h. um Kohlenwasserstoffverbindungen, bei deren Oxidation eine Pyrolyse stattfindet.“¹⁹

Unter Bildung von Gasen kommt es zu einer thermischen Zersetzung, durch die sich Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H) aus ihrem Aggregatzustand lösen. Erst diese elementare Reinform ist Voraussetzung für eine hohe Reaktionsfreudigkeit und die Verbindung der freigesetzten Wasserstoff- und Kohlenstoffmoleküle mit dem Sauerstoff zu Wasser (H₂O) bzw. Kohlendioxid (CO₂). Der ablaufende chemische Prozess setzt schließlich Reaktionswärme frei. Kann diese nicht abgeführt werden, kommt es zu einem Wärmestau und das Material erwärmt sich weiter, bis dessen Oberfläche die Zündtemperatur erreicht hat und die Zündung erfolgt. In weiterer Folge findet eine Überlagerung der thermischen Zersetzung mit der Verbrennungswärme statt, wodurch die Oberflächentemperatur des brennbaren Stoffes zusammen mit seiner unmittelbaren Umgebung ansteigt, bis die Mindestverbrenntemperatur erreicht ist. [02]

Dabei sind die Begriffe *Zündtemperatur* und die *Mindestverbrenntemperatur* wie folgt definiert:

- Die *Zündtemperatur* ist jene Temperatur, die notwendig ist, um die Oberfläche eines Stoffes zu erwärmen, damit er unter normalen Umgebungsbedingungen bei Berührung mit Sauerstoff gerade noch zum Brennen angeregt wird.
- Die *Mindestverbrennungstemperatur* ist jene Temperatur, die notwendig ist, damit ein Verbrennungsvorgang selbstständig aufrechterhalten werden kann. Dabei wird einerseits Energie in Form von Wärme abgegeben, andererseits kommt es als gegensätzlicher physikalischer Effekt zu einer neuerlichen Bereitstellung von neuer Energie. [02]

Damit eine Verbrennung stattfinden kann, müssen zusammengefasst folgende Bedingungen gegeben sein:

- *brennbarer Stoff* mit entsprechender Entzündbarkeit und geeigneter Form.

¹⁸ [44] Rempe A. (2001), S17

¹⁹ [02] Bock H. M., Klement E. (2011), S14

- *Sauerstoff*: als Oxidationsmittel der Verbrennung muss ungehinderten Zugang zum brennbaren Stoff haben und in ausreichender Menge vorhanden sein.
- *Zündenergie*: Der Verbrennungsvorgang benötigt einen energetischen Anstoß. Die Zündenergie muss also so groß sein, dass der brennbare Stoff seine Zündtemperatur bzw. seinen Flammpunkt (bei Flüssigkeiten) erreicht.
- *Mengenverhältnis*: Ein brennbarer Stoff kann nur dann mit Sauerstoff reagieren, wenn das Mengenverhältnis stimmt. Das Mengenverhältnis ist abhängig vom Stoff.

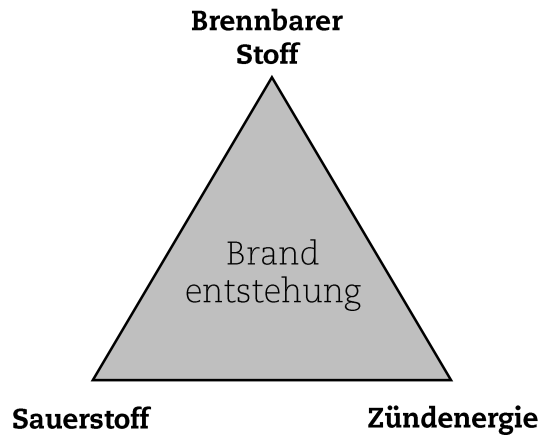


Abbildung 3: Branddreieck als Darstellung der Voraussetzungen für die Brandentstehung [2]

Die Voraussetzungen für die Brandentstehung werden in der Literatur gerne vereinfacht mittels Branddreieck dargestellt. Dabei sind sowohl stoffliche, als auch energetische Voraussetzungen gleichzeitig notwendig. Die stofflichen Voraussetzungen beziehen sich auf ein reaktionsfähiges Material (Sauerstoff als Oxidationsmittel der Verbrennung) und ein zündfähiges Mischungsverhältnis. Die notwendige Zündenergie bzw. Zündtemperatur, sowie die Mindestverbrennungstemperatur fallen unter die energetischen Voraussetzungen.

2.4.2 Brandlast

Als Brandlast wird jene Energie (kWh) bezeichnet, die bei der Verbrennung freigesetzt wird. Es erfolgt eine Energiebetrachtung je Quadratmeter Fläche, wodurch als Einheit für die Brandlast kWh/m² folgt. In der Regel werden einzelne Nutzungsbereiche oder Brandabschnitte betrachtet, wobei die Brandlast die Summe aller brennbaren Stoffe darstellt, unabhängig davon ob diese Bestandteile des Gebäudes oder der Einrichtung sind.

Die Brandlast beschreibt jene Wärmemenge, die bei der Verbrennung freigesetzt wird. Sie ist ein wichtiges Kriterium zur Festlegung der Maßnahmen des baulichen Brandschutzes. Je größer die Brandlast in einzelnen Räumen oder in einem Gebäude ist, umso höher sind die Anforderungen an den baulichen Brandschutz. Grenzt beispielsweise ein Bürogebäude unmittelbar an

eine Holzlagerhalle an, so liegt eine vergleichsweise große Brandlast vor. Folglich sind hohe Anforderungen an den Brandschutz zwischen beiden Gebäudeeinheiten zu treffen. Werden nebenan hingegen mineralische Erzeugnisse, wie zum Beispiel Fliesen oder Natursteine gelagert, so ist die Brandlast als gering einzuschätzen und es sind geringere brandschutztechnischen Maßnahmen zu treffen. [01]

2.4.3 Brandentwicklung und Brandphasen

Schematisch lässt sich ein typischer Brandverlauf entsprechend *Abbildung 4* in zwei Stufen unterteilen. Dabei stellt die erste Stufe den Verlauf zu Beginn der Brandentstehung dar und beschreibt die Entzündungsphase und die Schmelbrandphase. Der Übergang zur zweiten Stufe erfolgt durch einen Feuerübersprung (flash over) und beschreibt schließlich den eigentlichen Vollbrand. Die Temperaturentwicklung der Erwärmungsphase des Vollbrandes wird in einem genäherten Modell für Baustoffprüfungen verwendet und dient als Grundlage für die Einheits-temperaturzeitkurve (siehe *Abschnitt 3.2.2*)

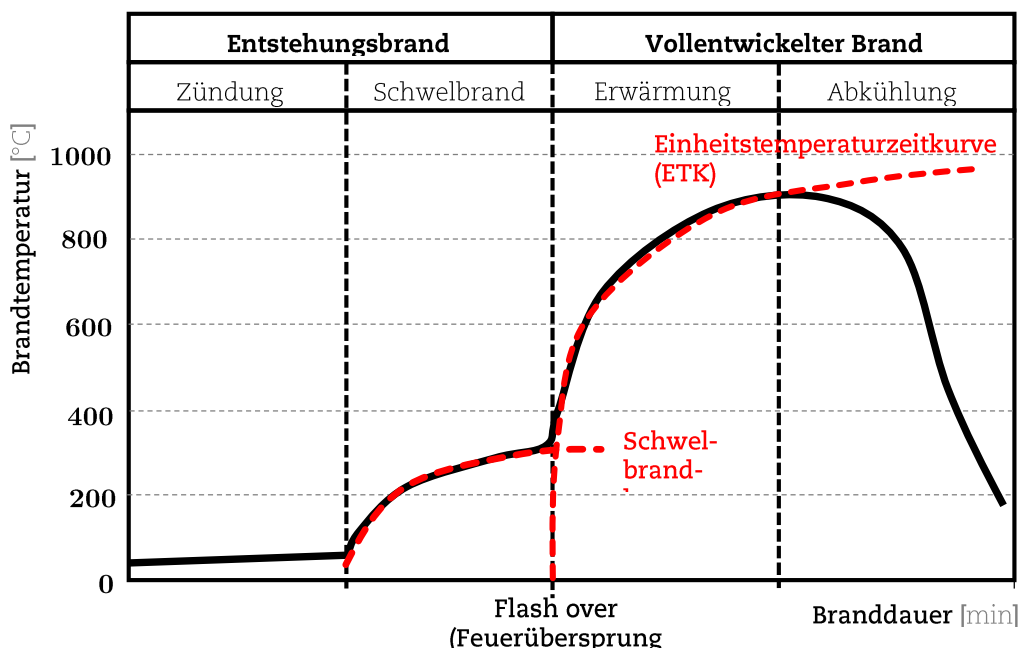


Abbildung 4: Schematische Darstellung der typischen Brandphasen [2]

2.4.4 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

2.4.4.1 Klassifizierung für Baustoffe

Baustoffe werden hinsichtlich ihres Brandverhaltens unterschiedlichen Stoffgruppen zugeordnet, die wiederum maßgebend für die zu verwendenden Löschmittel und Löschmaßnahmen sind. Die meisten Bauprodukte, die in Europa verkauft werden, müssen mittels Single Burning

Item (SBI) Prüfverfahren nach der *ÖNORM 13823* getestet sein. Dabei wird der Versuchswerkstoff einem Flammangriff durch einen Propangasbrenner in einer Sandkiste unterzogen. Das Prüfmuster befindet sich auf einem Rollwagen, der unterhalb eines Rauchabzuges positioniert wird. Die Ergebnisse werden instrumentell und visuell aufgezeichnet. Alle Europäischen Mitgliedsstaaten sind dazu verpflichtet, diese Methode an Stelle ihrer jeweiligen nationalen Regulierungen zu verwenden. [46]

| Österreichische Brennbarkeitsklasse nach ÖNORM B 3800-1 | | Europäische Brennbarkeitsklassen nach EN 13501-1 |
|--|---|--|
| A (nicht brennbar) B1 (schwer brennbar) B2 (normal brennbar) B3 (leicht brennbar) | ⇒ | A1 (kein Beitrag zum Brand) A2 (kein Beitrag zum Brand) B (sehr begrenzter Beitrag zum Brand) C (begrenzter Beitrag zum Brand) D (hinnehmender Beitrag zum Brand) E (hinnehmbares Brandverhalten) F (keine Flammenwidrigkeit) |
| Österreichische Qualmbildungsklasse nach ÖNORM B 3800-1 | | Klassifizierung der Rauchentwicklung nach EN 13501-1 |
| Q1, Q2, Q3 (schwach, normal, stark qualmend) | ⇒ | s1, s2, s3 (schwach, normal, stark qualmend) |
| Österreichische Tropfenbildungs-klasse nach ÖNORM B 3800-1 | | Klassifizierung des brennenden Abtropfens/Abfallens nach EN 13501-1 |
| Tr1, Tr2, Tr3 (nicht tropfend, tropfend, zündend tropfend) | ⇒ | d0, d1, d2 (nicht tropfend, tropfend, zündend tropfend) |

Tabelle 5: Österreichische und europäische Brennbarkeitsklassen und Brandnebenerscheinungen [42]

In Österreich erfolgte in der Vergangenheit die Einteilung der Baustoffe hinsichtlich ihrer Brennbarkeit gemäß *ÖNORM B 3800-1* [35] in die beiden Brennbarkeitsklassen A (nicht brennbar) und B (brennbar), welche noch weiter unterteilt wurde. Anfang 2004 wurde die *ÖNORM B 3800-1* zurückgezogen und durch die *ÖNORM EN 13501* [34] ersetzt. „Die Europäische Regelung der Brennbarkeitsklassen umfasst sieben Klassen - A1, A2, B, C, D, E, F für Wand- und Deckenbekleidungen und ebenso sieben Klassen für Bodenbeläge [...] sowie zahlreiche neue

Prüfbestimmungen.²⁰ Außerdem erfolgt eine Einteilung der Baustoffe hinsichtlich ihrer Brandnebenerscheinungen. Dabei wird die Rauchentwicklung mit s1, s2, s3 (smoke) und das Abtropfverhalten mit d0, d1, d2 (droplets) bezeichnet.

2.4.4.2 Klassifizierung für Bauteile

Das Brandverhalten eines Bauteils ist von dessen Typ und von der materiellen Zusammensetzung abhängig. Vor allem tragende Bauteile müssen möglichen Vollbränden über einen vorgegebenen Zeitraum standhalten können. Die Dauer variiert dabei je nach Anwendungsbereich und Verwendungszweck der jeweiligen Gebäude. Vor der in Minuten angegebenen Minimaldauer (üblich sind Dreißigerschritte, d.h. 30, 60, 90, 120 Minuten, etc.) steht ein Buchstabe bzw. eine Folge von Buchstaben, die das Bauteil entsprechend seiner Eigenschaften charakterisieren.

Folgende Leistungsmerkmale sind laut *ÖNORM EN 13501-2 bis 5* [34] relevant:

| | |
|----------|---|
| R | Tragfähigkeit |
| E | Raumabschluss (Étanchèité) |
| I | Wärmedämmung (Isolation) |
| W | Strahlung (Radiation) |
| M | Widerstand gegen mechanische Beanspruchung (Mechanical) |
| C | Selbstschließende Eigenschaft (Closing) |
| S | Rauchdichtheit (Smoke) |
| G | Widerstandsfähigkeit gegen Rußbrand |
| K | Brandschutzfunktion (Bekleidungen) |

Die wichtigsten Bezeichnungen für tragende Bauteile sind:

| | |
|----------|---|
| R | Tragfähigkeit Ist die Fähigkeit eines Baustoffes, unter festgelegten mechanischen Einwirkungen unter Brandbeanspruchung auf einer oder mehreren Seiten ohne Verlust der Standsicherheit für eine Dauer zu widerstehen. Kriterien: Durchbiegung, Verformung, Stauchung |
| E | Raumabschluss (Étanchèité) Ist die Fähigkeit des Bauteils mit raumtrennender Funktion der Beanspruchung eines nur an einer Seite angreifenden Feuers so zu |

²⁰ [42] Pech A., Pöhn C. (2004), S119

widerstehen, dass ein Feuersdurchtritt zur unbeflammten Seite als Ergebnis des Durchtritts von Flammen oder heißer Gase verhindert wird.

Kriterien: Spalten und Öffnungen, die über bestimmte Abmessungen hinausgehen, andauernde Entflammung auf der dem Feuer abgewandten Seite.

| | |
|----------|---|
| I | <p>Wärmedämmung (Isolation)</p> <p>Ist die Fähigkeit eines Bauteils, die Übertragung von Feuer so weit einzudämmen, dass auf der dem Feuer abgewandten Seite des Bauteils Personen nicht gefährdet und dort befindliche Materialien nicht entzündet werden.</p> <p>Kriterien: Mittlere Temperaturerhitzung max. 140°C, maximale Temperaturerhitzung 180°C</p> |
| K | <p>Brandschutz (Kapselung)</p> <p>Ist die Fähigkeit einer Bekleidung das dahinter befindliche Bauteil über eine vordefinierte Zeit vor Entzündung oder Verkohlung zu schützen.</p> <p>Kriterien: Mittlere Temperaturerhitzung max. 250°C, maximale Temperaturerhitzung 270°C, keine Verkohlung</p> |

Allgemein gilt für tragende Bauteile:

| | |
|------------------|---|
| REI „ttt“ | <p>„ttt“ ist die Klassifizierungszeit, während der alle Kriterien (Tragfähigkeit R, Raumabschluss E und Wärmedämmung I) erfüllt werden, z.B.: <i>REI 30, REI 60, REI 90, ...</i></p> |
| RE | <p>„ttt“ ist die Klassifizierungszeit, während der die Kriterien Tragfähigkeit R und Raumabschluss E erfüllt werden, z.B.: <i>RE 30, RE 60, RE 90, ...</i></p> |
| R | <p>„ttt“ ist die Klassifizierungszeit, während der das Kriterium Tragfähigkeit R erfüllt wird, z.B.: <i>R 30, R 60, R 90, ...</i></p> |

Bei mehreren Merkmalen muss die angegebene Zeit die des Merkmals mit der kürzesten Zeit sein.

Beispiel: Ein Bauteil mit einer Tragfähigkeit von 135 Minuten ($120 < 135 < 180$ Minuten), einem Raumabschluss von 80 Minuten ($60 < 80 < 90$ Minuten), und einer Wärmedämmung von 58 Minuten ($30 < 58 < 60$ Minuten), erhält folgende Klassifizierungen: **R 120/E 60/EI 30**.

2.4.5 Das Kapselkriterium K₂60 nach ÖNORM EN 13501-2

„Die Brandschutzwirkung „K“, auch Kapselkriterium genannt beschreibt die Fähigkeit das hinter der Bekleidung befindliche Material z.B.: Holz vor Entzündung oder Verkohlung über eine vordefinierte Zeit zu schützen.“²¹ Die Zahl „60“ steht für die Widerstandsdauer in Minuten.

Die OIB-Richtlinie schreibt für Brandschutzkonzepte im innerstädtischen Raum vor, dass tragende und raumabschließende Bauteile aus Holz hinsichtlich der Brandresistenz ein vergleichbares Schutzniveau aufzuweisen haben, wie das beim Bauen mit Stahlbeton der Fall ist. Konkret bedeutet das ein Erreichen der Euroklasse A2 (kein Beitrag zum Brand), sowie keine Beeinträchtigung von Tragfähigkeit, Raumabschluss und Dämmwirkung über einen für die entsprechende Bauklasse vorgeschriebenen Zeitraum.

| Gebäudeklasse (GK) | GK 1 | GK 2 | GK 3 | GK 4 | GK 5 |
|---|--------|--------|--------------|----------------------|----------------------|
| tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände) | | | | | |
| im obersten Geschoß | - | R 30 | R 30 | R 30 | R 60 |
| in sonstigen oberirdischen Geschoßen | R 30 | R 30 | R 60 | R 60 | R 90 A2 |
| in unterirdischen Geschoßen | R 30 | R 60 | R 90 A2 | R 90 A2 | R 90 A2 |
| brandabschnittsbildende Wände und Decken | | | | | |
| Brandabschnittsbildende Wände an der Grundstücksgrenze | REI 60 | REI 90 | REI 90 A2 | REI 90 A2 | REI 90 A2 |
| Sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken | - | REI 90 | REI 90 | REI 90 | REI 90 A2 |

Tabelle 6: Feuerwiderstandsdauer, Bauteilverhalten je Gebäudeklasse laut OIB-Richtlinie 2

Für die Gebäudeklasse 4 (max. 4 Geschoße mit letztem Aufenthaltsniveau von 11 Metern Höhe über dem angrenzenden Gelände) bedeutet das für das Regelgeschoß eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten (REI 60). Damit wäre die Brandeinwirkungsdauer laut *Kist* [15] ohne zusätzliche anlagentechnische Maßnahmen in den meisten Fällen höchstwahrscheinlich etwas höher als die Feuerwiderstandsdauer, was jedoch aufgrund der Seltenheit des Lastfalls Brand

²¹ [15] Kist M., (2013), S118

ein vertretbares Risiko darstellt. Für die Gebäudeklasse 5 (mit letztem Aufenthaltsniveau von 22m Höhe über dem angrenzenden Gelände) ist eine minimale Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten zu erreichen, womit die Brandeinwirkungsdauer bei der zu erwartenden Leistungsfähigkeit von Feuerwehreinsatzkräften geringer ist als die Feuerwiderstandsdauer.

Die *ÖNORM EN 14135 – Brandschutzbekleidungen – Bestimmung der Brandschutzwirkung* [39] schreibt vor, dass brandschutztechnisch wirksame Bekleidungen ab der Gebäudeklasse 4 zu prüfen sind. Die Entzündung von Holz ist bereits ab 200°C möglich (vgl. **Abschnitt 2.1.4**). Daher ist besonders darauf zu achten, dass sich die Temperaturerhöhung der Oberfläche in Grenzen hält.

Die K60 Prüfkriterien sind in der *ÖNORM EN 13501-2* definiert. Dabei müssen bei einer Erhöhung der Brandraumtemperatur nach der Einheitstemperaturzeitkurve (siehe **Abschnitt 3.2.2**) folgende Kriterien erfüllt sein:

- Die Temperatur der brandseitigen Holzoberfläche darf verglichen zur Anfangstemperatur im Mittel um nicht mehr als 250°C überschritten werden.
- Die Temperatur der brandseitigen Holzoberfläche darf verglichen zur Anfangstemperatur im Maximum um nicht mehr als 270°C überschritten werden.
- Es darf keine Entzündung oder Verkohlung an der Holzoberfläche entstehen. Dabei ist eine Verfärbung noch nicht als Verkohlung anzusehen.

Bei den im zweiten Abschnitt dieser Arbeit beschriebenen Versuchsdurchführungen wird von 20°C als Anfangstemperatur ausgegangen. Demnach ist jene Zeit maßgebend, die bis zum Erreichen einer durchschnittlichen Oberflächentemperatur von 270°C und einer Maximaltemperatur von 290°C vergeht.

3 Versuchsplanung

3.1 Versuchsannahmen

Im *Kapitel 2 - Grundlagen* wurde der derzeitige für diese Arbeit relevante Wissensstand recherchiert und zusammengefasst. Dabei wird auf die verwendeten Materialien (*Kapitel 2.1 - Holz und Holzwerkstoffe* und *Kapitel 2.2 - Holzleichtbeton*), die Verbundbauweise (*Kapitel 2.3 - Verbundbau*) und auf jene Aspekte des Brandschutzes eingegangen, die für die folgenden Versuchsdurchführungen von Bedeutung sind. Im Rahmen der Diplomarbeit wurden offene Fragen formuliert die sich mit der Frage der Kapselbarkeit von Brettsperrholz durch Holzleichtbeton beschäftigen. Der folgende experimentelle Abschnitt soll einen Beitrag zur Beantwortung dieser Fragen liefern.

In der Vorversuchsphase gilt es die wesentlichen Parameter zu definieren und einen passenden Aufbau für die Versuchsdurchführung zu finden. Dabei fließen folgende vorab getroffenen Überlegungen ein:

- Zur Erprobung der Brandschutzfähigkeit von Holzleichtbeton bedarf es einer kleinformatigen Versuchsreihe mit mehreren baupraktisch relevanten Fallunterscheidungen. Wie bei vielen anderen Versuchsszenarien wäre auch hier ein Realversuch in einem größeren Maßstab wünschenswert, da sich der Spielraum der anzunehmenden Parameter breiter gestalten ließe. Aus Gründen der Machbarkeit und der beim Kleinversuch als hinreichend genau zu erwartenden Näherung für den Nachweis des K_{260} Kapselkriteriums wird die reine Materialprüfung über einen eigens dafür konzipierten Brandofen als zweckmäßig angesehen.
- Es wird der idealisierte Sonderfall einer tragenden und raumabschließenden verkleideten Vollholzwand (keine brandabschnittsbildende Wand) ohne jegliche Aussparungen für Fenster, Türen, Lüftungen etc. angenommen. Der Kapselungseffekt ist für das Regelgeschoß eines Gebäudes der Gebäudeklasse 4 zu überprüfen, was einer Versuchsdauer von 60 Minuten entspricht. Um auch grobe Rückschlüsse bezüglich einer möglichen Eignung als brandabschnittsbildende Mauer bzw. als Regelgeschoß der Gebäudeklasse 5 zu erhalten, erstreckt sich die Versuchsdauer über einen Zeitraum von 90 Minuten.
- Die primäre Messgröße ist die Aufzeichnung der Temperaturentwicklung an der Holzoberfläche.
- Eine optimale Art des Einbaus der Thermolemente in die Probekörper ist zu überlegen. Dabei soll die Temperaturentwicklung während der Versuchsdurchführung an 3 Punkten innerhalb der Querschnittsfläche zwischen Holzleichtbetonplatte und Holzoberfläche aufgezeichnet werden.

- Bereits im Jahr 2007 wurde im Zuge einer Diplomarbeit am *Institut für Baustofflehre, Werkstofftechnologie und Brandsicherheit* ein Prüfofen zur Durchführung eines eindimensionalen Normbrandversuchs gebaut, der mit verhältnismäßig geringem Adaptierungsaufwand für den Nachweis des Kapselkriteriums verwendbar ist und somit zum Einsatz kommen soll.
- Es muss eine ausreichende Anzahl an Vorversuchen zur Erprobung des Probekörperaufbaus getätigt werden. Dabei gilt es insbesondere negative Einflüsse zu überprüfen, die zu einer möglichen Wärmeentweichung führen können.
- Eine vollständige Dichtigkeit des Ofens ist für eine Temperaturentwicklung entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve nicht zwingend notwendig. Das wäre lediglich dann der Fall, wenn es darum ginge, das Temperaturniveau über die Dauer des Versuchszeitraums konstant zu halten.
- Aufgrund der zu erwartenden Rauch- und Geruchsentwicklung sollen die Versuche im Freien stattfinden, weshalb eine gute Witterung Voraussetzung für einen ordnungsgemäßen Versuchsablauf ist. Dabei ist besonders darauf zu achten, dass die Befuerung des Prüfofens von einer windgeschützten Seite (Gebäudeseite) erfolgt und auch die Längsseiten gegen mögliche Windeinwirkungen abgeschirmt werden.
- Es sollen Probekörper mit den Abmessungen 30x25cm hergestellt werden. Dafür kommt ein dreilagiges Brettsperrholz (12cm), sowie zementgebundene Holzspanplatten (Holzleichtbetonplatten) der Firma Velox (3,5cm und 5,0cm) sowie Gipsfaserplatten (2x1,5cm) als Referenzbeplankung zum Einsatz. Zur Durchführung der Erstversuche wird eine Holzleichtbetonplatte mit einer Stärke von 3,5cm verwendet. Dadurch sollen bereits erste Abschätzungen über notwendige Beplankungsdicken in den Folgeversuchen möglich sein.

3.2 Versuchsanlage

3.2.1 Der Prüfofen

Im Zuge der Diplomarbeit von *Michael Teggan* entwickelte man am *Institut für Baustofflehre, Werkstofftechnologie und Brandsicherheit der Technischen Universität Wien* 2007 einen Prüfofen um den Einfluss des Bindemittels auf die Brandbeständigkeit von Betonen zu erforschen. Im Jahr 2010 wurde der Ofen aus Optimierungsgründen für die Versuchsdurchführungen zur Doktorarbeit von *Josef Wolfsgruber* umgebaut, um das Brandverhalten von Holz-Stahl-Verbundkonstruktionen zu untersuchen. Die Adaptierungen betrafen in erster Linie die Geometrie des Brennertunnels, wobei der Hauptfokus darin bestand, die Flamme durch die Längs-

streckung des Innenraumes möglichst weit weg von der Oberfläche der Versuchskörper zu platzieren, ohne dabei Einfluss auf die Innentemperaturverhältnisse zu nehmen. In der Praxis erwiesen sich die getroffenen Änderungen als maßgeblich erschwerend für die gewünschte Steuerung der Innenraumtemperatur, was häufig auch fehlerhafte Versuchsreihen zur Folge hatte. Der für diese Arbeit zur Verfügung verwendete Ofen wurde aus Gründen der einfacheren Handhabung erneut zurück gebaut, wodurch für die praktische Versuchsdurchführung zu dieser Arbeit nun im Wesentlichen vergleichbare geometrische Gegebenheiten vorherrschen, wie bei der Erstkonstruktion. Im Gegensatz zu den ersten beiden Varianten gibt es nun eine einzige größere Abzugsöffnung an der Stirnseite des Ofens, die das Entweichen von Rauchgasen ermöglicht. Bislang waren es stets zwei symmetrische Vertikalschlitze vor bzw. nach der Brandkammer gewesen.

Der Aufbau des Prüfofens stimmt über weite Teile mit den Bestimmungen der *ÖNORM EN 1363 – Feuerwiderstandsprüfungen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen* [38] überein.

Dabei muss der Ofen so konstruiert sein, dass er mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen betrieben werden kann und mindestens eine der folgenden Beanspruchungen ermöglicht:

- die Beflammung von vertikalen oder horizontalen raumabschließenden Bauteilen auf einer Seite
- die allseitige Beflammung von Stützen
- die Beflammung von Wänden auf mehr als einer Seite
- die Beflammung von Balken auf drei oder gegebenenfalls vier Seiten.

Bei der Versuchsdurchführung zur Ermittlung des Kapselungseffekts einer Holztragkonstruktion durch zementgebundene Holzspanplatten handelt es sich um eine Simulation des Brandverhaltens eines raumabschließenden Bauteils. Bei Prüfungen im Sinne der ÖNORM werden in der Regel mehrere der angeführten Beanspruchungen ermöglicht. Da es sich aber um keine herkömmliche Feuerwiderstandsprüfung handelt, bietet der Ofen ausschließlich die Möglichkeit der einseitigen Beflammung. Es lassen sich damit thermische Beanspruchungsszenarien entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve (*siehe Kapitel 3.2.2*) simulieren.

Die Innenabmessungen der Hauptkammer betragen 27x58x45,5cm. Auf der Längsseite befindet sich ähnlich einem Flaschenhals eine weitere Kammer, der sogenannte Brenntunnel. Dieser trägt wesentlich zur Steuerung der Brandraumtemperatur bei, da durch ihn die Flamme über einen mit Propangas betriebenen Brenner verteilt wird. Der für die Verbrennung erforderliche Sauerstoff wird über eine kleine Öffnung am Brennerrohr zugeführt, wobei die Intensität über einen Regler gesteuert werden kann. Die Flamme wird simultan zur Aufzeichnung der Temperaturmessungen manuell gestartet und über einen Gasdruckregler gesteuert.

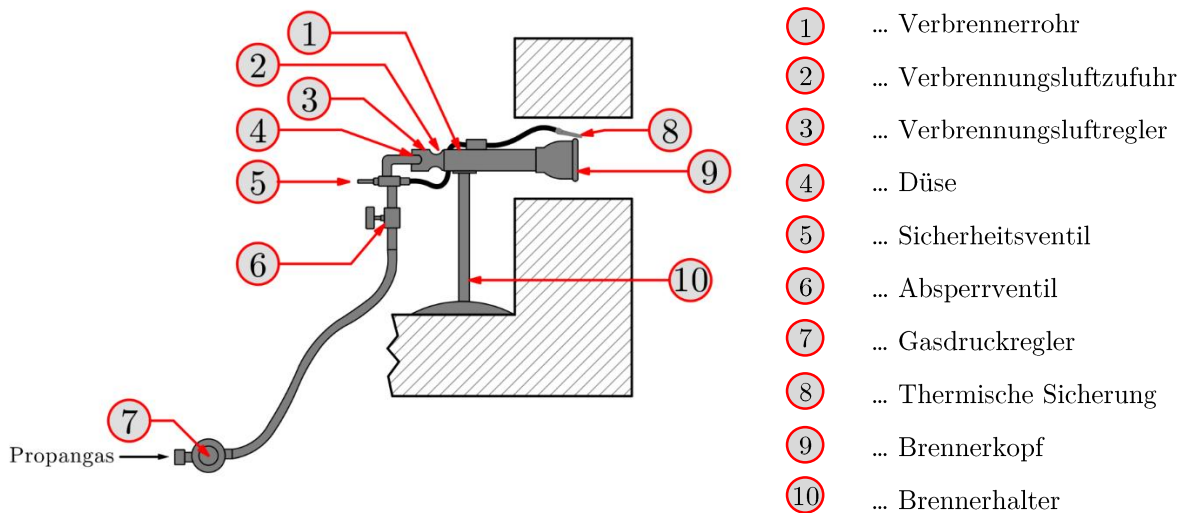


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Propangasbrenners [08]

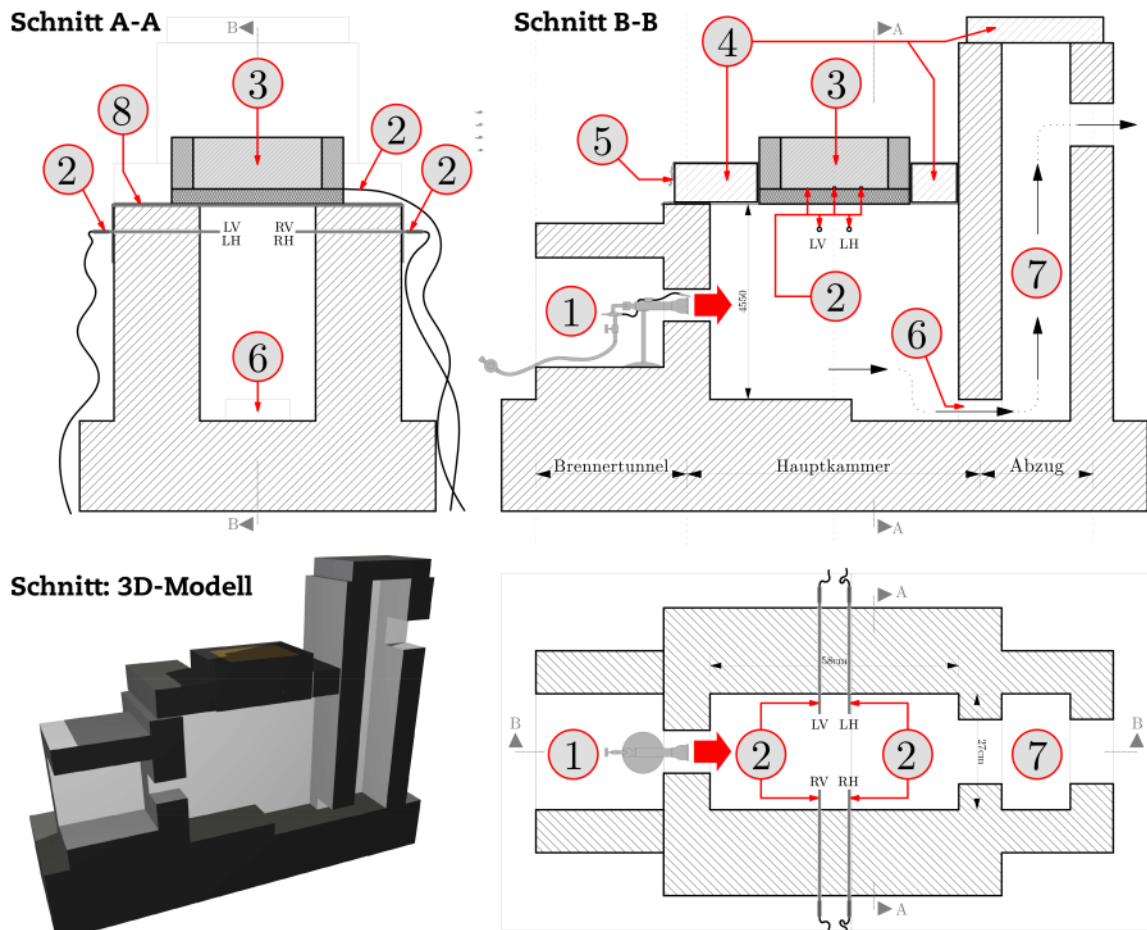
Als Baumaterial für die Wände der Brandkammer sowie für den kompletten Brennertunnel wurden Feuerleichtsteine der Firma *Rath* verwendet, die unter dem Produktnamen *Porrath* vermarktet werden. Diese sind bis zu Temperaturen von 1850°C einsetzbar und eignen sich hervorragend für jeglichen Einsatz unter thermisch veränderlichen Prozessen. Folgende Eigenschaften zeichnen den Werkstoff aus:

- niedrige Wärmeleitfähigkeit
- CO-Beständigkeit
- gute Temperaturwechselbeständigkeit
- hochtemperaturbeständigkeit
- niedrigste CaO-Anteile für Schwefel/HCl-haltige Atmosphären
- hohe Kaltdruckfestigkeit

Die Probekörper sind an der Oberseite der Hauptkammer mittig über der Öffnung zu legen, eine zusätzliche Auflast ist dabei nicht notwendig. Der Abschluss links und rechts neben dem Probekörper ist ebenfalls durch zwei Feuerleichtsteine gegeben. Diese werden zusätzlich mit einer brandbeständigen Aluminiumsilikatwollematte umwickelt, um ein unkontrolliertes Entweichen heißer Brandgase möglichst gut einzudämmen. Um die Hitzeübertragung auf die Unterkonstruktion des Prüfofens zu unterbinden wurde für den Sockel eine Reihe aus Normalformatziegeln verwendet.

Nach der *ÖNORM EN 1363-1* hat die Prüfeinrichtung zumindest zu 70% aus Werkstoffen mit einer Dichte kleiner als 1000kg/m³ zu bestehen sowie einer Mindestdicke von 50mm aufzuweisen. [38] Diese Anforderungen sind für den eingesetzten Versuchsaufbau erfüllt. Die einzelnen Steine werden im Fugenverband ohne die Verwendung von Mörtel eingebaut und durch Spezialklammern an mehreren Stellen verspreizt.

Der Brennofen eignet sich zur Durchführung eines eindimensionalen Normbrandversuchs für alle gängigen Materialien und ist so konzipiert, dass die Temperatur über die gesamte beflammete Oberfläche des Probekörpers möglichst konstant ist. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Messpunkten sollen dabei im Optimalfall nur etwa $\pm 10^\circ\text{C}$ betragen was in Anbetracht der hohen Temperaturen als vernachlässigbar klein angesehen werden kann.



- ① ... Brenntunnel mit Propangasbrenner
- ② ... Thermomessfühler, 4x Ofentemperatur (LV, LH, RV, RH) und 3x Bauteilfuge
- ③ ... Probekörper, 12cm Brettsper Holz allseitig ummantelt
- ④ ... Feuerleichtsteine Firma RATH
- ⑤ ... Aluminiumsilikatmatte ALSITRA, 128kg/m^3
- ⑥ ... Durchzugsöffnung
- ⑦ ... Abzugsschacht

Abbildung 6: Schematische Darstellung des Versuchsofens

Ein Abzug an der Rückseite der Hauptkammer führt die heißen Brandgase ins Freie. In den seitlichen Wänden sind Thermomessfühler eingebaut, die den tatsächlichen Temperaturverlauf während eines Versuchs aufzeichnen. Diese werden in **Abschnitt 3.4.1** erklärt, in **Abbildung 6** ist der schematische Aufbau des Ofens dargestellt.

3.2.2 Die Einheitstemperaturzeitkurve

Um international einheitliche Prüf- und Bemessungsgrundlagen für das Brandverhalten von Bauteilen zu schaffen, wurde die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) festgelegt. Diese ist in der *ÖNORM EN 13501-2* [34] festgelegt und stellt im Wesentlichen ein Modell dar, das die Aufheizung für einen voll entwickelten Brand in einem Raum widerspiegelt, wobei die in einem realen Brandszenario vorhergehende Brandentstehungsphase nicht berücksichtigt wird. Die ETK ist Grundlage für normierte Brandprüfungen und findet speziell in Prüfanstalten Anwendung um Bauteile mittels Feuerwiderstandsmessungen in Feuerwiderstandsklassen einordnen zu können. Die Aufheizkurve wird in einem Diagramm durch einen stetigen Temperaturanstieg beschrieben, der durch folgende Gleichung definiert ist:

$$T = 345 \cdot \lg(8 \cdot t + 1) + 20 \quad (2)$$

T ... Brandraumtemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
 t ... Zeit ab Versuchsbeginn [min]

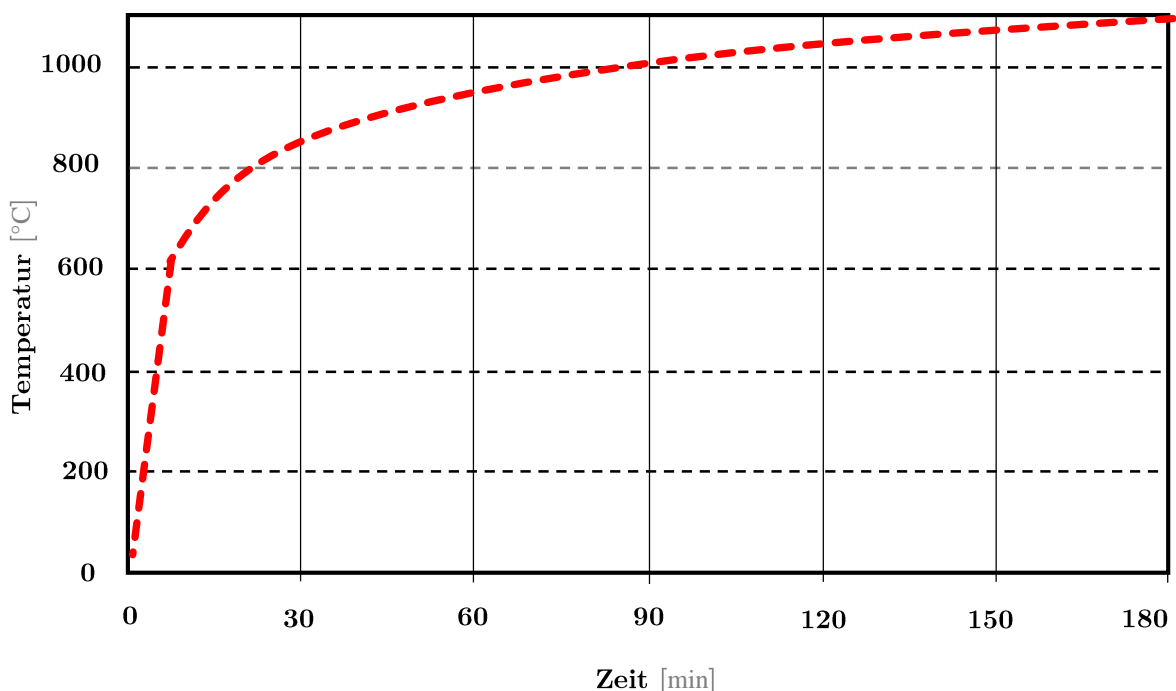


Abbildung 7: Einheitstemperaturzeitkurve nach ÖNORM EN 13501-2 [ÖNORM001]

| t [min] | T [°C] | t [min] | T [°C] | t [min] | T [°C] |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 0 | 20 | 60 | 945 | 120 | 1049 |
| 5 | 576 | 65 | 957 | 125 | 1055 |
| 10 | 678 | 70 | 968 | 130 | 1061 |
| 15 | 739 | 75 | 979 | 135 | 1067 |
| 20 | 781 | 80 | 988 | 140 | 1072 |
| 25 | 815 | 85 | 997 | 145 | 1077 |
| 30 | 842 | 90 | 1006 | 150 | 1082 |
| 35 | 865 | 95 | 1014 | 155 | 1087 |
| 40 | 885 | 100 | 1022 | 160 | 1092 |
| 45 | 902 | 105 | 1029 | 165 | 1097 |
| 50 | 918 | 110 | 1036 | 170 | 1101 |
| 55 | 932 | 115 | 1043 | 175 | 1106 |
| 60 | 945 | 120 | 1049 | 180 | 1110 |

Tabelle 7: Werte aus der Einheitstemperaturzeitkurve nach ÖNORM EN 13501-2 [ÖNORM001]

3.3 Definition der Probekörper

In der Planungsphase wurden Probekörper für unterschiedliche baupraktisch relevante Fälle einer ebenen Oberflächenverkleidung festgelegt. Neben der idealen Kapselung ohne abmindernder Einflüsse auf die feuerhemmende Wirkung der Dämmplatten soll speziell der negative Einfluss von Fugen zwischen zwei benachbarten Elementen sowie der Einfluss der zu erwartenden erhöhten Wärmeübertragung durch Schrauben überprüft werden. Es soll ebenso eine Gegenüberstellung zwischen geschraubten und geklebten Feuerschutzplatten erfolgen, sowie die Frage geklärt werden, ob ein flächig aufgebracht Kleber zwischen der tragenden Holzstruktur und der Verkleidung zu einer Verzögerung der Pyrolyse an der Holzoberfläche führt und somit einen nennenswerten Beitrag zur Dämmwirkung leistet.

Um eine möglichst fehlerfreie Versuchsdurchführung zu gewährleisten, ist eine entsprechende Anzahl an Vorversuchen zur Erprobung eines geeigneten Versuchskörperaufbaus zu tätigen. Dabei werden drei unterschiedliche Szenarien (VV1 bis VV3) zu mindestens je zwei Einzelversuchen mit dem Werkstoff Holzleichtbeton durchgeführt und die entsprechenden Ergebnisse untereinander verglichen. Eine weitere Vorversuchsreihe (RV) soll als Gegenüberstellung den Temperaturverlauf einer durch Gipsfaserplatten doppelt beplankten Holzoberfläche dokumentieren, da die mineralischen Plattenerzeugnissen sich in der Praxis bewährt haben und sehr häufig dann zum Einsatz kommen, wenn es darum geht, Holzkonstruktionen brandbeständig auszuführen.

Unabhängig von den Erkenntnissen der Vorversuche wurden vorab vier unterschiedliche Versuchsreihen (HV1 bis HV4) für die Hauptversuchsphase definiert. Jede dieser Versuchsreihen soll aus mindestens je zwei Einzelversuchen mit einer Brandeinwirkungsdauer von 60 Minuten bestehen, womit die Konstruktion bei Erfüllung des Kapselkriteriums (*siehe Abschnitt 2.4.5*)

für das Regelgeschoß eines Gebäudes der Gebäudeklasse 4 (max. 4 Geschoße mit letztem Aufenthaltsniveau von 11m Höhe über dem angrenzenden Gelände) verwendbar wäre. Mindestens zwei weitere Einzelversuche jeder Versuchsreihe sollen über einen Beanspruchungszeitraum von 90 Minuten erfolgen. Bei Bestehen des Kapselkriteriums über diese Versuchsdauer wäre theoretisch sogar eine Verwendbarkeit als tragende Regelgeschoßwand eines Gebäudes der Gebäudeklasse 5 (mit letztem Aufenthaltsniveau von 22m Höhe über dem angrenzenden Gelände) oder als brandabschnittbildende Wand möglich.

Daraus ergeben sich Idealfall 24 Einzelversuche bestehend aus 8 Vorversuchen und 16 Hauptversuchen (*siehe Tabelle 8*), wobei offensichtlich fehlerhafte Ergebnisse durch weitere Versuchsreihen zu ersetzen sind. Dabei wurde folgende Nomenklatur festgelegt:

| | | |
|-----------------------|-----------------------|--|
| Vorversuche: | Vorversuchsreihe 1: | VV1-a, VV1-b, |
| | Vorversuchsreihe 2: | VV2-a, VV2-b, |
| | Vorversuchsreihe 3: | VV3-a, VV3-b, |
| | Vorversuchsreihe 4: | RV-a, RV-b (Referenzversuch Gipsfaser) |
| Hauptversuche: | Hauptversuchsreihe 1: | HV1-60a, HV1-60b, HV1-90a, HV1-90b |
| | Hauptversuchsreihe 2: | HV2-60a, HV2-60b, HV2-90a, HV2-90b |
| | Hauptversuchsreihe 3: | HV3-60a, HV3-60b, HV3-90a, HV3-90b |
| | Hauptversuchsreihe 4: | HV4-60a, HV4-60b, HV4-90a, HV4-90b |

Die vorab getroffenen Zuordnungen der Probekörperaufbauten sind in *Tabelle 8* angeführt.

Die in der Planungsphase getroffene Namensgebung ist lediglich als Orientierung zu verstehen, geringfügige Änderungen waren zu diesem Zeitpunkt noch vorbehalten. Diese sollten während der Versuchsdurchführung in erster Linie die Dauer der Brandbeanspruchung betreffen, da sich später ein Brandverlauf über 60 Minuten oft als zu wenig aussagekräftig herausstellen sollte, wodurch die Versuchsdauer meist erhöht wurde. Die schlussendlichen Festlegungen werden in den *Abschnitten 4.2.4 - Vorversuche an Verbundkörpern aus Holz-Holzleichtbeton* und *5.1 - Versuchsdurchführung*, sowie im *Anhang unter 7.4 und 7.5* dargestellt.

| Versuchsbezeich- | Aufbau | Untersuchungsart | Anzahl der Versuche |
|------------------|---|------------------|---------------------|
| VV1 | 3,5cm Holzleichtbeton+12cm BSP unverklebt ohne seitliche Dämmung | Vorversuche | 2 |
| VV2 | 3,5cm Holzleichtbeton +12cm BSP unverklebt, allseitig mit 5cm Holzleichtbeton gedämmt | Vorversuche | 2 |
| VV3 | 3,5cm Holzleichtbeton +12cm BSP unverklebt, allseitig mit 5cm Holzleichtbeton gedämmt, durchgehende Dämm- | Vorversuche | 2 |
| RV | 2x1,5cm GK-Platten+12cm BSP unverklebt, gedämmt/ungedämmt** | Referenzversuche | 2 |
| HV1 | 3,5cm Holzleichtbeton *+12cm BSP unverklebt, gedämmt/ungedämmt** | Hauptversuche | 4 |
| HV2 | 3,5cm Holzleichtbeton *+12cm BSP unverklebt, inkl. Stoßfuge, gedämmt/ungedämmt** | Hauptversuch | 4 |
| HV3 | 3,5cm Holzleichtbeton *+12cm BSP geschraubt, gedämmt/ungedämmt** | Hauptversuch | 4 |
| HV4 | 3,5cm Holzleichtbeton *+12cm BSP geklebt, gedämmt/ungedämmt** | Hauptversuch | 4 |

* optional 50mm Holzleichtbeton oder doppelt beplankt (2x35mm), falls sich herausstellen sollte, dass 35mm für die Erfüllung des Kapselkriteriums nicht ausreichen.

** ungedämmt, falls die Vorversuche die Erkenntnis liefern, dass die Ergebnisse aus der Vorversuchsreihe 1 (VV1) vergleichbar mit jenen der Vorversuchsreihe 2 (VV2) oder Vorversuchsreihe 2 (VV2) sind, ansonsten gedämmt.

Tabelle 8: Nomenklatur der Probekörper für die Vorversuchsphase und die Hauptversuchsphase

3.4 Messeinrichtungen und Messgrößen

3.4.1 Thermomessung und elektrischer Widerstand

Die Temperatur in der Brandkammer, die Temperatur am Probekörper, sowie die Raumtemperatur werden mittels Thermoelementen gemessen und per EDV-System erfasst. Die Thermomessung basiert auf der sogenannten Thermoelektrizität. Darunter versteht man die gegenseitige Beeinflussung von Temperatur und Elektrizität sowie die unmittelbare Umsetzung zwischen den beiden physikalischen Messgrößen. Das Prinzip der Wärmeleitung spielt dabei eine zentrale Rolle. Dieses kann nur dann auftreten, wenn es innerhalb eines Körpers ein Temperaturgefälle gibt, das heißt es müssen Bereiche unterschiedlicher Temperatur vorhanden sein. Der Wärmestrom fließt dabei immer vom wärmeren Teil mit einer großen Elektronenbewegung zum kälteren Bereich mit einer verhältnismäßig geringen Elektronenbewegung. Es kommt schließlich zu einer Ladungsverschiebung durch den Austausch von Elektronen die wiederum von den

Der schematische Aufbau eines Thermoelements ist in **Abbildung 9** ersichtlich. Dieser besteht aus zwei Leitern (Metall A und Metall B), die am freien Ende miteinander verbunden werden und Wärme in elektrische Energie umwandeln. Die Temperatur an der Vergleichsstelle (Temperatur T2) ist bekannt und sollte während eines Versuchs möglichst konstant bleiben. Die an der Verbindungsstelle auftretende Temperaturdifferenz erzeugt dort eine elektrische Spannung. Um einen Elektronenaustausch bewirken zu können, muss die Temperatur am offenen Ende (Temperatur T1) von der Temperatur an der Vergleichsstelle abweichen.

Um die Spannungsdifferenz zwischen dem warmen und dem kalten Ende zu messen, wird das warme Ende des Leiterdrahtes mit einem elektrischen Leiter (Anschlussdraht C) verbunden, der schließlich dem gleichen Temperaturgefälle ausgesetzt ist, wodurch sich auch dasselbe dynamische Gleichgewicht einstellt. Besteht der Anschlussdraht aus dem gleichen Material liegt ein symmetrischer Aufbau mit gleichen Ladungsschwerpunkten an den beiden offenen Enden vor und es kann keine Spannungsdifferenz zwischen den beiden Ladungsschwerpunkten gemessen werden. Wird für den Anschlussdraht ein anderes Material mit einer anderen elektrischen Leitfähigkeit verwendet, so stellt sich auch ein anderes dynamisches Gleichgewicht ein und es bilden sich an den beiden Enden der Leiter unterschiedliche Ladungsschwerpunkte aus. Diese lassen sich schließlich mittels Spannungsmessgerät („Voltmeter“ V) bestimmen. Solange alle Verbindungsstellen auf gleicher Temperatur sind, bewirkt der Anschlussdraht C keinen zusätzlichen Effekt. Daher wird eine gemeinsame Vergleichsstelle mit identischer Vergleichstemperatur für die Verbindungsstellen A-C und B-C geschaffen. [26]

Ein industriell hergestelltes Thermoelement besteht aus einem Thermopaar das für die Temperaturmessung verwendet wird. Der Vergleichswert wird in einer Klemme entweder gemessen oder auf einer bekannten Temperatur konstant gehalten. Der entsprechende Wert kann beispielsweise durch einen im Fühlerkopf eingebauten Temperatursensor ermittelt und dann als externe Vergleichsstellentemperatur zur Korrektur herangezogen werden. Die Alternative dazu wäre ein elektrisch beheiztes Vergleichstellenthermostat, das eine konstante Temperatur von meist 50°C liefert. Thermostate werden in der Praxis jedoch sehr selten eingesetzt, weil sie sich lediglich dann lohnen, sobald mehrere Signale über sehr weite Strecken übertragen werden müssten. [26]

Im Anschlusskopf wird eine Ausgleichsleitung aus dem gleichen Material oder aus einem Sonderwerkstoff mit den gleichen thermoelektrischen Eigenschaften wie das Thermoelement selbst angeschlossen. Daher entstehen an der Verbindungsstelle keine thermischen Spannungen, diese bilden sich erst an den Klemmen des Geräts aus, wo der Anschluss an herkömmliche Kupferleitungen erfolgt. Ein interner Temperaturfühler misst diese Spannungen und gleicht diese entsprechend aus. Dort, wo die Ausgleichsleitung mit einem anderen Material verbunden wird, entsteht die Vergleichsstelle. [26] Diese Methode kommt auch für die Versuchsdurchführungen dieser Arbeit zum Einsatz und ist allgemein die am meisten verbreitete. Die verallgemeinerte

schematische Darstellung aus **Abbildung 9** kann somit durch folgende Anschauung ersetzt werden:

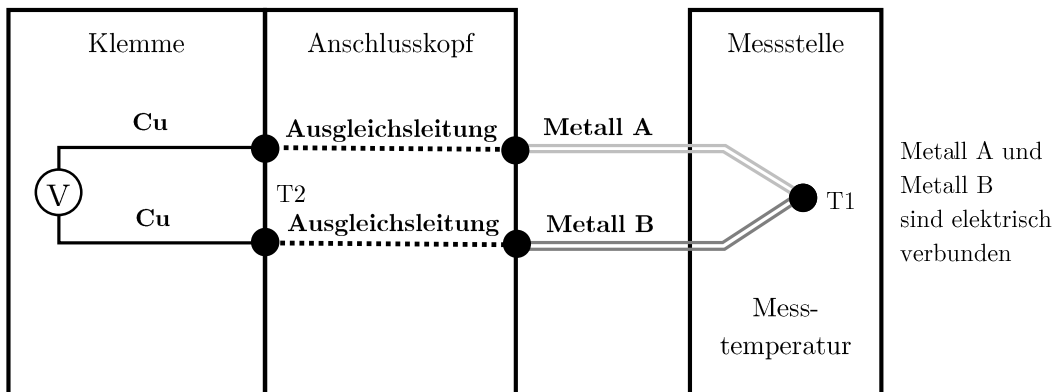


Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Thermoelements mit Ausgleichsleitung

Es gibt eine Vielzahl möglicher Metallkombinationen mit denen sich die unterschiedlichsten Eigenschaften erzielen lassen. Die für die gängigsten thermischen Bemessungsszenarien am besten geeigneten Verbindungen wurden in der *ÖNORM EN 60584-1* [40] festgelegt (*siehe Tabelle 9*).

Für die Versuchsdurchführung wurden ausschließlich Thermoelemente des Typs „K“ verwendet. Diese bestehen aus einem Übergang zwischen einer Nickel-Chrom-Legierung (NiCr) und Nickel (Ni). Über die thermoelektrischen Koeffizienten der beiden Metalle k_{NiCr} und k_{Ni} lassen sich über die gemessene Spannungsdifferenz direkt Rückschlüsse auf die Temperaturänderung ziehen. Die maximalen Spannungen liegen zwischen $-6.458\mu V$ bei $-270^\circ C$ und $54.886\mu V$ bei $1372^\circ C$.

$$U_{th} = (k_{NiCr} - k_{Ni}) \cdot \Delta T \quad (3)$$

| | | |
|------------|-----|---|
| U_{th} | ... | thermische Spannung [μV] |
| k_{NiCr} | ... | thermoelektrischer Koeffizient Nickel-Chrom-Legierung [$\mu V/K$] |
| k_{Ni} | ... | thermoelektrischer Koeffizient Nickel-Legierung [$\mu V/K$] |
| ΔT | ... | Temperaturdifferenz $T_{Mess} - T_{Vergleichsspannung}$ [K] |

| Typ | Material | Temperaturbereich | Plusschenkel | Minusschenkel |
|----------|----------------|---------------------------|--------------|---------------|
| J | Fe-CuNi | -180°C bis +1300°C | schwarz | weiß |
| T | Cu-CuNi | -185°C bis +300°C | braun | weiß |
| K | NiCr-Ni | -200°C bis +1200°C | grün | weiß |
| E | NiCr-CuNi | 0°C bis +800°C | violett | weiß |
| N | NiCrSi-NiSi | 0°C bis +1100°C | lila | weiß |
| S | Pt10Rh-Pt | -50°C bis 1700°C | orange | weiß |
| R | Pt13Rh-Pt | 0°C bis +1600°C | orange | weiß |
| B | Pt30Rh-Pt6Rh | +200°C bis +1700°C | Keine Angabe | weiß |

Tabelle 9: Thermoelemente nach ÖNORM EN 60584-1

NiCr-Ni-Thermoelemente sind die am meisten eingesetzten Thermoelemente in der Temperaturnesstechnik. Sie stellen eine technisch wie wirtschaftlich optimale Lösung dar und zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus: [30]

- weiter Temperaturbereich von -200°C bis $+1200^{\circ}\text{C}$
- gute Langzeitstabilität unter oxidierenden Bedingungen
- hohe messtechnische Empfindlichkeit von $40\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- hervorragende Eignung in Mantelthermoelementen
- gegenüber Edelmetallen günstiger Preis

Als problematisch kann lediglich das Auftreten unterschiedlicher Ordnungszustände des inneren Gefüges (Zustand K und Zustand U) genannt werden, weshalb es auch eine kritische Gegenanschauung gibt die den Thermoelementen die notwendige Genauigkeit für die Eignung in der industriellen Mess- und Regeltechnik abspricht. „Der K-Zustand ist ein Phänomen, das bei Nickel-Chrom-Legierungen auftritt und das sich insbesondere auf die thermoelektrischen Eigenschaften dieser Legierungen auswirkt.“²³ Das Kristallgitter der NiCr-Legierung ist im geordneten Zustand (Zustand K) kubisch und flächenzentriert, das bedeutet dass Chrom-Atome die Ecken eines würfelförmigen Gitters bilden und die Nickel-Atome exakt im Zentrum der Flächen liegen. Der Aufbau der Atome ist somit streng orthogonal. Sobald Störungen im Kristallgitter auftreten, spricht man von einem ungeordneten Zustand (Zustand U). Die Übergänge zwischen beiden Zuständen können durch folgende Beobachtungen beschrieben werden: [30]

- Oberhalb 600°C herrscht in einer NiCr-Legierung immer der U-Zustand; er stellt sich nach Erreichen dieser Temperatur sehr schnell ein.

²³ [30] MTS Messtechnik Schaffhausen, o.V., (o.J.), S1

- Kühlt man die Legierung schnell (in wenigen Minuten) auf Raumtemperatur ab, bleibt der U-Zustand erhalten, so lange die Legierung nicht wieder über Raumtemperatur erwärmt wird. Er ist sozusagen eingefroren.
- Kühlt man die Legierung langsam (über einige Stunden) auf Raumtemperatur ab, stellt sich im Allgemeinen ein Übergangszustand zwischen K und U ein.
- Hält man die Legierung in einem Temperaturbereich von 250°C bis 500°C über längere Zeit, dann stellt sich der K-Zustand ein, der so lange bestehen bleibt, bis die Legierung wieder auf 600°C oder höher erwärmt wird.

Je nach Zustand und Prüfmethode sind im Extremfall Abweichungen der Messergebnisse von bis zu 3°C möglich. Für die vorliegenden Versuchsabläufe soll theoretisch auf die Kenntnisse über die Veränderung der Ordnungszustände Rücksicht genommen werden. Das einmalige Ausbrechen einzelner Atome des Kristallgitters und der damit verbundene Wechsel von Zustand K zu Zustand U ist jedoch speziell für die Thermodrähte zur Messung der Ofentemperatur unvermeidlich, da die kritischen 600°C in jedem Fall entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve im Brandraum nach den ersten sechs Versuchsminuten erreicht und im weiteren Verlauf mit Temperaturen von über 1000°C auch deutlich überschritten werden (*vergleiche **Abschnitt 3.2.2***). Da die primäre Ausgabegröße aus dem Zeit-Temperatur-Diagramm der Einheitstemperaturzeitkurve die ermessene Zeit ist, die ein Aufbau benötigt, um keinen Kapselungseffekt für die darunter liegende Oberfläche mehr gewährleisten zu können und der Temperaturanstieg im Brandraum zwischen 350°C/min im Anfangsstadium und immerhin noch 3°C/min nach 60 Minuten liegt ist die Fehlerquote verhältnismäßig gering. Die zu erwartenden Versuchsergebnisse wären selbst bei einer maximalen Temperaturabweichung der Thermomesskabeln von 3°C hinreichend aussagekräftig und genau, weil die Abweichungstoleranz der Temperaturentwicklung im Brandraum je nach Zeitpunkt zwischen 22°C und 100°C ober- beziehungsweise unterhalb der normierten Temperaturzeitkurve liegt und somit erheblich größer ist, als die zu erwartenden Messungenauigkeiten aufgrund der Änderung des atomaren Kristallgitters der Messdrähte. Bei den durchzuführenden Versuchen geht es in erster Linie um eine qualitative Annäherung der Temperaturentwicklung des Prüfraums an die entsprechenden Vorgaben der *ÖNORM EN 13501-2* [34] und diese ist unter Berücksichtigung der entsprechenden Toleranzvorgaben in jedem Fall gegeben.

Die Thermodrähte zur Messung der Bauteilfugentemperatur erreichen bei Erfüllung oder bei knappem Nichterfüllen des Kapselkriteriums im Idealfall die 600°C zwar nicht, sollen aber dennoch nur zu einem einmaligen Einsatz kommen, um die drohenden Schwankungen möglichst zu unterbinden.

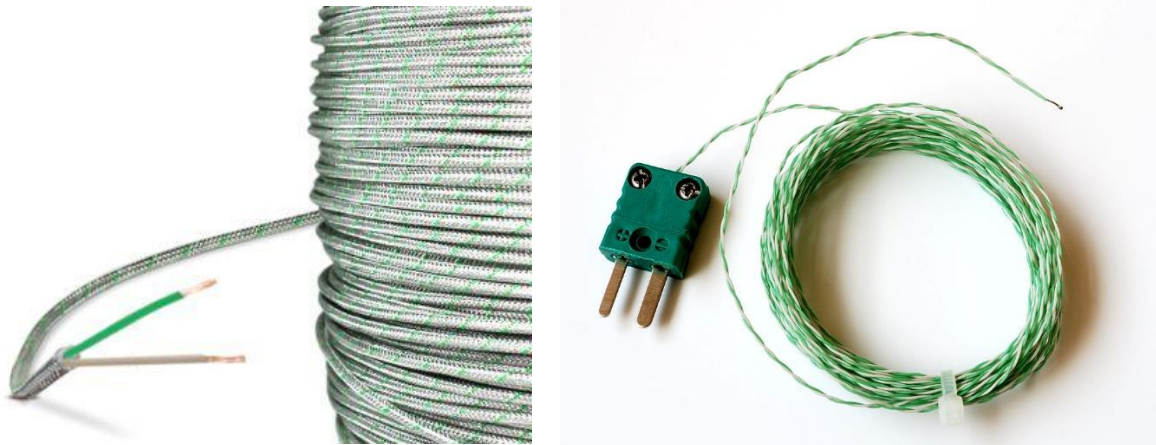


Abbildung 11: Kabelrolle eines teflonbeschichteten Thermomesskabels Typ „K“ mit grüner NiCr-Legierung und weißer Ni-Legierung (links) sowie Thermomesskabel Typ „K“ mit bereits angeschlossenem Thermostecker (rechts)

Die für die Versuchsdurchführung verwendeten Elemente können dem in **Abbildung 10** dargestellten allgemeinen schematischen Aufbau einer Thermoleitung mit Ausgleichskopf wie folgt gegenüber gestellt werden:

- Die beiden Drähte (Pluspol grün mit Nickel-Chrom-Legierung und Minuspol weiß mit Nickel-Legierung) entsprechen den *Metallen A* und *B*. Dabei ist die Teflonbeschichtung über eine Länge von etwa drei Zentimetern mittels Schneidzange zu entfernen, die vorderen anderthalb Zentimeter der Leiterdrähte werden zudem noch abisoliert.
- Die freien Enden der Leiterdrähte werden anschließend mittels Zange gegeneinander verdreht und dadurch ineinander dicht verflochten. Dadurch gelten die beiden Metalle als *elektrisch verbunden* und können als qualitativ gute *Messstelle* angesehen werden. Optimal wäre ein zusätzliches Verlöten der Verflechtung, um theoretisch mögliche dem Kabelende geschuldete Fehler in der Messung gänzlich auszuschließen. Aus Gründen der einfacheren Handhabung und der minimalen Optimierungserwartung wird dieser Vorgang jedoch nicht durchgeführt und die unverlöteten Kabelenden bei entsprechend sorgfältiger Präparierung als ausreichend genau angenommen. Dennoch soll bei der Auswertung der Vorversuchsergebnisse auch in Hinblick auf die Ausführung der Kabelenden überprüft werden, ob eine Übereinstimmung der unterschiedlichen Messfühlerergebnisse gegeben ist.
- Ein Miniaturthermostecker erfüllt die Aufgabe des *Anschlusskopfes*. Bei dieser Steckerart handelt es sich um eine günstige und sehr häufig verwendete Ausführungsform. Das hintere Kabelende wird wie die Messstelle ebenso abisoliert und anschließend mittels Schraubenzieher in einer Metallklemme fixiert mit einem Thermostecker verschraubt. Dabei ist die NiCr-Legierung an die gekennzeichnete Plusstelle und die Ni-Legierung an die Minusstelle zu befestigen. Im Inneren des Steckers befinden sich zwei verdrehte

Ausgleichsleitungen, die ebenso aus denselben Legierungen bestehen, wie die Leiterdrähte selbst. Ausgleichsleitungen werden allgemein laut *ÖNORM EN 60584-1* [40] durch unterschiedliche Farbcodes und Kennbuchstaben gekennzeichnet. Die Bezeichnung der für den Versuchsablauf zur Verfügung stehenden Stecker lautet „KX“, wobei „K“ für NiCr-Ni-Element, also Typ K steht und „X“ für einen der Norm entsprechenden Werkstoffeinsatz (alternativ beschreibt „C“ den Einsatz eines Sonderwerkstoffs nach Norm). Am Ende des Thermosteckers befinden sich zwei flache Kontaktstifte, die über Buchsen an die Leitungen des Messgeräts angeschlossen werden.

- Buchsen sind *Klemmen* und bilden die Anschlussstellen zwischen Thermoelement und dem Messgerät. Da Thermoelemente allein lediglich im Stande sind, Temperaturdifferenzen zwischen der Verbindungsstelle und dem Messgerät zu messen, sind weitere Maßnahmen notwendig. Dies geschieht über Kaltstellenkompensation. Dabei fungiert eine Wärmeleitmasse zwischen zwei Sensoranschlüssen als Temperatursensor und sorgt so für die Absolutwertmessung.

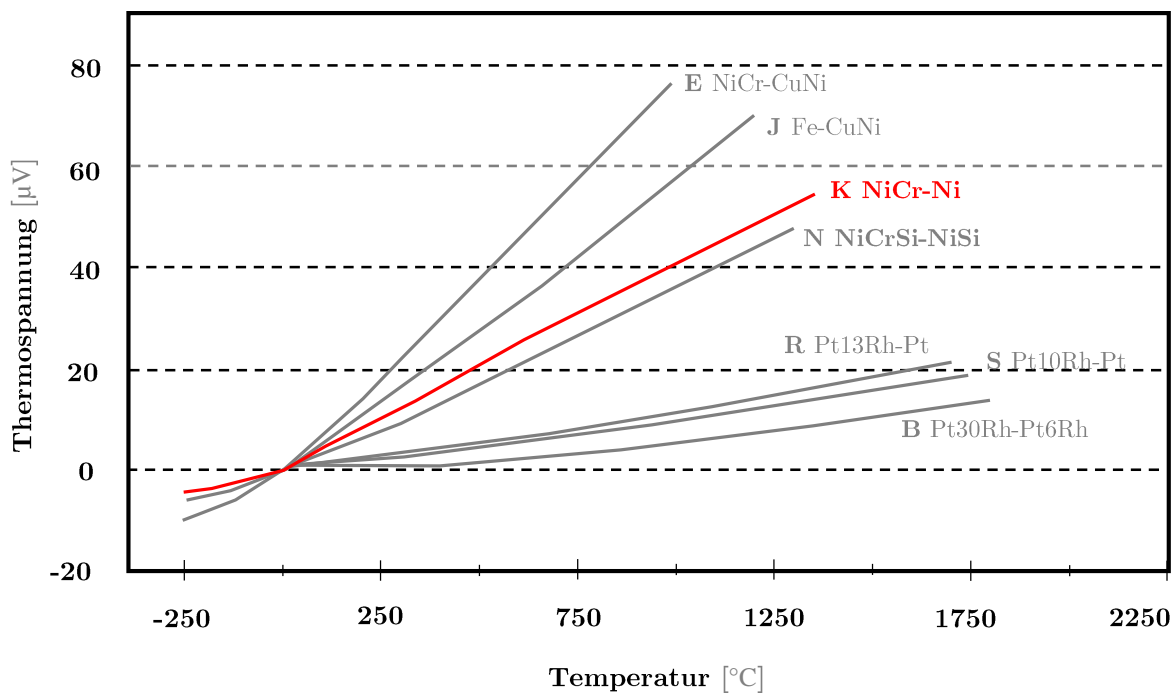


Abbildung 12: Kennlinien von Thermoelementen nach ÖNORM EN 60584

Die *ÖNORM EN 60584* beschreibt eindeutige Kennlinien der darin definierten Thermoelemente. Dabei ist ersichtlich dass Temperatur und die vom Thermoelement abgegebene elektrische Spannung nicht exakt linear sind, daher erfolgt eine Anpassung durch eine Folgeelektronik, bei der entsprechende Linearisierungstabellen bereits vorprogrammiert sind. Dadurch wäre sogar im Bedarfsfall eine volle Austauschbarkeit einzelner Thermopaare unabhängig vom Hersteller möglich. Die dafür vorgesehene Messeinrichtung ist im *Folgeabschnitt 3.4.2 - Multimeter* beschrieben.

3.4.2 Multimeter

Die Ergebnisse aus der Temperaturmessung werden mittels Multimeter ausgewertet, der über eine Schnittstelle an ein EDV-System gekoppelt ist. Die dabei gespeicherten Daten werden anschließend über eine Software mittels mathematischer Funktionen aufbereitet und grafisch ausgewertet. Das elektrotechnische Vielfachmessgerät ist seiner Bezeichnung entsprechend multifunktional einsetzbar und dabei in der Lage, unterschiedliche elektrische Einheiten zu messen. Von wesentlicher Bedeutung sind dabei in erster Linie folgende physikalischen Größen:

- Spannung (V ... Volt)
- Stromstärke (A ... Ampere)
- Widerstand (Ω ... Ohm)
- Frequenz (Hz ... Hertz)

Der Multimeter ist mit allen für die Messung der genannten Größen notwendigen Anzeige- und Bedienelementen ausgerüstet um von einer einzelnen Person betrieben werden zu können. Grundsätzlich ist zwischen digitalen Multimetern (DMM) und analogen Multimetern (AMM) zu unterscheiden, zuletzt genannte Kategorie spielt in der Praxis nur eine untergeordnete Rolle.

Im Rahmen des Versuchsablaufs kommt ein Hochleistungsdigitalmultimeter der Firma *Keithley* mit der Modellnummer 2700 zum Einsatz. Die zeitlichen Abstände zum Empfang eines Signals können dabei per Software manuell eingestellt werden. Für sämtliche Versuchsdurchführungen soll alle zehn Sekunden ein Messwert aus dem Versuchsofen über die installierten Thermoleitungen empfangen und die entsprechenden Daten ausgewertet werden. Diese werden schließlich in eine vom Hersteller vorprogrammierte Excel Datei eingespeist.

Der allgemeine experimentelle Aufbau besteht aus folgenden Einzelkomponenten: [58]

- Blackbox (1)
- Digitaler Multimeter *Keithley 2700* mit GPIB-Schnittstelle (2)
- PC (Windows XP) mit GPIB-Schnittstelle (3)
- Software (Vorprogrammierte Exceldatei der Firma *Keithley*) mit GPIB-Unterstützung (4)

Abbildung 13 enthält das allgemeine Schema eines Blockschaltbildes für einen digitalen Multimeter (DMM). Dabei handelt es sich um eine graphische Darstellung der Wechselwirkungen zwischen den wesentlichen Elementen, die für eine elektronische Messdurchführung erforderlich ist. Auch wenn es unterschiedliche technische Gerätekonzeptionen gibt, so sind die angeführten Funktionsgruppen (1-5) grundsätzlich bei jeder Ausführungsform enthalten und entsprechend der nachfolgend dargestellten Kopplungsfolge. [58]

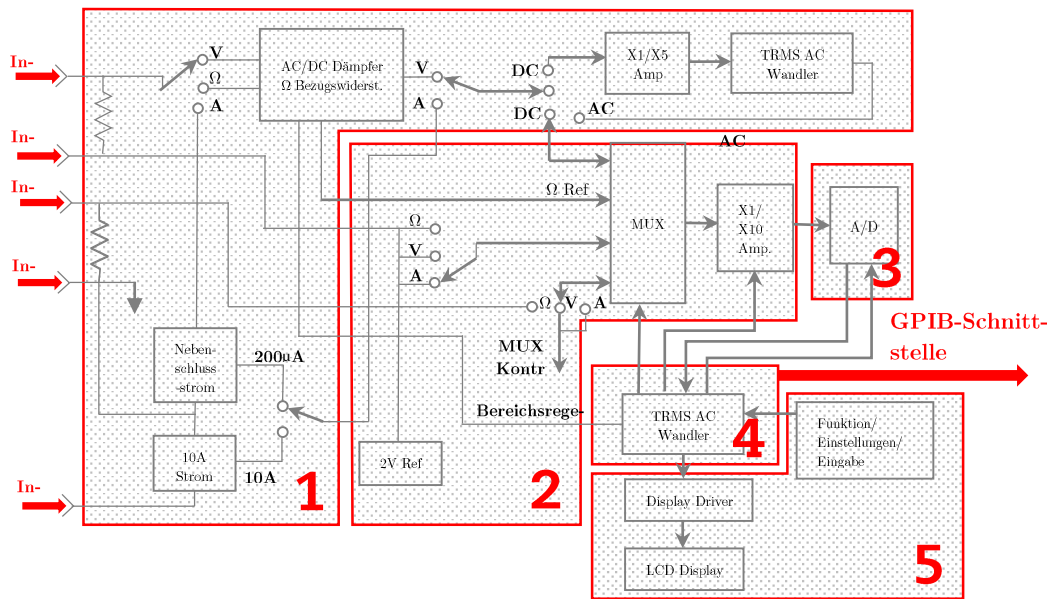
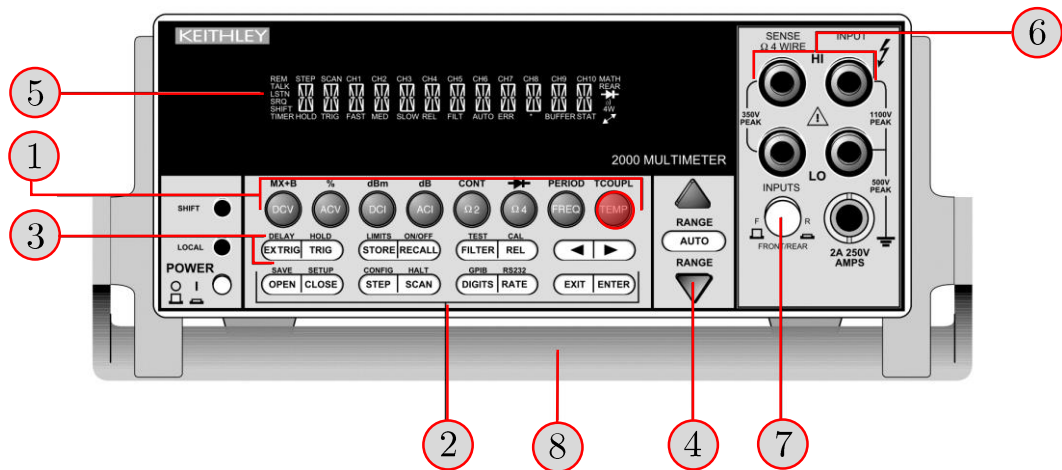


Abbildung 13: Schematischer Aufbau eines Multimeters [58]

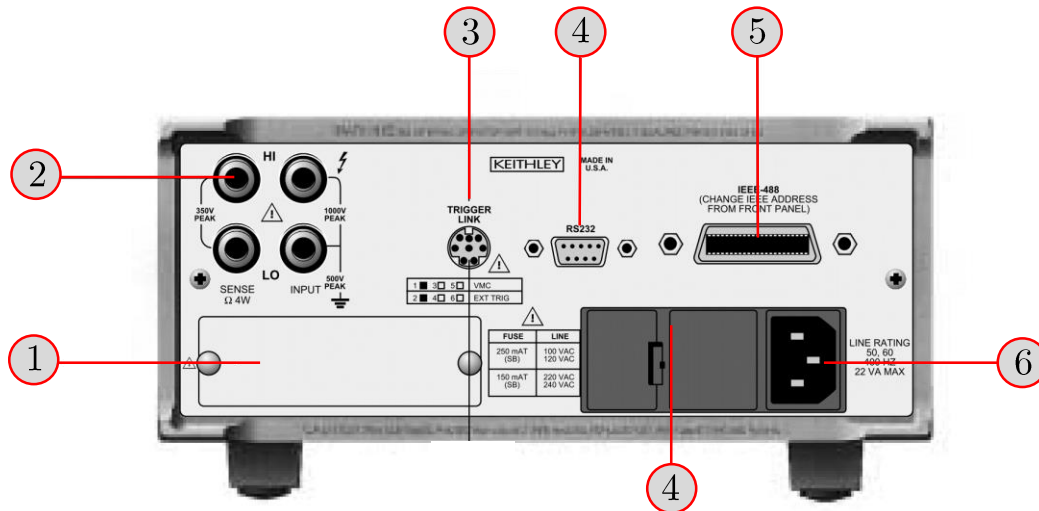
- Funktionsgruppe 1:** In *Abbildung 13* links befinden sich durch rote Pfeile dargestellt die Eingangsbuchsen des Multimeters. Das Eingangssignal wird dabei je nach Messart (Gleichstrom, Wechselstrom, Spannung, elektrischer Widerstand) verstärkt oder abgeschwächt und gefiltert. Die Funktionsgruppe 1 ist durch die Bedienelemente an der Vorderseite des Multimeters unmittelbar steuerbar. Die Eingangsbuchsen entsprechen dabei *Punkt 6* in *Abbildung 14*. Die wesentlichen Einstellungen sind durch die Funktionstasten (*Punkt 1*) zu tätigen. Für die Versuchsdurchführungen wird ausschließlich elektrische Spannung gemessen.
- Funktionsgruppe 2:** In digitalen Messgeräten ist immer eine Referenzspannungsquelle eingebaut. Der Keithley 2700 nutzt dazu beispielsweise den Bandabstand eines Halbleiters, zudem besteht die Möglichkeit für Eich- und Kalibrierungszwecke externe Referenzquellen anzubinden. Über einen Multiplexerbauteil (MUX) können elektrische Schaltkreise über eine Reihe von Schaltern geöffnet oder geschlossen werden. Die Referenzspannung wird schließlich abwechselnd zu einem AD-Wandler (Funktionsgruppe 3) geführt.
- Funktionsgruppe 3:** Der AD-Wandler (auch „Analog zu Digitalkonverter“) erzeugt abhängig von der Spannung am Analogeingang entsprechende binärer Zahlen und leitet diese an die Proessoreinheit (Funktionsgruppe 4) des Geräts weiter. Er ist das eigentliche Messinstrument eines DMM. Beim verwendeten Hochleistungsmultimeter ist der Wandler so konzipiert, dass die Abtastrate (Wandlungen pro Sekunde) manuell einstellbar ist. Im Normalbetrieb ist die Abtastrate von den Einstellungen des Multiplexers abhängig, der standardmäßig alternierend zwischen Eingangssignal und Referenzsignal wechselt.

- **Funktionsgruppe 4:** Durch die Prozessoreinheit wird der Messablauf kontrolliert, sowie etwaige Funktionseinstellungen getätigt. Sie sorgt für das Timing zwischen den verschiedenen Vorgängen und speichert einen Messwert oder eine Messsequenz.
- **Funktionsgruppe 5:** Diese Gruppe stellt die Schnittstelle zur Auswertung der Messergebnisse dar. Sie besteht aus einer Fronttastatur als Eingabeschnittstelle und einer digitalen Anzeige (Bildschirm) als Ausgabeschnittstelle.



- ① Funktionstasten: Gleich- und Wechselstrom, Widerstände, Frequenz, Periodendauer oder Temperatur mit Thermoelementen (rot markiert)
- ② Operationstasten: Trig, Scan, Digits, Rate, Exit, Enter, Shift, etc.
- ③ Funktionen, die mit der SHIFT-Taste erreicht werden
- ④ Bereichswahltasten
- ⑤ Display/Indikatoren
- ⑥ Anschlüsse
- ⑦ Inputs
- ⑧ Transportgriff

Abbildung 14: Vorderseite des Digitalmultimeters Keithley 2700 [13]



- ① ... Slot für Erweiterungskarte
- ② ... Anschlüsse: **Gleich- und Wechselstrom, Widerstände**
- ③ ... Trigger Link
- ④ ... Serieller RS-232 Anschluss (Anschlüsse verdeckt)
- ⑤ ... IEEE-488 Anschluss: **Verbindet den Multimeter mit dem GPIB-Bus**
- ⑥ ... Netzanschluss

Abbildung 15: Rückseite des Digitalmultimeters Keithley 2700 [13]

3.4.3 **Folgesoftware ExceLINX™**

Die Software für die Auswertung der Daten ist unmittelbar an den digitalen Multimeter geschlossen und entspricht der Funktionsgruppe 4 aus **Abbildung 13**. Mit ihrer Hilfe werden Einstellungen getätigt und der Ablauf der Messungen kontrolliert. Es handelt sich dabei um ein Add-on Produkt für Microsoft Excel mit dem Namen Excelinx-1A. ExceLINX™ erfordert eine 32bit-Gerätetreibersoftware mit der Bezeichnung DriverLINX™ die mit sämtlichen Datenerfassungssteckkarten von Keithley kompatibel ist. Die Datei Excelinx-1A besteht aus mehreren Arbeitsmappen, die folgendermaßen bezeichnet werden:

- DMM Scan (Konfiguration der DMM Kanäle)
- DMM Config (Konfiguration und Aktivierung der maßgebenden Thermokabeln)
- Daten_log (Aufzeichnung der Ergebnisse für die unterschiedlichen Messstellen)
- Einheitstemperaturzeitkurve ETK (Sollwerte und Toleranzbereich der ETK)
- ETK und Temperaturverlauf Bereichsdarstellung (0-5min, 5-10min, 10-15min, 15-30min, 30-45min, 45-60min, 60-75min, 75-90min)
- ETK und Temperaturverlauf (30min, 60min, 90min, 120min, 180min)

Nach der Installation von Excelinx-1a ist das Add-on zu aktivieren. Ins danach erscheinende Menüfenster lassen sich die Konfigurationsdateien laden, sowie die Versuchsdurchführung je nach Bedarf per Knopfdruck starten, stoppen oder beenden. Bevor es zu einem Einsatz kommen kann müssen die Messinstrumente konfiguriert und die Schnittstellen an den jeweiligen Versuch angepasst werden. An den zur Verfügung stehenden DMM *Keithley 2700* waren bereits zum Zeitpunkt des Versuchsbeginns aus früheren Forschungsreihen 30 Thermokanäle an die Rückseite des Geräts angeschlossen, die allesamt gleichzeitig Messergebnisse liefern können. Für den Versuchsablauf dieser Arbeit sind lediglich 8 der 30 möglichen Kanäle zu belegen. Dabei messen die gewählten Kanäle 201-204 stets die Ofentemperatur, die Kanäle 205-207 die Temperatur in der Bauteilfuge und Kanal 208 die Raumtemperatur. Die Datei ist entsprechend der gewählten Versuchsparameter umzuschreiben, was jedoch keinerlei Programmierwissen abverlangt. Zur Adaptierung der Konfigurationsdateien werden lediglich Kenntnisse in Microsoft Excel vorausgesetzt, womit sich die beschriebenen Versuchsparameter entsprechend der Darstellungen im **Anhang** unter **7.3 Ergänzungen zu ExceLINX** einstellen lassen.

Die *ÖNORM EN 13501-2* [34] definiert neben der Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten hinsichtlich ihres Brandverhaltens auch mit der Einheitstemperaturzeitkurve das für Brandversuche üblicherweise heranzuziehende Bemessungsmodell. Dieses entspricht der idealisierten Aufheizung für einen voll entwickelten Brand in einem Raum und wird in einem Zeit-Temperaturdiagramm veranschaulicht.

Die Diagrammwerte der Einheitstemperaturzeitkurve sind in der *ÖNORM EN 13501-2* vorgegeben (vergleiche **Tabelle 7, Abschnitt 3.2.2**) und wurden dementsprechend tabellarisch in die ExceLINUX-Datei übernommen. Die ersten fünf Minuten eines jeden Versuchs im Prüfofen kann als Justierungsphase bezeichnet werden, da durch mehrmaliges Anpassen des Gasdrucks erst eine Angleichung der Temperaturentwicklung an die Sollkurve erfolgt. Daher ist für diesen Zeitraum auch keine Toleranzgrenze vorgesehen.

Im weiteren Verlauf gibt es eine obere und eine untere Schranke der Einheitstemperaturzeitkurve. Beide Kurven haben eine maximale Abweichung von 101,8°C bei exakt 10 Minuten und eine minimale Abweichung von 23,6°C bei 60,3 Minuten, wobei die Abweichung zur Einheitstemperaturzeitkurve ab etwa 58 Minuten mit einer Schwankungsbreite von 23,6°C bis 25,1°C als konstant betrachtet werden kann.

Konkret sind die zulässigen prozentuellen Abweichungen der Kurvenfläche der mittleren Temperatur (t_{θ}) zur Einheitstemperaturzeitkurve in der *ÖNORM EN 1363-1* definiert. Obwohl für die ersten fünf Minuten der Prüfung keine Einschränkungen vorgegeben sind, wird davon ausgegangen, dass die vorgegebenen Temperaturzeitverhältnis innerhalb dieses Zeitraums so weit wie möglich eingehalten werden, um die Differenz zwischen den Integralen der festgelegten und der erzielten Kurven zu jeder Zeit der Prüfung so gering wie möglich zu halten. Die Grenzabweichungen um die festgelegte Temperaturzeitkurve sind danach wie folgt definiert:

$$15 \% \quad \text{für } 5\text{min} < t \leq 10\text{min}; \quad (4)$$

$$(15 - 0,5 (t - 10)) \% \quad \text{für } 10\text{min} < t \leq 30\text{min}; \quad (5)$$

$$5 - 0,083 (t - 30) \% \quad \text{für } 30\text{min} < t \leq 60\text{min}; \quad (6)$$

$$2,5 \% \quad \text{für } t > 60 \text{ min}. \quad (7)$$

Die prozentuale Abweichung d_e errechnet sich wie folgt:

$$d_e = \frac{A - A_s}{A_s} \cdot 100 \quad (8)$$

Dabei ist:

- d_e ... die prozentuale Abweichung [%]
- A ... die Fläche unterhalb der tatsächlichen Ofen-Temperaturzeitkurve
- A_s ... die Fläche unterhalb der festgelegten Temperaturzeitkurve
- t ... Zeit [min]

Alle Flächen sind nach dem gleichen Verfahren zu berechnen. Dabei erfolgt eine Summierung der Einzelflächen in Abständen von höchstens einer Minute, wobei die Summe von $t=0$ ausgehend zu berechnen ist.

Im Tabellenblatt „Daten_log“ (vergleiche dazu **Anhang 22**) werden in ExceLINX™ die Referenzwerte der Einheitstemperaturzeitkurve entsprechend ÖNORM EN 1363-1 inklusive oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze entsprechend ÖNORM EN 1363-2 dargestellt.

| Ofen-temperatur | | | | BT kurz | BT mittel | BT lang | Raum-temperatur | Zeit-intervalle |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|-----------------|-----------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 205 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 208 | Time |
| 21 | 22 | 22 | 22 | 20 | 20 | 21 | 19 | 0 |
| 72 | 77 | 90 | 92 | 21 | 20 | 21 | 19 | 10 |
| 123 | 137 | 162 | 172 | 21 | 21 | 22 | 19 | 20 |
| 167 | 188 | 218 | 240 | 21 | 21 | 22 | 20 | 30 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 40 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 50 |

Abbildung 16: Exemplarische Darstellung der für die Versuchsdurchführungen adaptierten Messwertausgabe in der Arbeitsmappe „Daten_log“, Messintervalle: 10sek, die Messung wird bis Time= 360sek (60min) bzw. Time = 540sek (90min) fortgeführt

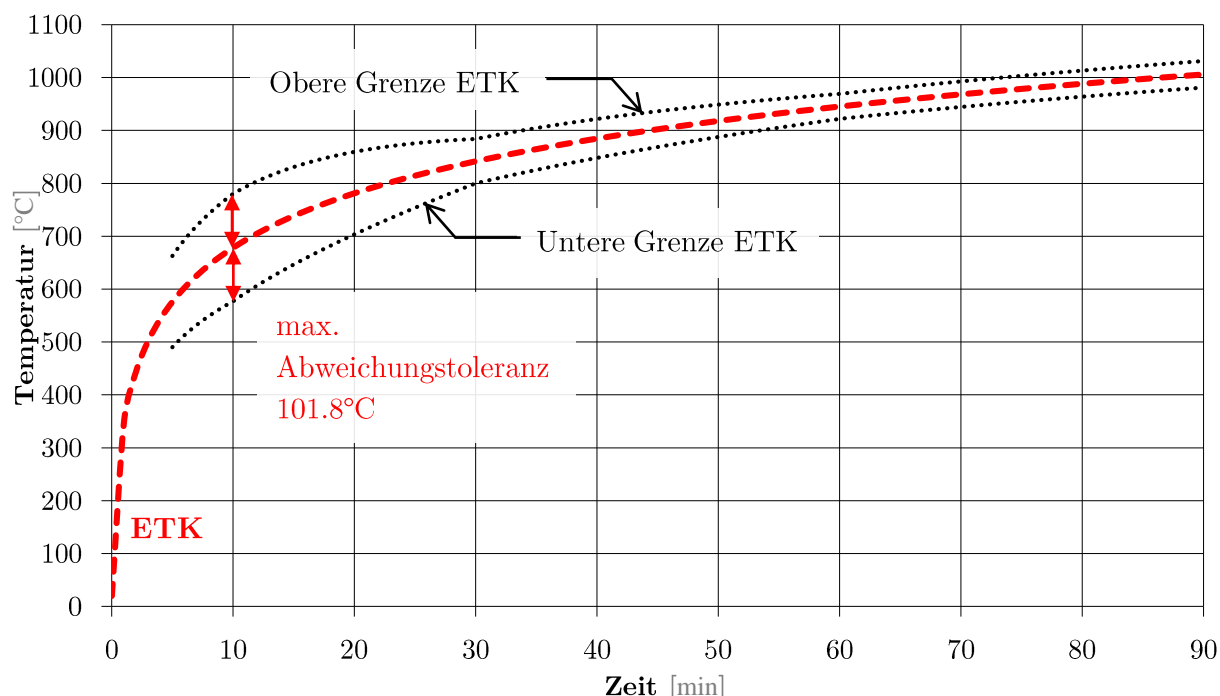


Abbildung 17: Tabellenblatt „ETK“ mit Einheitstemperaturzeitkurve entsprechend ÖNORM EN 1363-1 inklusive oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze entsprechend ÖNORM EN 1363-2 als Diagramm für die Branddauer von 90 Minuten

Nachdem schließlich sämtliche softwareinternen und prüfkörperspezifischen Versuchsvorkehrungen getroffen sind, kann mit den Messungen begonnen werden. Die Ergebnisse werden in der Arbeitsmappe „Daten_log“ dokumentiert, die grafische Entwicklung des Temperaturverlaufs kann während des Versuchs den entsprechenden Bereichsdarstellungen der ETK sowie den Temperaturverlaufdiagrammen (ETK 30min, ETK 60min, ETK 90min) entnommen werden.

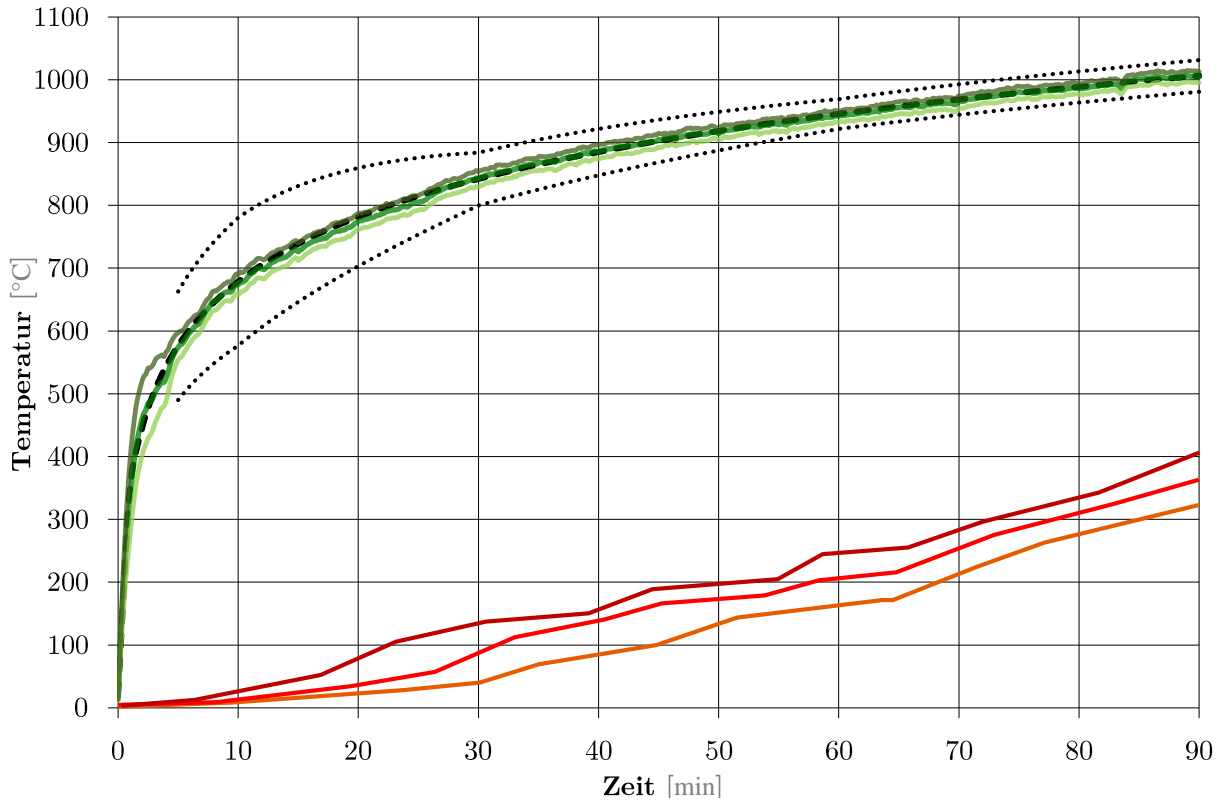


Abbildung 18: Tabellenblatt „Temperaturverlaufdiagramm ETK 90min“ mit Einheitstemperaturzeitkurve entsprechend ÖNORM EN 13501-2 inklusive oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze, sowie den Messergebnissen der Ofentemperatur (grün) und der Bauteilfugentemperatur (rot),

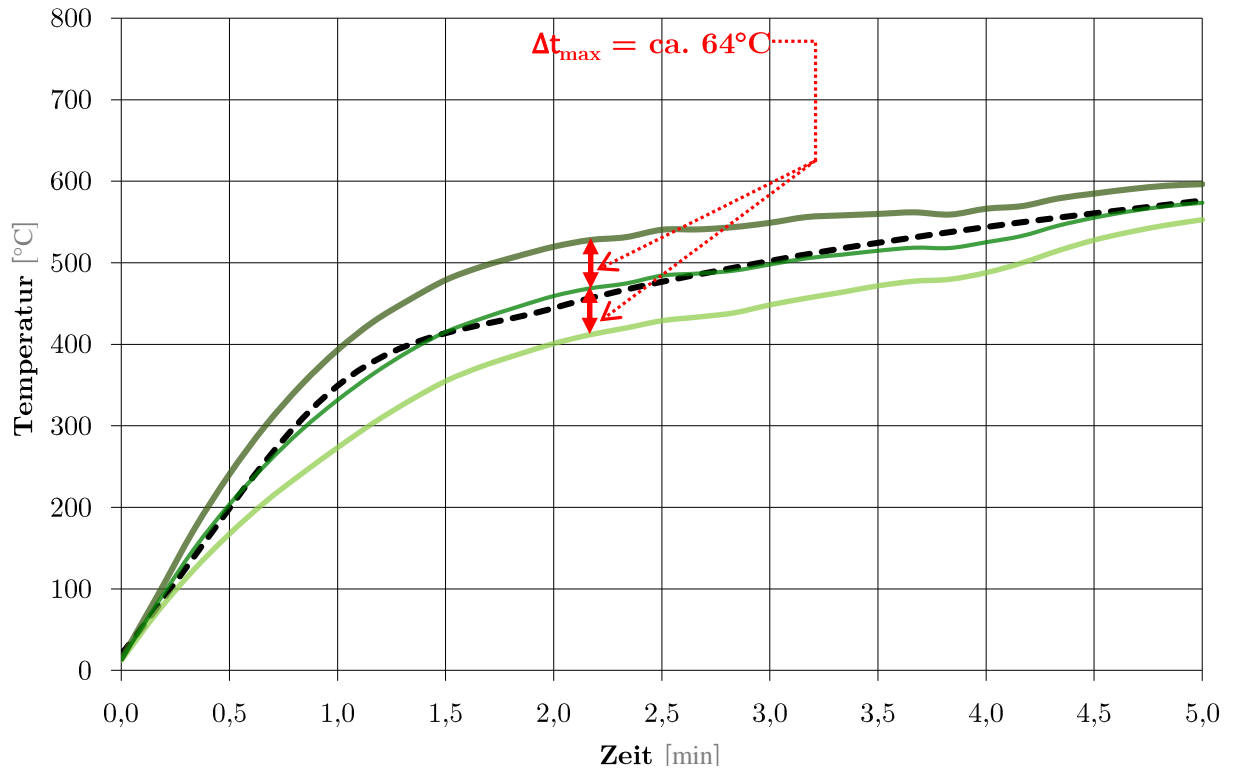


Abbildung 19: Tabellenblatt „-5“ (Bereichsdarstellung Einheitstemperaturzeitkurve 0-5min) mit exemplarischen Messwerten der Ofentemperatur (minimale, maximale und mittlere Temperatur)

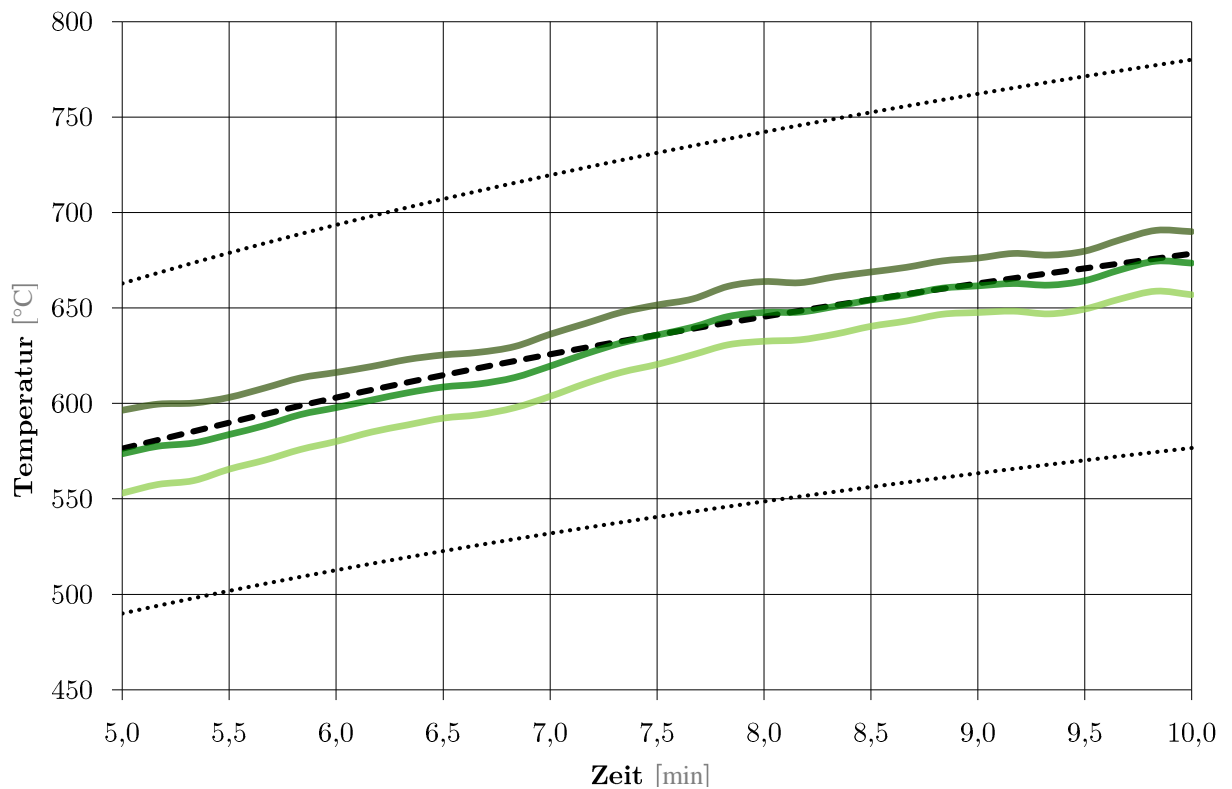


Abbildung 20: Tabellenblatt „-10“ (Bereichsdarstellung Einheitstemperaturzeitkurve 5-10min inkl. oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze) mit exemplarischen Messwerten der Ofentemperatur (minimale, maximale und mittlere Temperatur)

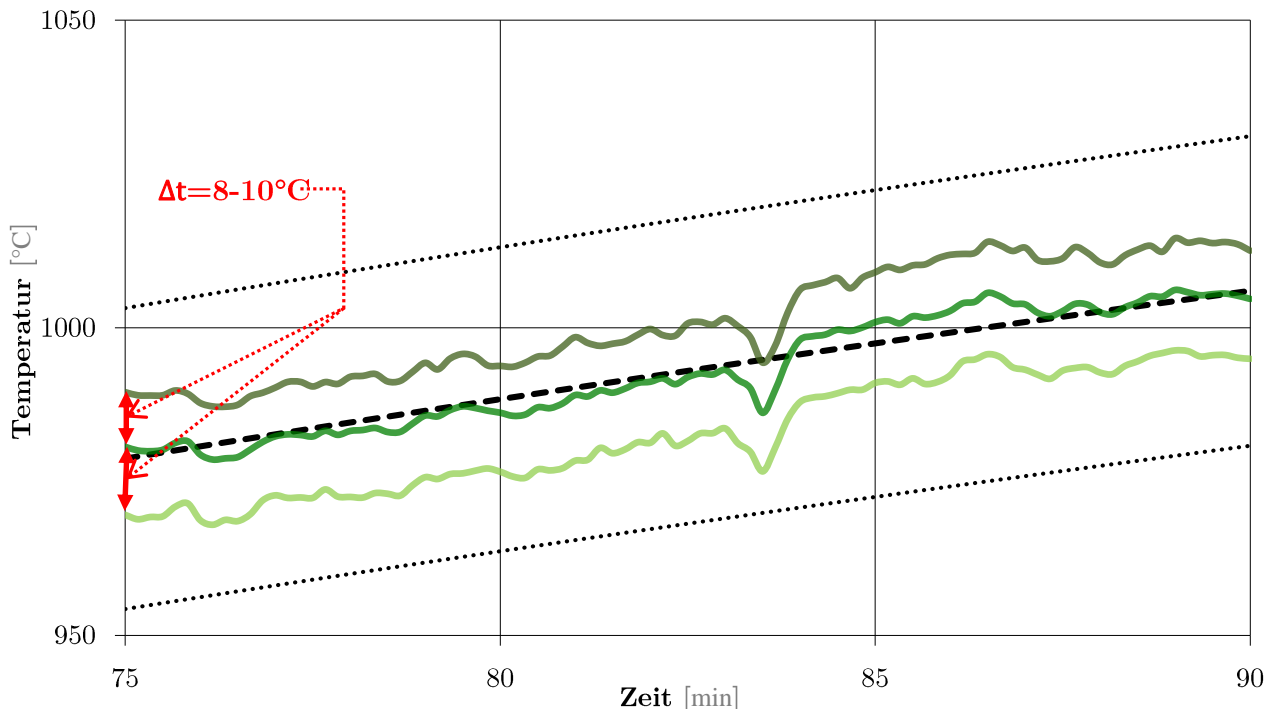


Abbildung 21: Tabellenblatt „-90“ (Bereichsdarstellung Einheitstemperaturzeitkurve 75-90min inkl. oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze) mit exemplarischen Messwerten der Ofentemperatur (minimale, maximale und mittlere Temperatur)

Die drei grün gehaltenen Graphen in den Diagrammen aus **Abbildung 18**, **Abbildung 19**, **Abbildung 20** und **Abbildung 21** sollen über die Steuerung des Gasdrucks möglichst gut an die Einheitstemperaturzeitkurve angeglichen werden. Die Werte werden durch die Messwerte der Temperaturfühler im Ofen gebildet und entsprechen der Minimaltemperatur, der Maximaltemperatur, sowie der aus allen Messfühlern gebildeten Durchschnittstemperatur.

$$t_{min} = \min[t_{CH201}; t_{CH202}; t_{CH203}; t_{CH204}] \quad (9)$$

$$t_{max} = \max[t_{CH201}; t_{CH202}; t_{CH203}; t_{CH204}] \quad (10)$$

$$t_{\emptyset} = \frac{t_{CH201} + t_{CH202} + t_{CH203} + t_{CH204}}{n} \quad \dots \quad n=4 \quad (11)$$

Die in den **Folgeabschnitten 4 und 5** durchgeführten Versuche lassen erkennen, dass die Temperaturextrema im Anfangsstadium der Messungen meist noch relativ stark vom Durchschnittswert abweichen. Dabei sind Unterschiede von bis zu $\pm 64^{\circ}\text{C}$ möglich (siehe **Abbildung 19**). Mit Fortdauer eines Versuchs gleichen sich die drei Graphen jedoch besser an einander an

(siehe **Abbildung 21**), so dass das angestrebte Konzeptionsziel des Prüfofens mit einer maximal zulässigen Abweichung von 10°C zur Simulation einer einheitlichen Raumtemperatur als erfüllt betrachtet werden kann.

3.4.4 Feuchtemessung und Bestimmung der Feuchte durch Darrtrocknung

3.4.4.1 Feuchtebestimmung der Holzproben

Die Verwendung von trockenem Bauholz ist eine der Grundvoraussetzungen im Holzbau und wird auch in den entsprechenden Verordnungen, Richtlinien und Normenwerken gefordert. Die *ÖNORM DIN 4074-1* [41] definiert 20% Holzfeuchte als den oberen Grenzwert für „trockenes“ Holz. Ist der Feuchtegehalt zu hoch, kann es zu unerwünschten Nebenerscheinungen kommen. Die häufigsten Probleme im Zusammenhang mit „nassem“ Holz sind:

- starkes Schwinden das wiederum Verdrehungen und Verkrümmungen zur Folge hat.
- das Arbeiten des Holzes führt häufig auch zur konstruktiven Beeinträchtigung der unmittelbar angrenzenden Bauteile.
- Risse im Holz führen einerseits zur Schwächung der inneren Struktur, andererseits setzen sie die Dichtigkeit der Konstruktion herab und begünstigen damit Wärmeverluste und die Tauwasserbildung.
- stark zerklüftetes Holz bietet ein ideales Milieu für Holzschädlinge.
- feuchtes Holz begünstigt die Bildung von Schimmelpilz

Die Holzfeuchte bezeichnet den prozentuellen Anteil von in Holzzellen und Zellzwischenräumen eingelagertem Wasser. Dabei sind Schwindvorgänge bereits deutlich unter dem Fasersättigungsbereich möglich. Die Prozentzahl gibt jedoch nicht den Anteil des Gesamtgewichts an, sondern steht für die eingelagerten Wassermassen verglichen mit dem spezifischen Normgewicht des darrtrockenen Holzes einer bestimmten Holzsorte. Die Holzfeuchte u bezieht sich branchenüblich somit auf die Trockenmasse, der Wassergehalt w auf die Gesamtmasse.

Dadurch ergeben sich folgende einfachen linearen Sachverhalte:

$$u = \frac{m_w}{m_0} \cdot 100\% \quad (12)$$

$$w = \frac{m_w}{m_0 + m_w} \cdot 100\% \quad (13)$$

Außerdem gilt:

$$m_w = m_u - m_0 \quad (14)$$

- m_w ... Masse des im Holz eingelagerten Wassers [g]
- m_u ... Gesamtmasse der feuchten Probe [g]
- m_0 ... Masse darrtrockenes Holz [g]

die Umrechnung zwischen Holzfeuchte u und Wassergehalt w ist definiert durch:

$$u = \frac{w}{1-w} \quad \Leftrightarrow \quad w = \frac{u}{1+u} \quad (15)$$

Dabei sind die Rechenwerte für u und w jeweils als Dezimalbrüche anzunehmen (z.B.: $u=5\% = 0,05$)

| w in % | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|--------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| u in % | 5 | 11 | 18 | 25 | 33 | 43 | 54 | 67 | 82 | 100 | 122 | 150 |

Tabelle 10: Typische Werte bei der Gegenüberstellung der Holzfeuchte u und dem Wassergehalt w [62]

Wie **Tabelle 10** zu entnehmen ist, kann Holz also theoretisch mehr Masse in Form von Wasser in sich aufnehmen, als die reine Holzmasse ausmacht. Das ist in der Regel aber nur bei noch lebendem Holz der Fall.

Ist Bauholz keiner direkten Befeuchtung (z.B.: durch Regen oder Erdfeuchte) ausgesetzt, stellt sich die von der relativen Luftfeuchtigkeit und der Umgebungstemperatur abhängige Ausgleichsfeuchte ein. Dieser Zustand wird häufig als „lufttrocken“ bezeichnet und liegt bei geschlossenen und beheizten Räumen zwischen 5% und 15%, bei überdachten und offenen Bauteilen zwischen 10% und 20%. [63]

Die entsprechenden feuchtespezifischen Abstufungen sind in **Tabelle 11** angeführt

| Zustand | Feuchte | Zustand | Feuchte |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------|-----------|
| fällfrisch | bis 150% | Fenster und Haustüren | 12%-15% |
| wassergesättigt | 100% | Innenräume ohne Heizung | 10%-12% |
| waldfrisch | ca. 60% | Innenräume mit Ofenheizung | 8%-10% |
| Fasersättigungsbereich | 28%-32% | Innenräume mit Zentralheizung | 6%-8% |
| außengelagert | 15%-18% | Darrzustand | 0% |

Tabelle 11: Typische Feuchtegrade von Nutzholz [63]

Üblicherweise wird technisch getrocknetes Holz (die Trocknung erfolgt dabei mittels thermischer Verfahren wie der Konvektionstrocknung oder der Vakuumtrocknung) mit einer Einbaufeuchte zwischen 15% und 18% verwendet. Technisch getrocknetes Holz ist besonders gut in der Lage, im eingebauten Zustand Feuchtigkeitserhöhungen an seiner Oberfläche gut zu regulieren, so dass ein flächendeckender Feuchtigkeitsanstieg im Inneren auch nur sehr langsam erfolgt. Dadurch ist auch die Gefahr für einen möglichen Schimmelpilzbefall sehr gering. Eine andere Möglichkeit ist die Freilufttrocknung, welche die ursprünglichste Form der Konvektionstrocknung darstellt. Dabei ist das Holz gegen direkten Niederschlag zu schützen und möglichst so zu lagern, dass eine permanente Luftzirkulation ungehindert erfolgen kann. Die Freilufttrocknung dauert je nach Holzart und klimatischen Verhältnissen mit vier bis zwölf Wochen verhältnismäßig lang, allerdings hat diese Methode den Vorteil, dass der Prozess ohne jeglichen Energieeinsatz erfolgt.

Für die Versuchsdurchführung wurde ein Brettsperrholzbinder verwendet, der an der *Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik* entsprechend der Lagerungsbedingungen für die Freilufttrocknung über mehrere Monate hinweg gestapelt wurde. Somit war zu erwarten, dass der Feuchtegehalt der zugeschnittenen Probekörper zwischen 15% und 18% betragen würde.



Abbildung 22: Brettsperrholzbinder als Ausgangsmaterial für die Probekörper bei der Freiluftlagerung

Nach dem Zuschnitt der Probekörper erfolgte eine stichprobenartige Messung der Holzfeuchte. Dafür wurde ein Mikroprozessor-Feuchtemessgerät der Firma *Bollmann* mit der Typenbezeichnung *Combo 200* verwendet, welches vom Hersteller als Spitzenmodell vermarktet wird. Die Messung erfolgt über eine Hohlkammersonde mit zwei nadelförmigen Einsteckelektroden, die über den elektrischen Widerstand Rückschlüsse auf die im Holz enthaltene Feuchte geben. Die

Messbandbreite beinhaltet den Bereich zwischen 4% und 120%, die Anzeigegenauigkeit beträgt laut Hersteller 0,10%.



Abbildung 23: Handkoffer Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 (links) und Hohlkammersonde mit 2x 60mm Nadelelektroden (rechts)

| BES Bollmann Combo 200 | |
|-----------------------------|--|
| System | Microprozessor-Feuchtemessgerät |
| Messprinzip | elektrischer Widerstand |
| Anwendung | alle bekannten Holzarten, hygroskopische Stoffe, sowie gebundene Baustoffe, Pappe und Papier |
| Anzeigegenauigkeit | 0,10% |
| Messbereich | 4% bis 120% (Holzfeuchte) |
| Baustoffgruppen | 9 |
| Baufeuchtemessung | Direktanzeige der Feuchte |
| Materialtemperaturkorrektur | manuell oder anhand der Messwerte |
| Temperaturmessbereich | -10°C bis +110°C |
| Umgebungstemperatur | 0°C bis 40°C |
| Abmessungen | 180x78x27mm |
| Gewicht | 260g |
| Batterie | IEC G 6F 22 |
| Sonstiges | Messung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, Anzeige von Holztemperatur und Holzgruppe |

Tabelle 12: Auszug aus dem Produktdatenblatt BES Bollmann Combo 200 [03]

Für die Messungen wurden die Nadelelektroden der Sonde entsprechend der Herstellerangabe in zwei gefräste Nuten mit den Abmessungen 4x4mm eingelegt und mittels eines am Gerät angebrachten Schlaggriffs etwa 5cm tief in das Innere des Probenholzes geschlagen. Die Hohlkammersonde ist dabei über eine Messleitung mit dem Messgerät (Combo 200) verbunden,

über das sich die verwendete Stoffgruppe (Stoffgruppe 4 für Fichtenholz), sowie der Temperaturkompensationsbereich (0°C bis 100°C) einstellen lassen.

Die vorab ermessenen Werte der fünf genommenen Stichproben sind praktisch identisch und befinden sich alle innerhalb des für einen richtig gelagerten Holzwerkstoff üblichen Feuchtigkeitsbereichs von 15% bis 18%. Damit stellen sämtliche Probekörper eine hinreichend gute Annäherung an eine in der Praxis eingebaute Massivholzwand dar. Eine zusätzliche Lagerung des Holzes in der institutseigenen Trockenkammer war somit nicht erforderlich.

| Tag 0 – 14.10.2014 | Stichprobe 1 | Stichprobe 2 | Stichprobe 3 | Stichprobe 4 | Stichprobe 5 | Durchschnitt |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Feuchtegehalt | 16,9% | 16,9% | 16,9% | 16,8% | 16,9% | 16,9% |
| Temperatur | 21,0°C | 21,1°C | 21,0°C | 21,0°C | 21,0°C | 21,0°C |

Tabelle 13: Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsperrholz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 unmittelbar nach der Entnahme vom überdachten Lagerplatz (Tag 0)



Abbildung 24: Feuchtemessung BES Bollmann 200 am Probekörper mit eingeschlagener Hohlkammersonde

Im Verlauf der experimentellen Versuchsdurchführungen wurde die Feuchtigkeitsentwicklung der Holzproben noch fünf weitere Male gemessen. Dabei kam es während einer Gesamtversuchsdauer von 60 Tagen zu einer Feuchtigkeitsabnahme von rund 2 Masse-%. Die zeitliche

Entwicklung des im Holz enthaltenen Wassergehalts ist in **Abschnitt 4.2.1 - Konditionierung der Probekörper** dargestellt, die dazu gehörigen Messergebnisse werden *im Anhang* unter **7.2.1 - Feuchtigkeitsentwicklung im Holz** angeführt.

| Tag 57 – 10.12.2014 | Stichprobe 1 | Stichprobe 2 | Stichprobe 3 | Stichprobe 4 | Stichprobe 5 | Durchschnitt |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Feuchtegehalt | 14,7% | 14,8% | 14,8% | 14,8% | 14,7% | 14,8% |
| Temperatur | 21,6°C | 21,5°C | 21,5°C | 21,6°C | 21,6°C | 21,6°C |

Tabelle 14: Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsperrholz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 kurz vor Ende der Versuchsdurchführungsphase (Tag 57)

Alternativ wäre auch die Bestimmung der Holzfeuchtigkeit über Darrtrocknung möglich gewesen. Diese Vorgehensweise gilt allgemein als zuverlässigste Form der Feuchtigkeitsbestimmung, aufgrund des vergleichsweise hohen Aufwandes erwies sich die Messung mittels Feuchtemessgerät als zweckmäßigere Durchführungsvariante.

3.4.4.2 Feuchtebestimmung der Holzleichtbetonplatten

Das Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 wird vom Hersteller auch allgemein als Baufeuchtemessgerät bezeichnet, was eine Verwendbarkeit für alle gängigen Baumaterialien suggeriert. Die Messung zementgebundener Holzspanplatten lässt sich mit den 9 programmierten Baustoffgruppen jedoch nicht abdecken. Zudem ist anzunehmen, dass das fasrige und zerklüfteten Materialgefüge des Werkstoffs kein hinreichend genaues Messergebnis für eine Widerstandsmessung ermöglicht. Daher wurde zur Ermittlung der Feuchtigkeit in den verwendeten Holzleichtbetonplatten die konventionelle Methode der Darrtrocknung durchgeführt.

Bei der Darrtrocknung werden Probekörper nach der Bestimmung ihres Ausgangsgewichts in einem Trockenschrank bei circa 100°C so lange getrocknet, bis sich ein konstantes Gewicht einstellt und der darrtrockene Zustand erreicht ist. Über die Gewichts Differenz lässt sich schließlich entsprechend den *Formeln (12) bis (15)* die *Holzfeuchte u* und der *Wassergehalt w* zum Zeitpunkt der Probeentnahme berechnen.

Insgesamt wurden über die Dauer des Versuchszeitraums zehn Messungen zur Dokumentation der Feuchtigkeitsentwicklung bei Raumklima durchgeführt. Jede Durchführung bestand jeweils aus fünf Probekörpern WSD 35 und je fünf Probekörpern WSD 50 (*Materialkennwerte siehe Datenblatt Tabelle 16, Kapitel 4.2.2*) mit den Abmessungen 12x12cm. Bei der Ermittlung des durchschnittlichen Wassergehalts wurden bei jeder Messung der maximale sowie der minimale Wert für die Berechnung nicht berücksichtigt.

Die Holzleichtbetonplatten waren analog zum verwendeten Brettsperrholz ursprünglich im Freien gelagert. Mit Beginn des Standortwechsels und der Lagerung bei Raumklima erfolgte

3 Versuchsplanung - 3.4 Messeinrichtungen und Messgrößen

ein stetiger Abbau des im Baustoff enthaltenen Wasseranteils, der zu Beginn noch bei 11,60 Masse-% lag und sich nach zwei Monaten bei etwa 8,50 Masse-% einpendelte.

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 14.10.2014 08:45h* | Messung 20.10.2014 13:00h | Messung 22.10.2014 15:30h** | m _w | u w/(1-w) | w u/(1+u) |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| P1-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 405,41 g | 350,76 g | 350,73 g | 54,68 g | 13,49 % | 11,89 % |
| P2-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 407,22 g | 349,51 g | 349,37 g | 57,85 g | 14,21 % | 12,44 % |
| P3-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 407,96 g | 363,70 g | 363,59 g | 44,37 g | 10,88 % | 9,81 % |
| P4-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 398,84 g | 345,22 g | 345,15 g | 53,68 g | 13,46 % | 11,86 % |
| P5-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 399,60 g | 346,51 g | 346,48 g | 53,12 g | 13,29 % | 11,73 % |
| P6-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 558,39 g | 475,92 g | 475,83 g | 82,56 g | 14,79 % | 12,88 % |
| P7-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 554,29 g | 488,09 g | 487,94 g | 66,35 g | 11,97 % | 10,69 % |
| P8-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 565,24 g | 486,66 g | 486,56 g | 78,68 g | 13,92 % | 12,22 % |
| P9-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 556,08 g | 480,90 g | 480,70 g | 75,37 g | 13,55 % | 11,94 % |
| P10-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 571,65 g | 508,14 g | 508,09 g | 63,56 g | 11,12 % | 10,01 % |

| | u | w |
|--------------|---------|---------|
| DURCHSCHNITT | 13,13 % | 11,60 % |

Abbildung 25: Feuchtigkeitsbestimmung von Holzleichtbetonplatten WSD 35 und WSD 50 an 10 Probekörpern mittels Darrtrocknung im Trockenofen unmittelbar nach der Entnahme vom Lagerplatz (Tag 0)

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 10.12.2014 13:30h* | Messung 15.12.2014 07:30h | Messung 17.12.2014 07:30h** | m _w | u w/(1-w) | w u/(1+u) |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| P1-57 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 392,40 g | 359,80 g | 359,73 g | 32,76 g | 8,35 % | 7,70 % |
| P2-57 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 375,49 g | 342,67 g | 342,53 g | 32,96 g | 8,78 % | 8,07 % |
| P3-57 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 376,20 g | 341,06 g | 341,03 g | 35,17 g | 9,35 % | 8,55 % |

3 Versuchsplanung - 3.4 Messeinrichtungen und Messgrößen

| | | | | | | | | |
|--------|-----------|-------------|----------|----------|----------|---------|------------|--------|
| P4-57 | WSD 35 | 12x12x3.5cm | 383,78 g | 346,97 g | 346,83 g | 36,95 g | 9,63 % | 8,78 % |
| P5-57 | WSD 35 | 12x12x3.5cm | 388,08 g | 350,38 g | 350,31 g | 37,77 g | 9,73 % | 8,87 % |
| P6-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 558,94 g | 497,44 g | 497,24 g | 61,70 g | 11,04 % | 9,94 % |
| P7-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 536,34 g | 485,77 g | 485,72 g | 50,62 g | 9,44 % | 8,62 % |
| P8-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 526,19 g | 479,08 g | 478,94 g | 47,25 g | 8,98 % | 8,24 % |
| P9-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 542,12 g | 492,88 g | 492,73 g | 49,39 g | 9,11 % | 8,35 % |
| P10-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 549,36 g | 497,10 g | 497,00 g | 52,36 g | 9,53 % | 8,70 % |

| | u | w |
|-------------------|-----------|--------|
| DURCH- SCHNITT | 9,32 % | 8,52 % |

Abbildung 26: Feuchtigkeitsbestimmung von Holzleichtbetonplatten WSD 35 und WSD 50 an 10 Probekörpern mittels Darrtrocknung im Trockenofen kurz vor Ende der Versuchsdurchführungsphase (Tag 57)



Abbildung 27: Probekörper WSD 35 und WSD 50 mit den Abmessungen 12x12cm bei der Trocknung im Trockenschrank

3.4.5 Gasdruck

Der Druck in der Brandkammer wird mittels Gasdruckregler gesteuert. Dieser stellt das Verbindungsstück zwischen der Propangasflasche und dem Brenner dar. Im Betrieb ist ein Gasdruck von etwa 0,5-1,0 bar erforderlich um eine Temperaturentwicklung entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve zu erreichen. Das Druckmesssystem ist so beschaffen, dass es schnell beispielsweise durch Turbulenzen hervorgerufene Druckschwankungen ausgleichen kann. Die Druckverteilung über die Höhe des Prüfofens wird hauptsächlich von natürlichen Auftriebseffekten der Gase bewirkt. Nach *ÖNORM EN 1363-1* kann angenommen werden, dass der Druckgradient in der Brandkammer sich um etwa 8,5 Pascal je Meter Prüfofenhöhe verändert. Im vorliegenden Fall beträgt der Höhenunterschied zwischen dem Brennerkopf des für die Versuchsdurchführungen positionierten Brenners und der ofenseitigen Oberfläche des Probekörpers lediglich etwa 25cm, was einem rechnerischen Druckunterschied von rund 2 Pascal entspricht. Die Druckunterschiede innerhalb des Prüfofens sind somit vernachlässigbar klein und können als konstant angenommen werden. Der Gasdruck muss speziell in der Anfangsphase überwacht und geregelt werden.



Abbildung 28: Messanzeige des Gasdrucks an der Propangasflasche, Einstellung > 1bar (links) und Messanzeige am Gasdruckregler, übliche Einstellung zwischen 0.5 und 1 bar (rechts)

4 Versuchsvorbereitung

Die Versuchsvorbereitungsphase dient als Grundlage für die eigentlichen Versuchsserien die im *Folgekapitel 5 - Brandversuche und Interpretation* beschrieben werden. Das Hauptaugenmerk liegt auf der ordnungsgemäßen Vorbereitung der Prüfeinrichtung und der Findung eines geeigneten Probekörperaufbaus zur optimalen Simulation eines Realbrandszenarios im Rahmen der Möglichkeitsgrenzen eines Kleinbrandversuchs. Dabei soll das Ziel verfolgt werden, eine Konstruktionsweise zu finden, um negative Einflüsse auf das idealisierte eindimensionale Brandmodell bestmöglich zu unterbinden.

4.1 Vorbereitung der Prüfeinrichtung

4.1.1 Standort der Prüfeinrichtung

Da während des gesamten Versuchszeitraums weder das für Brandversuche konzipierte Labor am *Institut für Baustofflehre, Werkstofftechnologie und Brandsicherheit*, noch eine andere geeignete Räumlichkeit mit entsprechenden Vorrichtungen zur kontrollierten Abführung von Rauchgasen zur Verfügung stand, musste der Prüfofen ins Freie transportiert werden. Dadurch konnten aufgrund der meist herbstlichen Temperaturen nicht alle Vorgaben der *ÖNORM EN 1363-1* erfüllt werden (siehe *Folgeabschnitt 4.1.2*).

4.1.2 Überprüfung der Temperaturmeseinrichtungen

Vor Versuchsbeginn wurde stets die Funktionstüchtigkeit aller Temperaturmeseinrichtungen überprüft. Dabei erfolgte bei jedem Probekörper etwa fünf Minuten vor dem Beginn einer Messung ein kurzer Testdurchlauf, nachdem die angeschlossenen Thermoelemente bereits mit dem Multimeter und der Datenauswertungssoftware ExceLINX™ verbunden waren.

| Ofen-temperatur | | | | BT kurz | BT mittel | BT lang | Raumtemperatur | Zeitintervalle |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|----------------|----------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 205 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 208 | Time |
| 21 | 22 | 22 | 22 | 20 | 20 | #### | 19 | 0 |
| 36 | 35 | 22 | 22 | 20 | 20 | #### | 19 | 10 |
| 27 | 26 | 35 | 33 | 20 | 20 | #### | 19 | 20 |
| 24 | 23 | 28 | 27 | 31 | 32 | #### | 19 | 30 |
| 22 | 22 | 25 | 24 | 27 | 26 | #### | 29 | 40 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 50 |

Abbildung 29: Überprüfung aller Temperaturmessfühler in der Arbeitsmappe „Daten_log“, Messintervalle: 10sek

Durch bloßes Berühren der Fühlerenden mit den Fingern war im Falle eines korrekten Anschlusses eine deutliche Temperaturerhöhung zu erkennen, zeitweise auftretende Fehler (####) konnten somit noch behoben werden. Diese waren im Regelfall auf defekte Thermostecker oder auf unsaubere Verarbeitung der Drähte im Anschlussbereich zurück zu führen.

Die *ÖNORM EN 1363-1* gibt Temperaturbereiche vor, innerhalb derer sich die unterschiedlichen Thermolemente zu Beginn der Untersuchungen zu befinden haben:

- **Ofentemperatur:** +30°C ± 20°C
- **Temperatur in der Bauteilfuge:** +20°C ± 10°C
- **Temperatur in der Bauteilfuge:** maximal ± 5°C Abweichung von der
Umgebungstemperatur
- **Umgebungstemperatur:** Messung der Lufttemperatur in einem
Horizontalen Abstand von 1m bis 3m
- **Umgebungstemperatur:** +10°C bis +40°C

Der experimentelle Teil dieser Arbeit wurde in vier Etappen zwischen Mitte Oktober und Mitte Dezember 2014 durchgeführt. Aufgrund der für diese Jahreszeit vergleichsweise milden Außentemperaturen konnten die Vorgaben hinsichtlich der Anfangstemperaturen im Ofen und in den Bauteilfugen bei allen Einzelversuchen problemlos erfüllt werden. Die maximale Abweichung von ±5°C zwischen der Bauteilfuge und der Umgebung konnte ebenso eingehalten werden. Allerdings betrug die gemessene Außentemperatur während des gesamten Zeitraums der letzten Etappe (9.12.2014 bis 12.12.2014) zwischen +1°C und +10°C, weshalb die Vorgabe der Einhaltung einer Umgebungstemperatur von +10°C bis +40°C großteils nicht eingehalten werden konnte.

Betroffen davon sind die folgenden vier Versuche (*vergleiche Protokoll unter **Abschnitt 7.1** im **Anhang***):

| Versuchs-Nr. | Datum | Bezeichnung | Typ | Temperatur | Abweichung |
|--------------|------------|----------------------|--------------|------------|------------|
| 20 | 10.12.2014 | HV3-90a | Hauptversuch | 9°C | 1°C |
| 22 | 11.12.2014 | HV1-90a | Hauptversuch | 6°C | 4°C |
| 23 | 11.12.2014 | HV1-90b | Hauptversuch | 9°C | 1°C |
| 24 | 12.12.2014 | HV1-90 feucht | Hauptversuch | 8°C | 2°C |

Tabelle 15: Abweichung der Anfangstemperaturen zur Vorgabe nach *ÖNORM EN 1363-1* (+10°C bis +40°C)

Die Messung erfolgte mittels NiCr-Ni-Thermolementen (Typ K) stets in einem horizontalen Abstand von 1-2m Entfernung.

4.2 Probekörper

4.2.1 Konditionierung der Probekörper

Nach der *ÖNORM EN 1363-1* müssen die Festigkeiten und der Feuchtegehalt eines Probekörpers zum Zeitpunkt der Prüfung annähernd dem Zustand entsprechen, der bei der üblichen Verwendung im praxisnahen Einbauzustand zu erwarten ist. Der Probekörper ist vorzugsweise erst dann zu prüfen, wenn er nach einer Lagerung in Umgebungsluft von näherungsweise 50% relativer Feuchte bei einer Temperatur von etwa 23°C seine Gleichgewichtsfeuchte erreicht hat. Falls die Konditionierung des Probekörpers davon merkbar abweicht, muss dies protokolliert werden.

Die Gleichgewichtsfeuchte (in der Literatur häufig auch als Ausgleichsfeuchte bezeichnet) ist definitionsgemäß von Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Umgebung abhängig. Dabei stellt sich bei längerer Lagerung hygroskopischer Werkstoffe oder bei deren Einbau in einem Raum mit konstanten klimatischen Bedingungen ein bestimmter innerer Feuchtegehalt ein.

Üblich wäre eine im Holz enthaltene Feuchte zwischen 11% und 12% bei 20°C und etwa 60 % relativer Luftfeuchtigkeit. [11] Es gibt aber auch Quellen, die bei gleicher Konditionierung für Holz eine Gleichgewichtsfeuchte von etwa 15% anführen. [65]

Die Materialien zur Herstellung der Probekörper wurden ursprünglich außen gelagert und wiesen die dafür typischen Wasseranteile auf:

- **Holz:** rd. 16,90 Masse-% (Messung mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200, *siehe Abschnitt 3.4.4*)
- **Holzleichtbeton:** rd. 11,60 Masse-% (Ermittlung durch Darrtrocknung von Probekörpern, *siehe Abschnitt 3.4.4*)

Nach der Entnahme vom Lagerplatz am 14.10.2014 erfolgte eine mehrwöchige Lagerung im Innenbereich der Werkshalle des *Instituts für Baustofflehre, Werkstofftechnologie und Brandsicherheit* bei einer Luftfeuchtigkeit von 55-60% und einer Raumtemperatur, die sich um die 20°C bewegt. Der Feuchtegehalt wurde in regelmäßigen Abständen an Probekörpern mit den Abmessungen 12x12cm gemessen. Dadurch stellten sich gegen Ende des Versuchszeitraums folgende durchschnittlichen Wassergehalte ein:

- **Holz:** rd. 14,80 Masse-% (Messung mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200, *siehe Abschnitt 3.4.4*)
- **Holzleichtbeton:** rd. 8,50 Masse-% (Ermittlung durch Darrtrocknung von Probekörpern, *siehe Abschnitt 3.4.4*)

Die zeitliche Entwicklung des Wassergehalts ist in *Abbildung 30* dargestellt, die dazu gehörigen Messergebnisse werden *im Anhang unter 7.2.2 - Feuchtigkeitsentwicklung in den Holzleichtbetonplatten* angeführt.

Legende

- ... Versuchsdurchführungen Vorversuche
- ... Versuchsdurchführungen Hauptversuche
- ✕ ... **Holzleichtbetonplatte:** Wassergehalt einer einzelnen Probe am Tag x
- ✕ ... **Holzleichtbetonplatte:** gemittelter Wassergehalt aus 8 (bzw. 10) Proben am Tag x
- - - ... **Holzleichtbetonplatte:** resultierender Verlauf des Wassergehalts über einen Zeitraum von 60 Tagen
- ◆ ... **Brettsperrholz:** gemittelter Wassergehalt aus 5 Proben am Tag x
- - - ... **Brettsperrholz:** resultierender Verlauf des Wassergehalts über einen Zeitraum von 60 Tagen

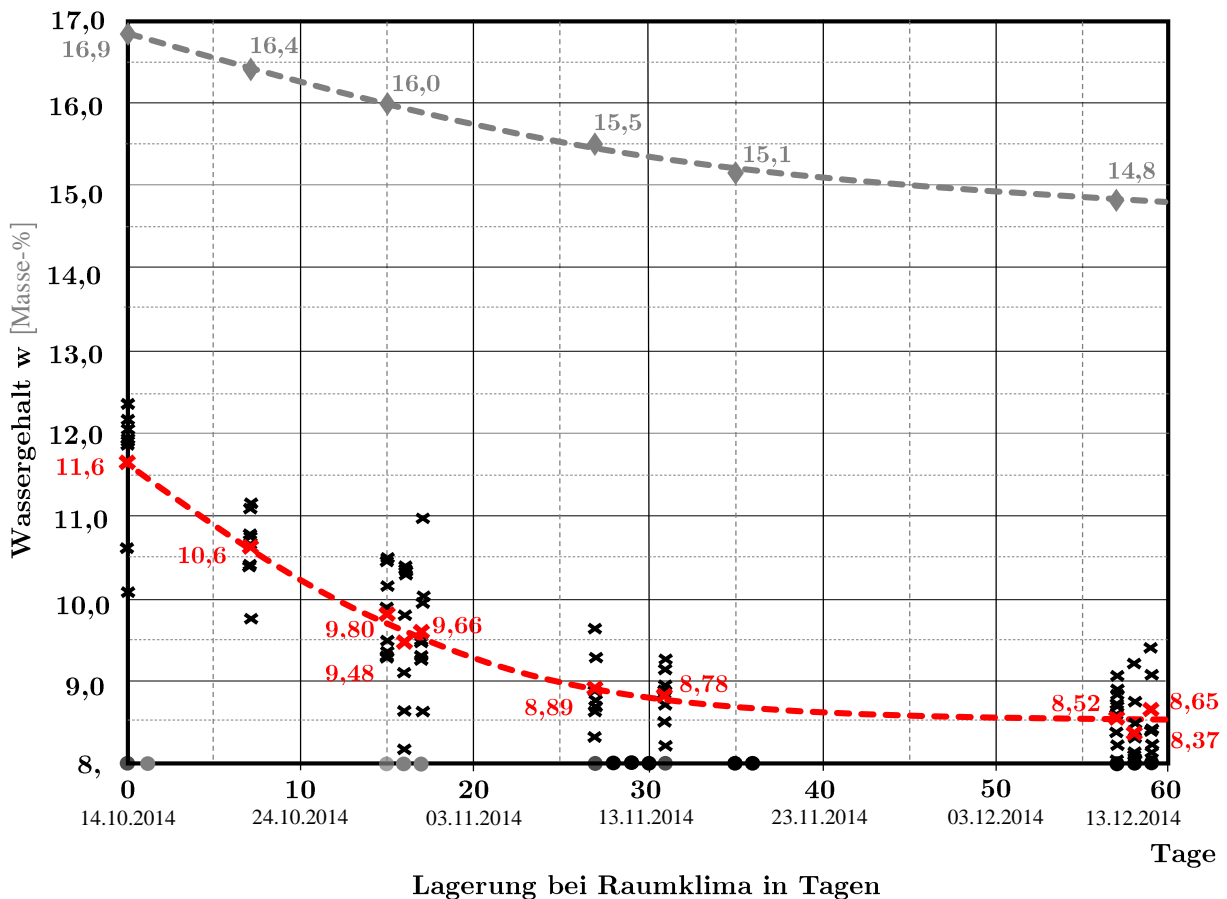


Abbildung 30: Schematische Darstellung der Entwicklung des Wassergehalts in den für die Versuchsdurchführungen verwendeten Holzleichtbeton-Platten WSD 35 und WSD 50, sowie Probekörpern aus Brettsperrholz, Lagerung bei einer Luftfeuchtigkeit von 55%-60% und einer Raumtemperatur um 20°C

4.2.2 Herstellung der Probekörper

4.2.2.1 Überlegungen zum Probekörperaufbau

Bei der Durchführung eines eindimensionalen Normbrandversuchs handelt es sich um die einfachste Form der Versuchsdurchführung zur Ermittlung der Brandbeständigkeit eines bestimmten Schichtaufbaus. Dabei ist die Anzahl der zu treffenden Parameter im Vergleich zu großformatigen Versuchsaufbauten relativ überschaubar. Die wesentlichen Punkte betreffen den Einfluss der Fuge bei unterschiedlichen Ausführungsformen sowie die Rolle des Wasserdampfes in der Konstruktion. Konkret wurden in diesem Zusammenhang folgende Fragen formuliert:

Wasserdampf:

- Welchen Einfluss hat das Entweichungspotenzial des im Bauteil enthaltenen Wassers auf die Geschwindigkeit der Temperaturerhöhung?
- Wie sehr ist die Entweichung von Wasserdampf in einer realen Konstruktion möglich?
- Welcher Probekörperaufbau ist zu wählen und welchem realen Fall entspricht er?

Bauteilfuge:

- Reicht eine ausschließlich brandseitige Anbringung einer Feuerschutzplatte zur Simulation eines Realbrandes oder empfiehlt sich auch eine zusätzliche seitliche Dämmung?
- Wie groß ist der seitliche Energieeintrag durch eine unkontrollierte Wärmeströmung infolge entweichender Brandgase?

Ein Teil der Fragestellungen wurde bereits in der Dissertation „*Untersuchung der Prinzipien des Brandverhaltens von Holz-Stahl Verbundkonstruktionen*“ von *Josef Wolfsgruber* [66] behandelt. Dabei erfolgte unter anderem ein Vergleich zweier ummantelter Probekörperaufbauten die jeweils aus einem Verbund zwischen Vollholzquerschnitt und einer Stahlplatte sowie einer zusätzlichen Vorholzschiene zum Schutz des Stahls bestanden. Beide Variante unterschieden sich lediglich durch die Art ihrer Ummantelung. Die Temperatur wurde jeweils an der „heißen“ Seite der Stahlplatte gemessen, dabei war zu erkennen, dass die Ummantelung durch eine dichte aber im Querschnitt sehr dünne Aluminiumsilikatfasermatte (Variante 1) zu deutlich höheren Querschnittstemperaturen führt als die alternativ verwendeten Feuerschutzplatten (Variante 2). Im Zusammenhang mit der festgestellten Verkohlungs an den Probekörperenden bei Variante 1 stuft *Wolfsgruber* den Aufbau hinsichtlich des Schutzes gegen unkontrollierbaren seitlichen Wärmeeintrag als ungenügend ein. Die Gegenüberstellung beider Temperaturzeitverläufe über eine Brandbelastungsdauer von 60 Minuten ist in **Abbildung 31** dargestellt. [66]

Der Abbildung ist zu entnehmen, dass die Temperaturentwicklung beider Verläufe in den ersten Minuten noch geringfügig voneinander abweicht, mit zunehmender Versuchsdauer entfernen sich die aufgezeichneten Graphen jedoch deutlich voneinander.

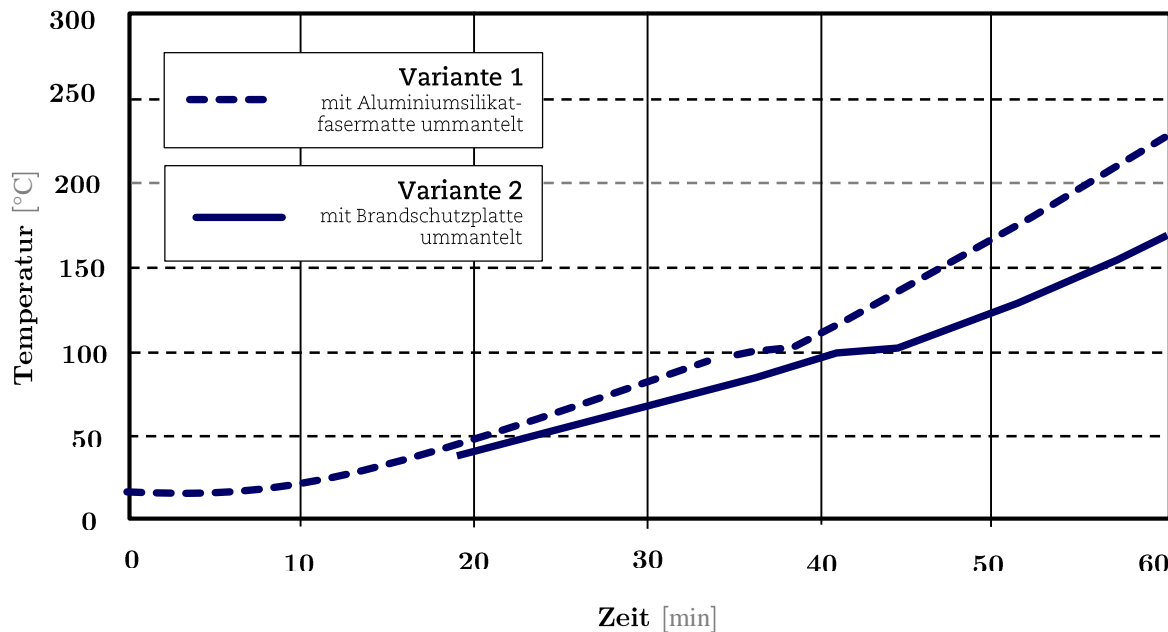


Abbildung 31: Temperaturentwicklung in Abhängigkeit von der gewählten Ummantelung der Probekörper mit Brandschutzplatten bzw. mit Aluminiumsilikatfaserplatten an der „heißen“ Seite der Stahlplatte [66]

Basierend auf *Wolfsgrubers* Ausführungen liegt der Folgeschluss nahe, dass eine gleichzeitige Anbringung beider Ummantelungselemente, also einer Aluminiumsilikatfaserplatte zur vollständigen Abdichtung von innen, sowie einer zusätzlichen Feuerschutzplatte als Schutz gegen unkontrollierten seitlichen Wärmeeintrag von außen zu einem ausreichenden Schutz führen würde. Es stellt sich allerdings auch die Frage, wie praxisnah eine vollständige seitliche Abdichtung gegen entweichende Rauchgase oder Wasserdampf ist. Grundsätzlich wird man bei zu kapselnden Bauteilen immer danach trachten ein möglichst hohes Maß an Dichtheit zu erreichen, um eindringendes Feuer so lang wie möglich von der Tragkonstruktion fern zu halten. Ist allerdings auch die Freisetzung des Wasserdampfes von innen nach außen gestört, könnte sich durch den hohen Druck ein gegenläufiger Effekt einstellen, der zu einem rascheren Temperaturanstieg von innen führt. Für die in dieser Arbeit hergestellten Probekörper wurde in Anlehnung an *Wolfsgrubers* Erkenntnisse entweder keine seitliche Dämmung zur Feststellung des seitlichen Temperatureintrages verwendet oder eine Dämmung mittels Plattenerzeugnissen aus Holzleichtbeton.

4.2.2.2 Wahl der Probekörpertypen für die Vorversuchsreihe

Für die Durchführung der Vorversuche wurden drei unterschiedliche Probekörpertypen gewählt, wobei die Versuchsergebnisse anschließend miteinander zu vergleichen waren. Im Falle von Abweichungen soll jene Variante gewählt werden, die das ungünstigste Brandschutzverhalten darstellt.

Die Vorversuchsreihen sind folgendermaßen definiert:

- **Vorversuchsreihe 1 (VV1):** Probenholz 30x25x12cm mit einfacher ofenseitiger unverklebter Brandschutzbekleidung ohne seitlicher Dämmung, *Skizze und Versuchsergebnisse siehe Abschnitt 4.2.4.1 - Vorversuchsreihe 1 (VV1)*
- **Vorversuchsreihe 2 (VV2):** Probenholz 30x25x12cm mit einfacher ofenseitiger unverklebter Brandschutzbekleidung und durchgehender seitlicher Dämmung, *Skizze und Versuchsergebnisse siehe Abschnitt 2.4.4.2 - Vorversuchsreihe 2 (VV2)*
- **Vorversuchsreihe 3 (VV3):** Probenholz 30x25x12cm mit einfacher durchgehender ofenseitiger unverklebter Brandschutzbekleidung und seitlicher Dämmung, *Skizze und Versuchsergebnisse siehe Abschnitt 4.2.4.3 - Vorversuchsreihe 3 (VV3)*

In einer weiteren Referenzversuchsreihe erfolgt eine Betrachtung der Brandschutzwirkung von Gipsfaserplatten. Für diesen Werkstoff gibt es bereits abgeschlossene Forschungsarbeiten an der *TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Holzforschung*, die eine Eignung zur Erfüllung des Kapselkriteriums bestätigen. [12]

- **Referenzversuchsreihe (RV):** Probenholz 30x25x12cm mit Brandschutzbekleidung (2x Gipsfaserplatte 1,5cm unverklebt), *Skizze und Versuchsergebnisse siehe Abschnitt 4.2.4.4 - Vorversuchsreihe 4 (RV)*

4.2.2.3 Feuerschutzplatten

Für die Versuchsreihen VV1 bis VV3 sowie für sämtliche Hauptversuche kommen Plattenerzeugnisse der Firma Velox zum Einsatz. Dabei stehen folgende beiden Produkte für die Konstruktion der Probekörper zur Verfügung:

- **Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35**
- **Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50**

Beide Plattenerzeugnisse sind sowohl für den Innen- als auch für den Außenbereich verwendbar und sollen als Feuerschutzplatten zum Einsatz kommen. Für die Vorversuchsphase wurden zur unmittelbaren Abschirmung der Holzoberfläche Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35 gewählt, da diese hinsichtlich ihrer Dickenabmessung vergleichbar mit einer Doppelbeplankung

durch Gipsfaserplatten sind, die in der Vorversuchsreihe 4 (Referenzversuch RV) zur Anwendung kommen.

| Kurzbezeichnung | | | WSD 35 | WSD 50 |
|--|-----------|-----------------------|------------|-----------|
| Plattendicke | d | mm | 35 | 50 |
| Norm. Gewicht min. | | ca. kg/m ³ | 750 | 750 |
| Biegezugfestigkeit | | N/mm ² | 2,2 | 1,8 |
| Haftzugfestigkeit | | N/mm ² | 0,25 | |
| Wärmeleitfähigkeit | λ | W/mK | 0,125 | 0,125 |
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m ² K/W | 0,28 | 0,40 |
| Diffusionswiderstandszahl | μ | | 15 | 15 |
| Äquivalente Luftschichtdicke | sd | m | 0,53 | 0,75 |
| Brandverhalten nach A2 ÖNORM EN13501-1 | | | A2 | |
| Regelgröße Standardformat | | mm | 2000 x 500 | |

Tabelle 16: Datenblatt der Firma Velox, für Holzspan-Dämmplatten WSD 35 und WSD 50 [60]

4.2.3 Vorversuche an zementgebundenen Holzspanplatten

Die *Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) der Technischen Universität Wien* hat bereits im Jahr 2012 erste Versuchsreihen zur Erforschung des Brandverhaltens zementgebundener Holzspanplatten untersucht und im *Forschungsbericht: weitgespannte Flachdeckensysteme in Holzspanbeton-Verbundbauweise* [61] veröffentlicht. Dabei wurden vier Probekörper einer Temperaturbelastung nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) ausgesetzt und das Verhalten optisch klassifiziert.

Als zeitliche Abschnitte wurden 15, 30, 45 und 60 Minuten gewählt und hinsichtlich ihrer Abbrandgeschwindigkeit entsprechend **Tabelle 17** bewertet.

| Dauer | Bewertung durch Beobachtung | Abbrandgeschw. mm/min |
|--------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 15 Minuten: | Abbrand ca. 1,5 bis 2,5cm | 1,00 – 1,67 mm/min |
| 30 Minuten: | Abbrand ca. 3,0 bis 4,0cm | 1,00 – 1,34 mm/min |
| 45 Minuten: | Abbrand ca. 4,0 bis 5,0cm | 0,67 – 1,12 mm/min |
| 60 Minuten: | Platte zerbricht in ihre Einzelteile | - |

Tabelle 17: Optische Bewertung von Holzspanplatten der Firma Velox bei einer Temperaturbelastung nach der Einheitstemperaturzeitkurve. [61]

Im Zuge der im Rahmen des Forschungsberichts durchgeführten Prüfungen wurden Holzleichtbetonplatten der Firma Velox mit der Produktbezeichnung WS 50 verwendet. Dabei handelt

es sich um Holzspan-Dämmplatten mit einer Rohdichte von 560kg/m^3 , wodurch im Vergleich zu den in dieser Arbeit verwendeten WSD 50 Holzspan-Schallschutzplatten (Rohdichte 750kg/m^3) allgemein von Abweichungen hinsichtlich der Materialeigenschaften, insbesondere des Brandverhaltens ausgegangen wird. Somit können die Ergebnisse aus dem Prüfbericht nicht unmittelbar für diese Arbeit verwendet werden.

In analoger Weise wurden vier zur Verfügung stehende Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50 mit einem jeweiligen Wassergehalt von rund 8,5 Masse-% überprüft und ebenso hinsichtlich ihres Verkohlungsverhaltens optisch bewertet. Dabei konnten für dieselben zeitlichen Abschnitte erwartungsgemäß etwas geringere Abbrandgeschwindigkeiten festgehalten werden, als das 2012 im Forschungsbericht des ITI der Fall war. Dabei sei an dieser Stelle jedoch erwähnt, dass es sich bei dieser Form der Bestimmung lediglich um eine quantitative Ersteinschätzung handelt.

| Dauer | Bewertung durch Beobachtung | Abbrandgeschw. mm/min |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 15 Minuten: | Abbrand ca. 0,5 bis 1,0cm | 0,34 – 0,67 mm/min |
| 30 Minuten: | Abbrand ca. 1,5 bis 2,0cm | 0,50 – 0,67 mm/min |
| 45 Minuten: | Abbrand ca. 3,0 bis 3,5cm | 0,67 – 1,00 mm/min |
| 60 Minuten: | Abbrand ca. 4,0 bis 4,5cm | 0,67 – 1,00 mm/min |

Tabelle 18: Optische Bewertung von Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50 der Firma Velox bei einer Temperaturbelastung nach der Einheitstemperaturzeitkurve, Wassergehalt rd. 8,5%

Im ersten Schritt wurde eine optische Beurteilung des Zersetzungs Vorgangs mit einer Gegenüberstellung beider Plattenerzeugnisse hinsichtlich des Brandverhaltens vorgenommen. Es stellte sich dabei zudem die grundsätzliche Frage, wie zementgebundene Holzwerkstoffe unterschiedlicher Rezepturen im Vergleich zu Vollholz unter Brandeinwirkung reagieren. Holz hat bekanntlich eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit, allgemein ein gutes Brandverhalten, ist aber ein organischer Werkstoff und somit brennbar. Das Abbrandmodell mit der üblichen eindimensionalen Abbrandrate von $\beta_0=0,65\text{mm/min}$ setzt einen gesunden und unversehrten Holzquerschnitt voraus, der an der brandzugewandten Seite durch die chemische Zersetzung unter erhöhten Temperaturen eine Pyrolysezone ausbildet. Erst die dabei entstehenden Abgase tragen maßgeblich zur Brennbarkeit des Werkstoffs bei. Die Pyrolysezone wandert dabei langsam aber kontinuierlich weiter und bildet hinter sich eine Verkohlungsschicht mit einer geringen Dichte und einer hohen Wärmedämmwirkung aus, die das darunter liegende noch unversehrte Holz in hohem Maße schützt.

Das Abbrandmodell von Holz kann allerdings nur bedingt für Kompositwerkstoffe aus mineralischen und organischen Ausgangsmaterialien angewendet werden. Allein schon die in den Platten enthaltenen reinen Holzfasern und Holzspäne weisen aufgrund ihrer Grundgeometrie ein Abbrandverhalten auf, das nicht mit jenem von Vollholz oder gängigen Holzprodukten mit

dichtem Gefüge vergleichbar ist. Die Abbrandgeschwindigkeit steigt allgemein mit der Holzoberfläche bei gleich bleibendem Volumen, wobei die zurückbleibende Kohleschicht bei einer sehr stark zerklüfteten Struktur eine geringere Wärmedämmwirkung aufweist, als bei Holz in seiner Reinform.

Der theoretisch höheren Abbrandgeschwindigkeit infolge der hohen Oberflächenanteile wirkt bei zementgebundenen Holzwerkstoffen der durch das Bindemittel hervorgerufene Mineralisierungseffekt positiv entgegen, der allerdings auch zu Lasten der Eigendämmwirkung des Holzes durch die Pyrolyseeffekte fällt. Allgemein kann aber angenommen werden, dass die Mineralisierung das abgeminderte Pyrolyseverhalten von Holzleichtbetonplatten ausgleicht und sich die Abbrandrate mit der Steigerung des Zementanteils zunehmend senken lässt. Dies zeichnet sich bei der optischen Gegenüberstellung der beiden untersuchten Produkte der Firma Velox ab. Unter der Annahme einer idealisiert geradlinig voranschreitenden Abbrandes lassen sich näherungsweise folgende Abbrandgeschwindigkeiten schätzen:

| Werkstoff | Bezeichnung | Wärmeleitfähigkeit | Dichte | eindimensionale Abbrandrate β_0 |
|-----------------------------|-------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Vollholz (Fichte) | - | rd. 0,09 W/mK | rd. 470 kg/m ³ | 0,65mm/min |
| Holzspan-Dämmplatte | WS 50 | 0,100 W/mK | 560 kg/m ³ | 0,85mm/min |
| Holzspan-Schallschutzplatte | WSD 50 | 0,125 W/mK | 750 kg/m ³ | 0,60mm/min |

Tabelle 19: Vergleich der aus den Versuchen resultierenden Näherungen der eindimensionalen Abbrandraten für Holzspan-Dämmplatten WS 50 und Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50 im Vergleich mit Bauholz

Der Hersteller gibt für beide geprüften Produkte in den entsprechenden Datenblättern (*siehe u.a. Tabelle 16*) die Rohdichten an, allerdings lassen sich keine konkreten Informationen über die jeweiligen Zusammensetzungen entnehmen, weshalb sich Holzanteile und Bindemittelanteile sowie das Verhältnis beider Komponenten zueinander lediglich schätzen lassen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Rohdichte von Holzleichtbetonplatten stets mit der Zunahme des Zementgehalts steigt, da Zement eine höhere Dichte ($\rho \sim 2000 \text{kg/m}^3$) hat, als Holz ($\rho \sim 700 \text{kg/m}^3$). In Anlehnung an die Ausarbeitungen in der *Dissertation von Krippner (vergleiche Tabelle 4 auf Seite 19)* werden die Zusammensetzungen der beiden maßgebenden Plattenerzeugnisse wie folgt geschätzt:

- **WS 50, Rohdichte: 560kg/m³:**
Holzanteil rd. 350kg/m³, Zementanteil rd. 200kg/m³, Verhältnis H/Z: 1,75
- **WSD 50, Rohdichte 750kg/m³:**
Holzanteil rd. 250kg/m³, Zementanteil rd. 350kg/m³, Verhältnis H/Z: 0,71

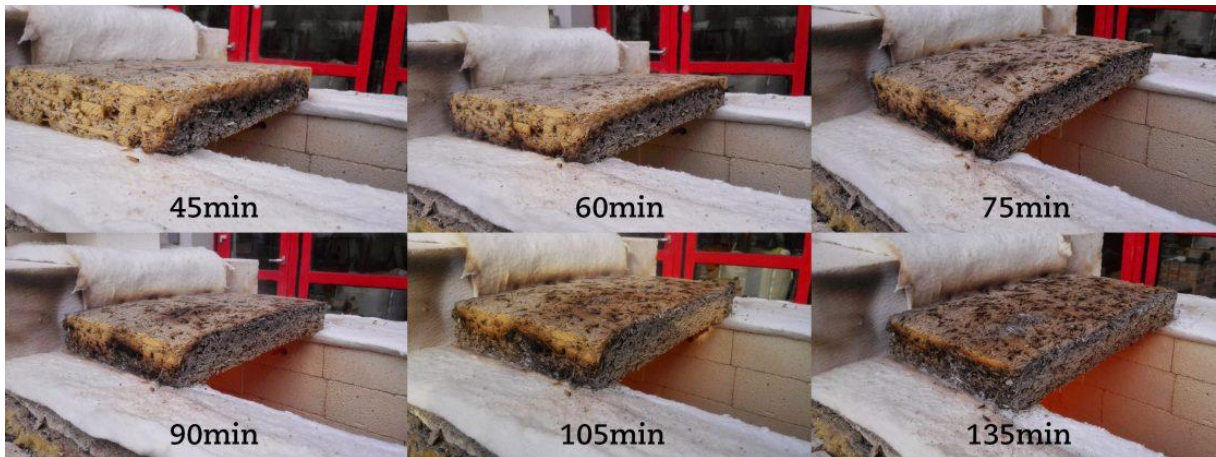


Abbildung 32: Optische Bewertung des Brandverhaltens von Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50 der Firma Velox nach 45 Minuten, 60 Minuten, 75 Minuten, 90 Minuten, 105 Minuten, 135 Minuten Branddauer

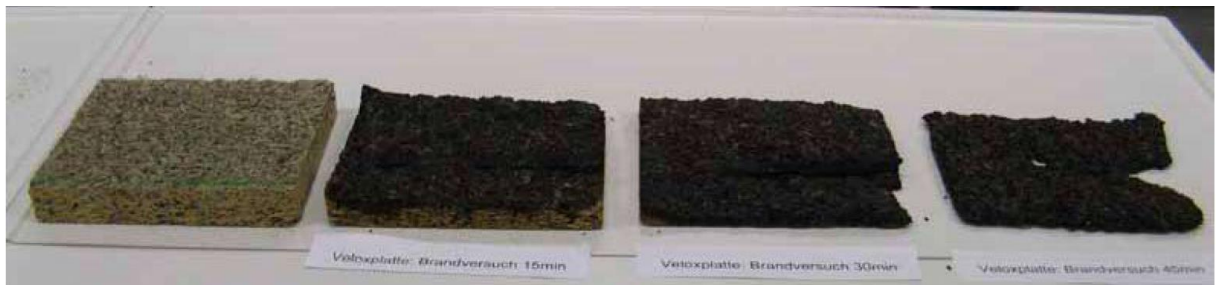


Abbildung 33: Optische Bewertung des Brandverhaltens von Holzspan-Dämmplatten WS 50 der Firma Velox vor Brandbeginn, nach 15 Minuten, 30 Minuten, 45 Minuten Branddauer, Auszug aus dem „Forschungsbericht: weitgespannte Flachdeckensysteme in Holzspanbeton-Verbundbauweise“ des ITI der TU Wien [61]

Im direkten Vergleich der beiden Produkte fällt auf, dass der höhere prozentuelle Holzanteil der Holzspan-Dämmplatten zu einer wesentlich stärkeren Verkohlung der brandbeanspruchten Seite führt. Holzspan-Schallschutzplatten hingegen werden nach anfänglicher Schwärzung mit Fortdauer der Beanspruchung durch das Ausbrennen des Zementsteins wieder heller und bleiben in weiterer Folge wesentlich formstabiler. Ein Zerbrechen der WSD-Platte konnte selbst nach 140 Minuten direkter Brandbelastung nicht festgestellt werden, der entsprechende Versuch wurde anschließend abgebrochen. Ab etwa 70 minütiger Beanspruchung konnten visuell nur geringe Veränderungen ausgemacht werden.

Aufbauend auf den Versuchsdurchführungen an den beiden Holzleichtbetonprodukten wurde im Zuge dieser Arbeit in einem weiteren Schritt die Temperatur eines durch eine WSD 50 Holzspan-schallschutzplatte gedämmten Querschnitts in mehreren Bauteilebenen gemessen und anhand der Verkohlungszeitpunkte die Abbrandrate ermittelt, woraus sich schlussendlich ein bilineares Modell ergibt. Die entsprechenden Ergebnisse sind in **Abschnitt 5.3 - Temperaturverteilung im Querschnitt** dargestellt.

4.2.4 Vorversuche an Verbundkörpern aus Holz-Holzleichtbeton

4.2.4.1 Vorversuchsreihe 1 (VV1)

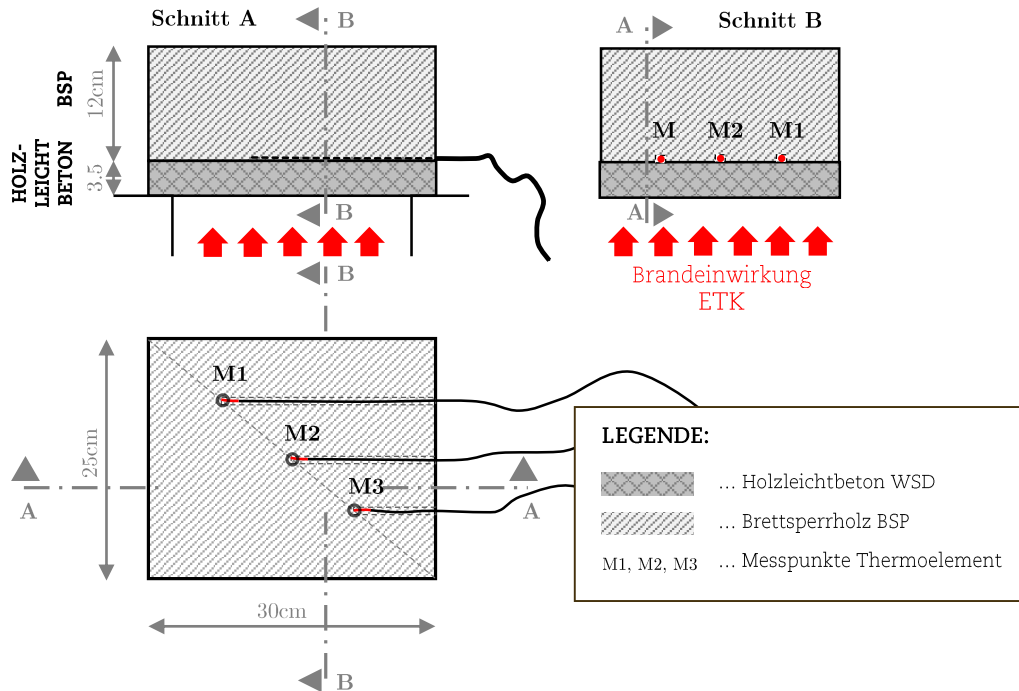


Abbildung 34: Schematischer Probekörperaufbau Vorversuchsreihe 1

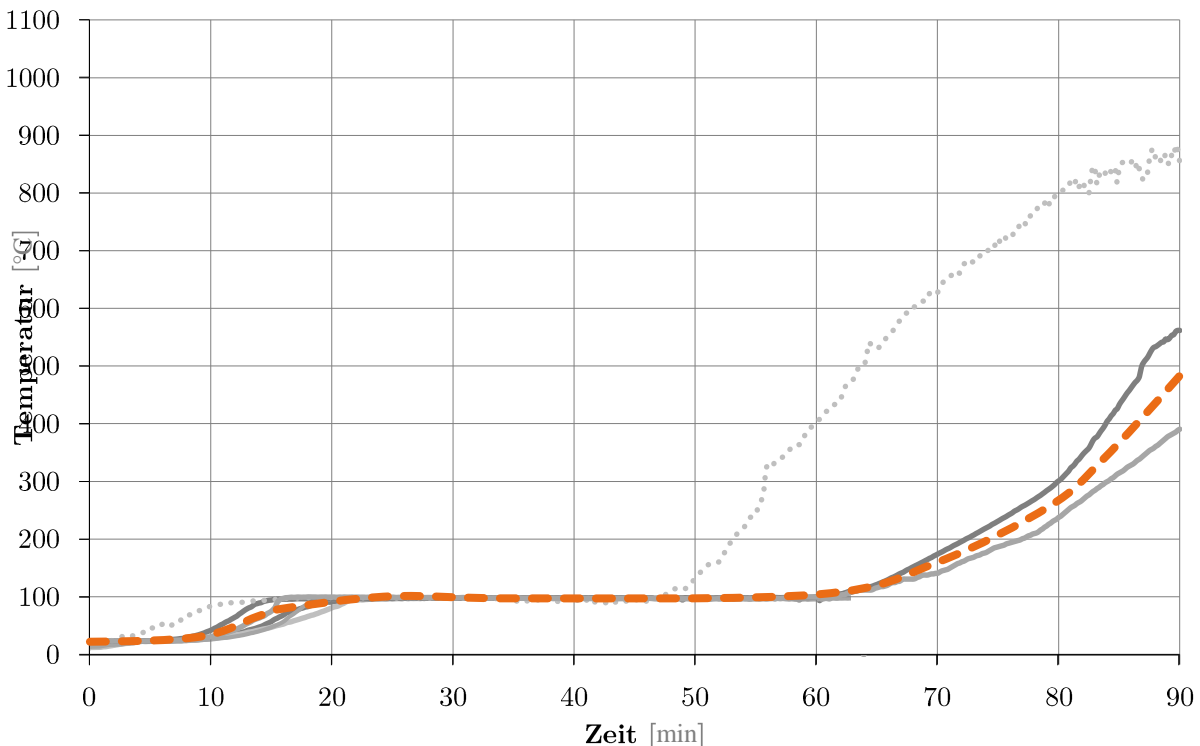


Abbildung 35: Aus der Vorversuchsreihe 1 resultierende Temperaturzeitkurve (orange) basierend auf insgesamt 6 Messwerten aus VV1-a und VV1-b (grau), keine seitliche Dämmung, Messung in der Ebene zwischen WSD-Platte und Probenholz

4.2.4.2 Vorversuchsreihe 2 (VV2)

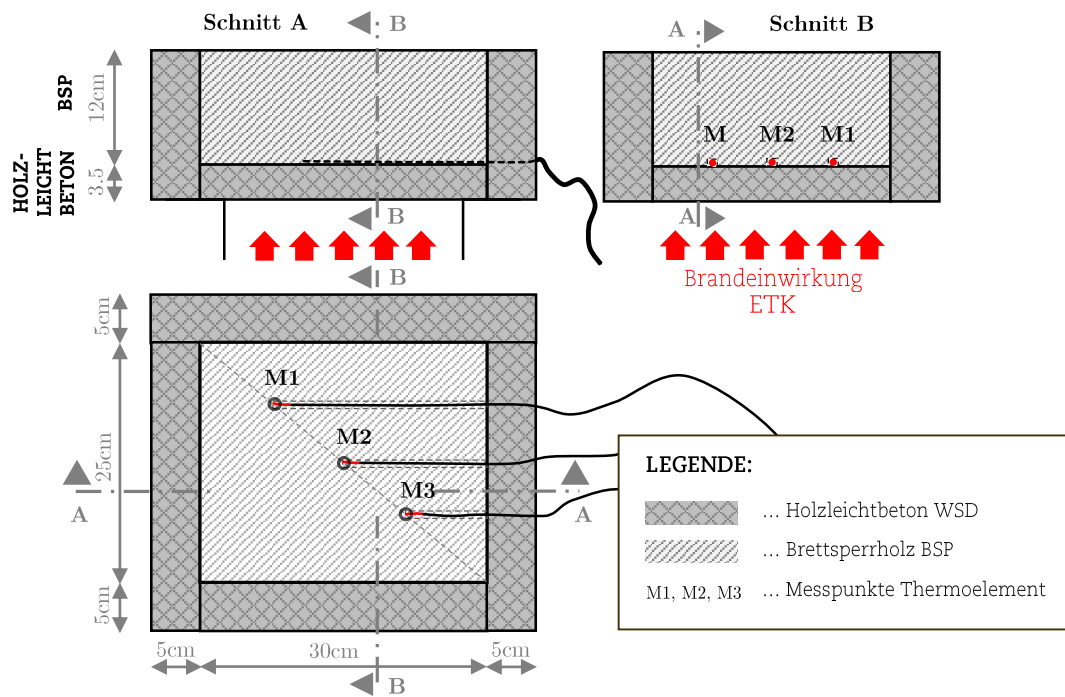


Abbildung 36: Schematischer Probekörperaufbau Vorversuchsreihe 2

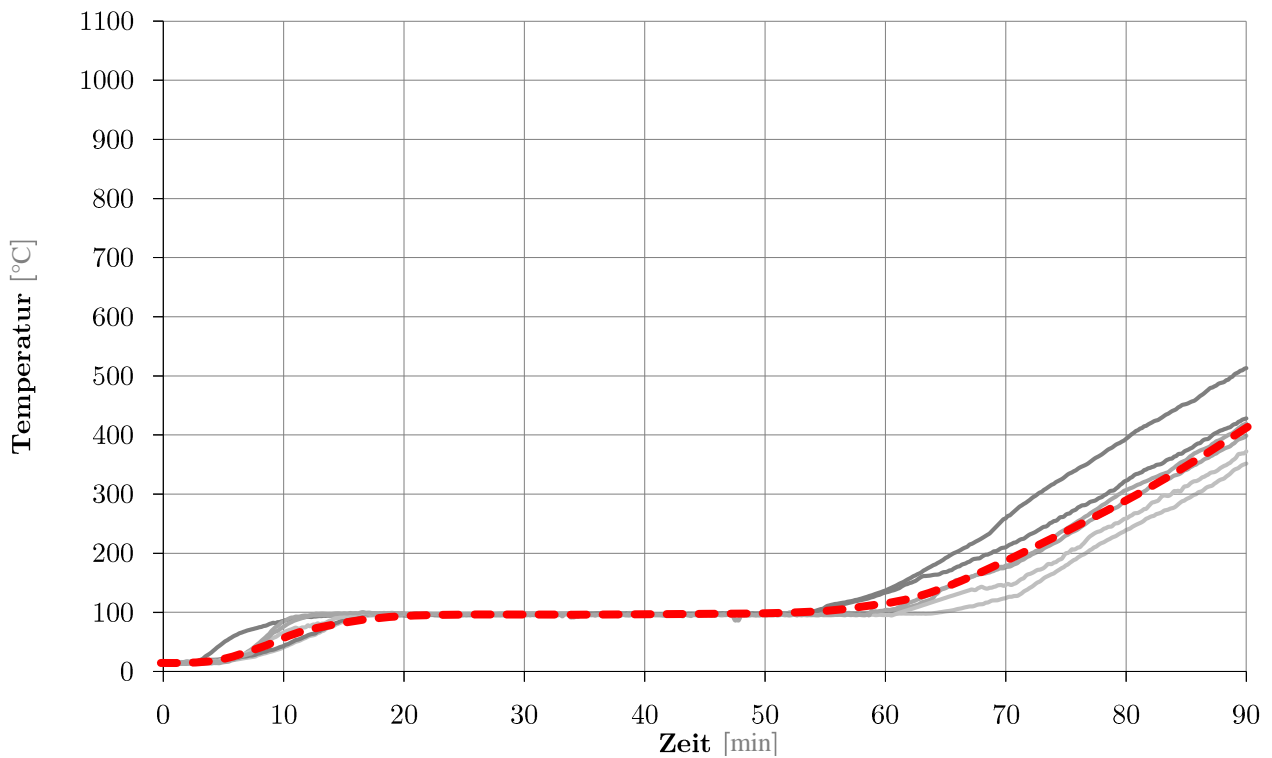


Abbildung 37: Aus der Vorversuchsreihe 2 resultierende Temperaturzeitkurve (rot) basierend auf insgesamt 6 Messwerten aus VV2-a und VV2-b (grau), durchgehende seitliche Dämmung, Messung in der Ebene zwischen WSD-Platte und Probenholz

4.2.4.3 Vorversuchsreihe 3 (VV3)

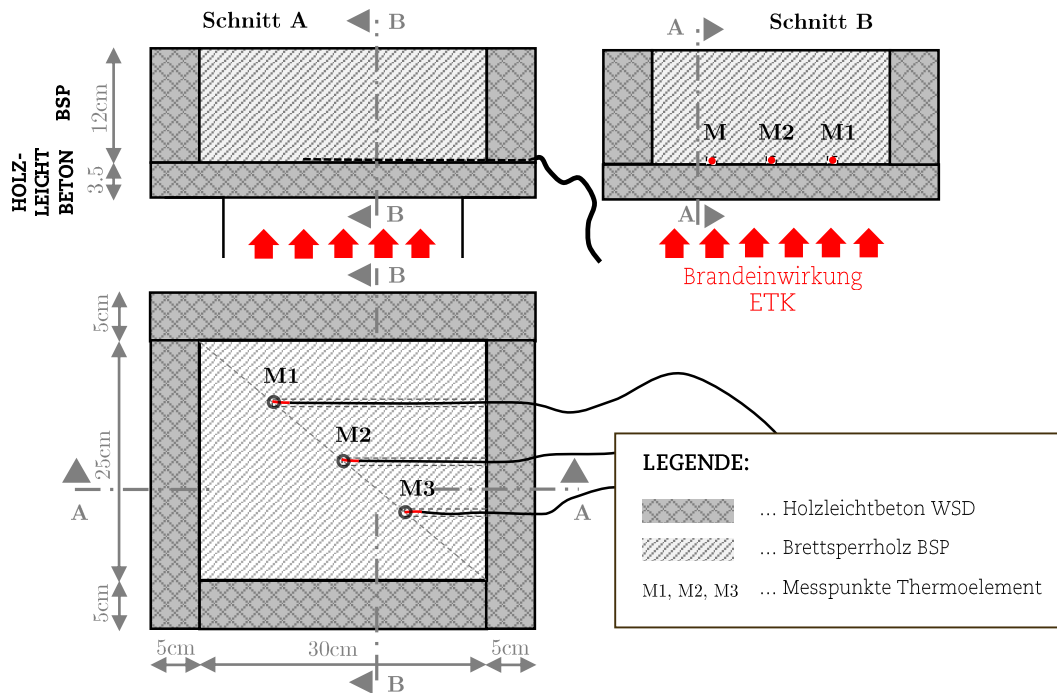


Abbildung 38: Schematischer Probekörperaufbau Vorversuchsreihe 3

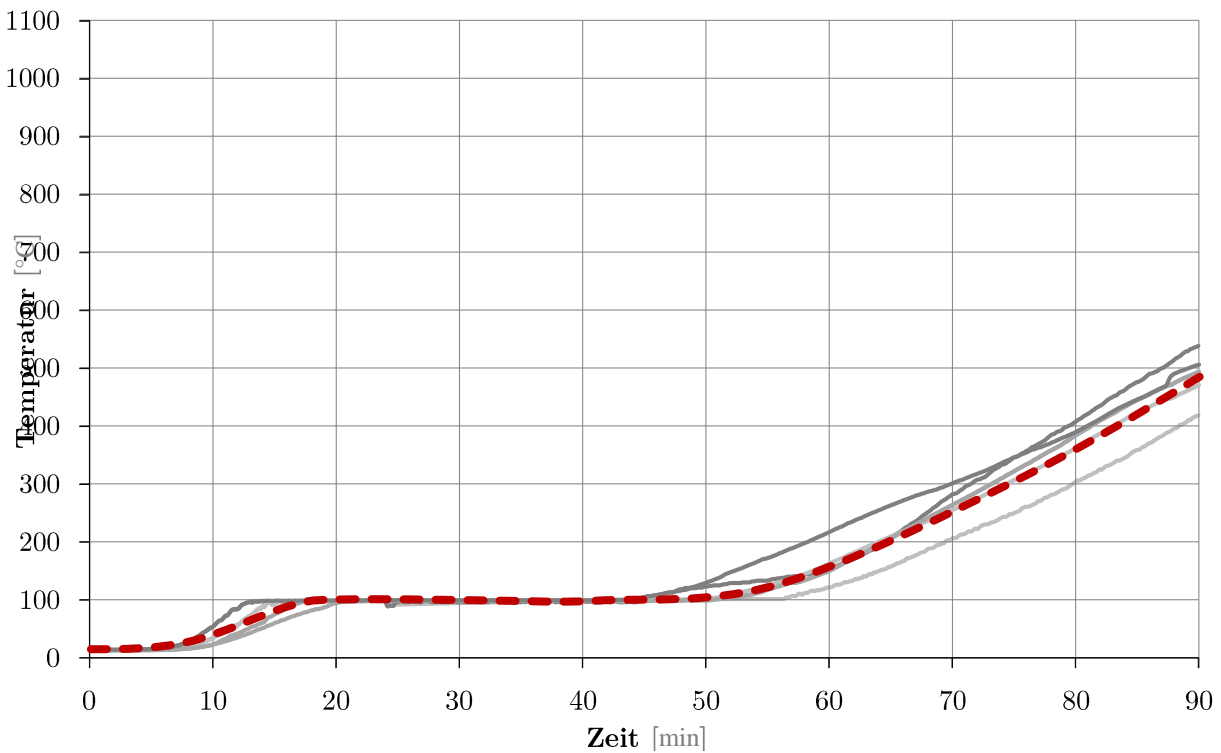


Abbildung 39: Aus der Vorversuchsreihe 3 resultierende Temperaturzeitkurve (dunkelrot) basierend auf insgesamt 6 Messwerten aus VV3-a und VV3-b (grau), durchgehende ofenseitige Bekleidung und seitliche Dämmung, Messung in der Ebene zwischen WSD-Platte und Probenholz

4.2.4.4 Vorversuchsreihe 4 (RV)

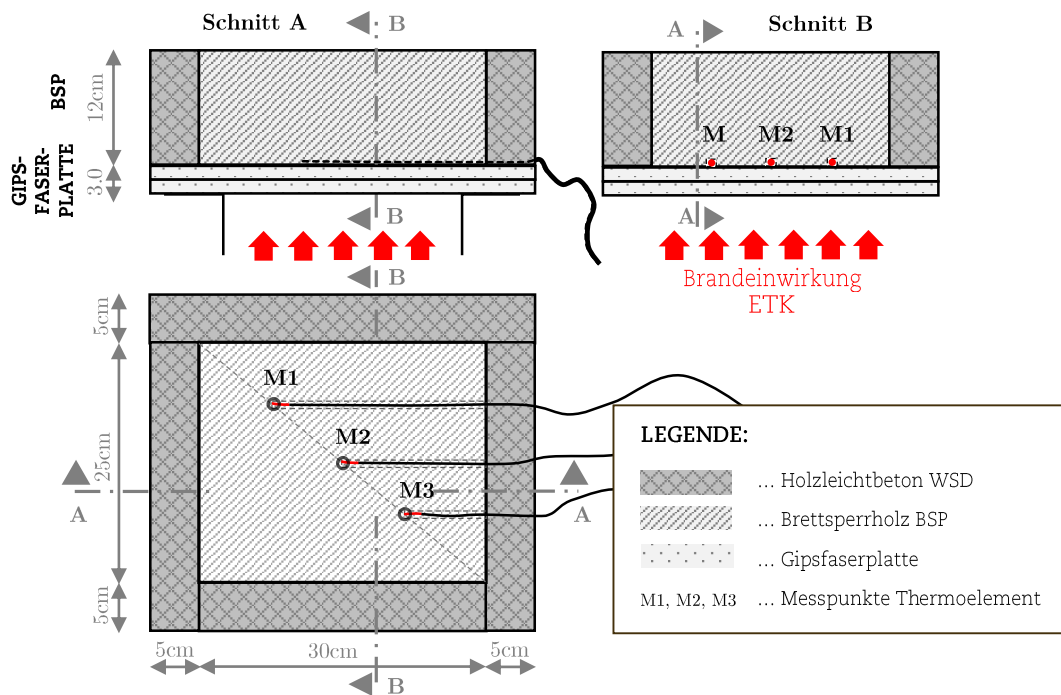


Abbildung 40: Schematischer Probekörperaufbau Vorversuchsreihe 4

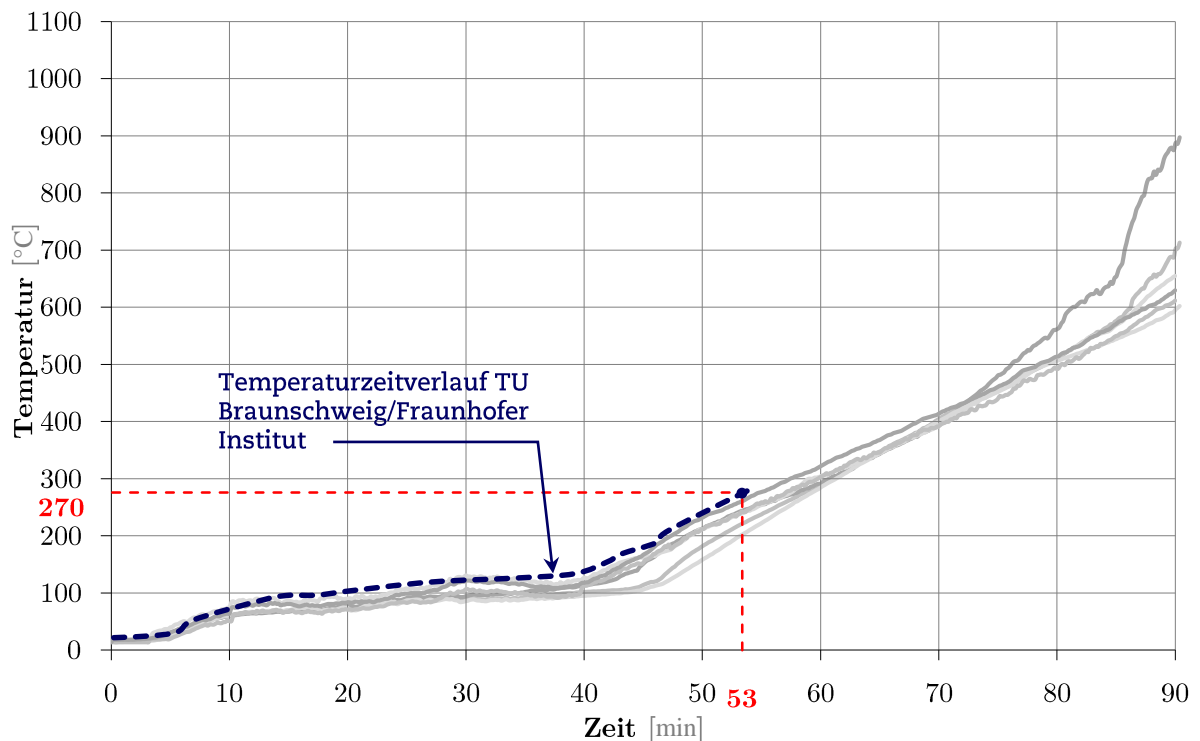


Abbildung 41: Temperaturzeitverlaufdiagramm für 2x1.5cm Gipsfaserfeuerschutzplatten mit den Messergebnissen aus den Versuchen RV-a und RV-b und dem Vergleich zu bereits abgeschlossenen Forschungsarbeiten [12], Versuchsdauer 90 Minuten, vgl. Abbildung 45

4.2.5 Gegenüberstellung der Vorversuche und Interpretation

Die Einzelbestandteile der in der Vorversuchsphase getesteten Probekörper wurden 15 bis 17 Tage vor Versuchsbeginn einer Lagerung bei Raumklima unterzogen. Damit enthalten sowohl die verwendeten Holzleichtbetonplatten (etwa 9,50-9,80 Masse-%), als auch die Brettsperrholzproben (etwa 16,0 Masse-%) etwas höhere Wasseranteile, als die zu einem späteren Zeitpunkt (ab 27 Tagen Lagerung bei Innenraumklima) getesteten Probekörper der Hauptversuchsphase (Holzleichtbeton rd. 8,50-8,90 Masse-% und BSP rd. 14,8-15,1 Masse-%). Die entsprechenden Messwerte, sowie die allgemeine Feuchtigkeitsentwicklung aller Versuche sind im Anhang unter den **Abschnitten 7.1 und 7.2** dargestellt.

Die *Vorversuchsreihe 1* stellt die einfachste Form der Modellbildung dar. Dabei wird der zu schützende Vollholzquerschnitt ofenseitig mittels einer Lage Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35 geschützt. Der Probekörper mit einer Aufstandsfläche von 25x30cm ist mittig über die Öffnung der Ofenhauptkammer mit den Innenabmessungen von 27x58x45,5cm zu platzieren, wodurch sich ein beidseitiger Überstand von jeweils 1,5cm ergibt.

Die Prüfeinrichtung wurde entsprechend der Anforderungen der *ÖNORM EN 1363-1* [38] konzipiert, daher war bei hinreichend guter Annäherung der Ofentemperatur an die Einheitstemperaturzeitkurve schon vorab mit einem plausiblen Ergebnis zu rechnen. Das Hauptziel in Zusammenhang mit dem Aufbau der *Vorversuchsreihe 1* war die Klärung der Frage, ob ein übermäßiges Entweichen von Rauchgasen sowie ein unkontrollierbarer seitlichen Wärmeeintrag ohne zusätzliche Dämmung unterbunden werden kann. Das soll durch Abgleich mit den Ergebnissen aus *Vorversuchsreihe 2 (VV2)* und *Vorversuchsreihe 3 (VV3)*, sowie durch entsprechende Beobachtungen erfolgen.

Der erste Versuch der *Vorversuchsreihe 1* (siehe **Anhang, Abschnitt 7.4.1.1 - Vorversuchsreihe VV1-a**) wurde nach einer Beanspruchungsdauer von 60 Minuten abgebrochen, weil sich die Temperatur in der Bauteilebene zwischen der Holzleichtbetonplatte und dem Probenholz im Zeitraum zwischen 20 und 60 Minuten Beanspruchungsdauer praktisch unverändert zwischen 95°C und 100°C bewegte. Obwohl die Dissertation von *Wolfsgruber* [66] in der Übergangsschicht zweier Komponenten bereits leichte Plateaueffekte in diesem Temperaturbereich erkennen lässt (vgl. **Abbildung 31**), wurde zu diesem Versuchszeitpunkt noch von einer Fehlmessung ausgegangen, da die Dauer des konstant anhaltenden Temperaturniveaus vergleichsweise groß ist. Der darauf folgende Zweitversuch (siehe **Anhang, 7.4.1.2 - Vorversuchsreihe VV1-b**) mit einer Beanspruchungsdauer von 90 Minuten, sowie alle weiteren Versuchsreihen der Vor- und Hauptversuchsphase bestätigen jedoch die Richtigkeit der Ergebnisse des *Vorversuchs VV1-a* unter den getroffenen Rahmenbedingungen.

Die Messergebnisse der Versuche der ersten Vorversuchsreihe lassen erkennen, dass ein ausreichender seitlicher Schutz ohne zusätzliche Dämmung nicht gegeben ist. In der Anfangsphase

sind die Ergebnisse noch praktisch identisch mit jenen der gedämmten Probekörper, allerdings lässt die Oberfläche nach 60 Minuten Brandbeanspruchung eine sehr deutliche Verkohlung entlang der Längsseiten erkennen (*siehe **Abbildung 42**, rechts*). Das Randmessthermoelement 205 (die Beschriftung in der Abbildung ist bereits verkohlt) lässt anhand des Verkohlungsbildes erahnen, dass bei kontinuierlich fortschreitender Zersetzung der Holzoberfläche unmittelbar nach 60 Minuten ein rascher Temperaturanstieg zu verzeichnen gewesen wäre, während speziell das mittlere Thermolement 206 keine Veränderungen erkennen lässt und somit weiterhin eine weitaus niedrigere Temperaturen gemessen hätte, die vorerst noch keine Verkohlung bewirken. Die Messungen über eine Dauer von 90 Minuten bestätigen die Annahme einer relativ großen Streuung der drei Thermomesspunkte (*siehe **Abbildung 35***). Die Temperaturverlaufsgraphen des Protokolls, sowie das typische Verkohlungsbild des Probekörpers nach 60 Minuten lassen eindeutig auf einen hohen unkontrollierten seitlichen Wärmeeintrag schließen, der das Ergebnis verfälscht. Aus diesem Grund wird geschlossen, dass im Rahmen der Versuchsdurchführungen dieser Arbeit eine zusätzliche seitliche Dämmung anzubringen ist, womit der Probekörperaufbau der *Vorversuchsreihe 1* als ungeeignet eingestuft wird.



Abbildung 42: Probekörperaufbau der Vorversuchsreihe 1 vor Versuchsbeginn (links) und Holzoberfläche mit seitlicher Verkohlung nach 60 Minuten Brandeinwirkung (rechts)



Abbildung 43: Randeinfassung der Probekörperaufbauten von Vorversuchsreihe VV2 (links) und Vorversuchsreihe VV3 (rechts) im Vergleich

Die Probekörper der *Vorversuchsreihen 2 und 3* wurden seitlich durch Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50 gedämmt, wobei sich die beiden Aufbauten lediglich durch die Anordnung der Fugen zwischen den Plattenstößen unterscheiden (*siehe Abbildung 43*). Dabei wurden die seitlichen Dämmplatten beim Aufbau VV2 so angeordnet, dass sie über die dem Ofen zugewandte Holzebene als Randeinfassung hinausgehen und einen Überstand von 3,5cm haben. Die brandseitige Schutzplatte WSD 35 ist dabei deckungsgleich mit den Abmessungen des Probenholzes (25x30cm), wodurch im Randbereich ein rein vertikaler Fugenverlauf entsteht. Beim Aufbau VV3 hingegen entspricht die Höhe der Randeinfassung der Dicke des Brettspertholzes (12cm) und die Schutzplatte WSD 35 geht bis zum äußeren Rand der Konstruktion (Abmessungen: 40x35cm).

Grundsätzlich ist der Grad der Dämmwirkung beider Aufbauten gleich, wobei es lediglich Unterschiede im Fugenbild gibt. Bei der Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse wurden auch qualitativ sehr ähnliche Temperaturverläufe erzielt, allerdings deutete sich bei jeweils zwei Messungen hinsichtlich der Brandbeständigkeit eine Zeitdifferenz von rund 6 Minuten an. Daraus wird geschlussfolgert, dass bei entsprechend exakter Ausführung der Fugen auch die Pressrichtung der Holzleichtbetonplatte (dichteres Gefüge in Plattenrichtung, als orthogonal dazu) eine Rolle für die Wärmeübertragung spielen kann. Auch die durch Temperaturerhöhung hervorgerufenen Feuchtebewegungen im Inneren des Querschnitts scheinen durch das Fugenbild geringfügig beeinflusst zu werden. Aufgrund des zeitlichen Versatzes und der daraus resultierenden geringeren Brandwiderstandsdauer bei *Vorversuchsreihe 3* wird dieser Aufbau als maßgebend betrachtet und für alle weiteren Versuche verwendet. Dabei sei aber auch anzumerken, dass der in dieser Arbeit durchgeführte experimentelle Teil lediglich als Orientierungshilfe dient. Für eine präzisere Bestimmung wären weitaus mehr Einzelversuche notwendig gewesen.



Abbildung 44: Verkohlungsbild der Probekörperaufbauten VV2 (links) und VV3 (2x rechts)

Die *Vorversuchsreihe 4* dient im Gegensatz zu den vorangehenden Versuchsdurchführungen nicht unmittelbar der Erprobung von zementgebundenen Holzspanplatten. Dabei handelt es sich lediglich um eine Referenzversuchsreihe (RV) mit dem Alternativwerkstoff Gipsfaserplatten.

Zu diesem Thema gibt es bereits abgeschlossene Forschungsergebnisse an der *Technischen Universität Braunschweig*, die in Zusammenarbeit mit dem *Fraunhofer-Institut für Holzforschung* zu einem Abschlussbericht unter dem Namen „*Optimierung der Konstruktion und der Herstellprozesse von hochfeuerhemmenden Holztafelementen unter sicherheitsrelevanten, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Optimierung K60)*“ [12] zusammengefasst wurden. Dabei wurde festgestellt, dass die für das Kapselkriterium relevanten kritischen Temperaturen an der Oberfläche der Holzkonstruktion durch doppelte Bepunktung nicht erreicht werden, weshalb sowohl Gipskarton- als auch Gipsfaserplatten als Werkstoff für die Erzielung eines Kapselungseffekts grundsätzlich geeignet sind.

Die Abmessungen der für die Versuchsdurchführung verwendeten Probekörper betragen dabei 10x10x5cm und wichen damit wesentlich von der in dieser Arbeit definierten Geometrie ab. Es erfolgte ebenfalls die Simulation einer Temperaturentwicklung entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve, allerdings kam dafür mit einem Sauerstoffkalorimeter ein gänzlich anderer Aufbau zum Einsatz. Als Wärmequelle dient ein elektrisch betriebener, kegelförmig ausgebildeter Heizer, der einen konstanten Wärmestrom bereitstellt der zwischen 0 und 100 kW/m² eingestellt werden kann. Mit dieser Methode konnte ergänzend die Wärmefreisetzungsrates während eines Versuchs gemessen werden. [12]

Den durchgeführten Forschungen lag unter anderem folgender Aufbau zu Grunde:

- Holzquader 10x10x5cm
- Gipsfaserplatte 1,5cm
- Gipsfaserplatte 1,5cm

Sobald das Thermoelement (hier kamen Perlen zum Einsatz, der Hersteller wird nicht angeführt) die maßgebende kritische Temperatur von 270°C erreicht hat, kam es zum Versuchsabbruch. Anschließend wurde der Probekörper unmittelbar nach Versuchsende vom Kalorimeter entnommen, die Gipsfaserplatten entfernt, sowie die Oberfläche des Holzquaders schnellstmöglich gekühlt, um den Schädigungsgrad des Holzes zum maßgebenden Zeitpunkt möglichst unverfälscht dokumentieren zu können. Eine vergleichbare Vorgehensweise wurde nach Versuchsende (also nach 60 bzw. 90 Minuten) auch in dieser Arbeit praktiziert.

Anhand der aus den Versuchsdurchführungen der Referenzversuchsreihe resultierenden Ergebnissen ist zu erkennen, dass die Parameter rund um den verwendeten Versuchsofen, sowie die Konditionierung der Probekörperbestandteile vergleichbar mit jenen Rahmenbedingungen sind, die für die gleichartigen Versuche an der *Technischen Universität Braunschweig* in Kooperation mit dem *Fraunhofer-Institut für Holzforschung* getroffen wurden. Eine entsprechende Darstellung aller Temperaturzeitverläufe kann im Diagramm der **Abbildung 41** abge-

lesen werden. Dabei wurden die Ergebnisse dieser Arbeit zusätzlich durch jene der TU Braunschweig in skaliert Form ergänzt. Diese sind in ihrer ursprünglichen Darstellung, jedoch mit abgeänderter Zeitachse (Angabe in Minuten anstatt Sekunden) in **Abbildung 45** ersichtlich.

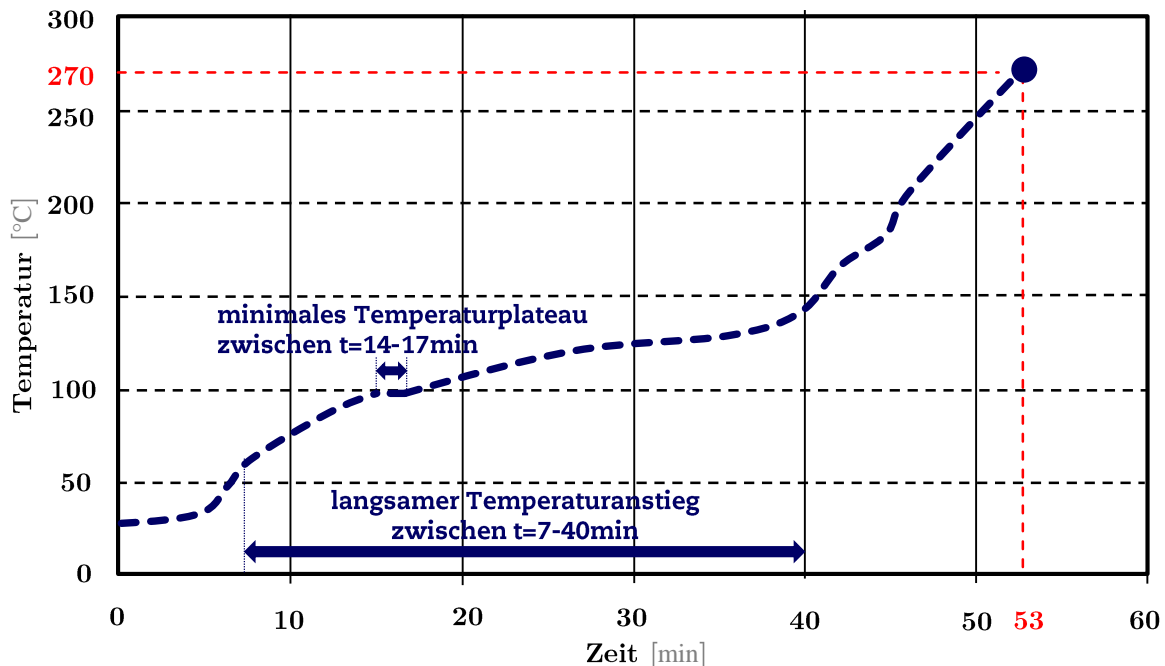


Abbildung 45: Temperaturzeitverlauf unterhalb 2 Lagen 15 mm Gipsfaserplatten entsprechend den Ergebnissen der TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Holzforschung [12], Zeitachse in [min], vgl. *Abbildung 41*

Allgemein lässt sich für einen Aufbau mit zwei Lagen Gipsfaserplatten festhalten, dass es auch hier in der Ebene zwischen Holzoberfläche und unterer Feuerschutzplatte nach einem Temperaturanstieg innerhalb der ersten Minuten zu einer deutlichen Abflachung innerhalb der Zeitspanne $t=7-40\text{min}$ kommt. Die Steigung in diesem Bereich ist minimal aber immerhin groß genug, um von einem größtenteils kontinuierlichen Anstieg sprechen zu können. Bei den Untersuchungsergebnissen der TU Braunschweig ist lediglich ein kurzes Temperaturplateau im Zeitraum $t=14-17\text{min}$ erkennbar. Im Gegensatz dazu scheint sich bei den Messungen der *Vorversuchsreihe 4* kein eindeutiger Bereich mit streng konstanter Temperatur auszubilden, wobei die Ergebnisse aber insgesamt sehr nah bei den Vergleichsmessungen liegen (*siehe **Abbildung 41***). Eine Abflachung des Temperaturanstiegs findet auch hier in einem ähnlichen Temperaturbereich statt, wie im Allgemeinen auch bei den zuvor durchgeführten Versuchsreihen mit Holzleichtbetonplatten, nur mit dem Unterschied, dass es keine klare Obergrenze von 100°C zu geben scheint, sondern dass dieser Temperaturbereich eher so etwas wie einen Häufungspunkt darstellt. Auch hier scheint das Austreiben des Wassers aus den mineralischen Platten-erzeugnissen unter erhöhter Temperatureinwirkung einen maßgebenden Beitrag zu leisten.

Der Vergleich der aus allen vier Versuchsreihen resultierenden gemittelten Temperaturzeitverläufe ist im nachfolgenden Diagramm in **Abbildung 46** dargestellt. Anschließend sind die für

die Verkohlung der Holzoberfläche maßgebenden Zeitpunkte in *Tabelle 20* ausgewertet. Die jeweils dazu gehörigen Messungen sind im *Anhang unter 7.4 - Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen* angeführt.

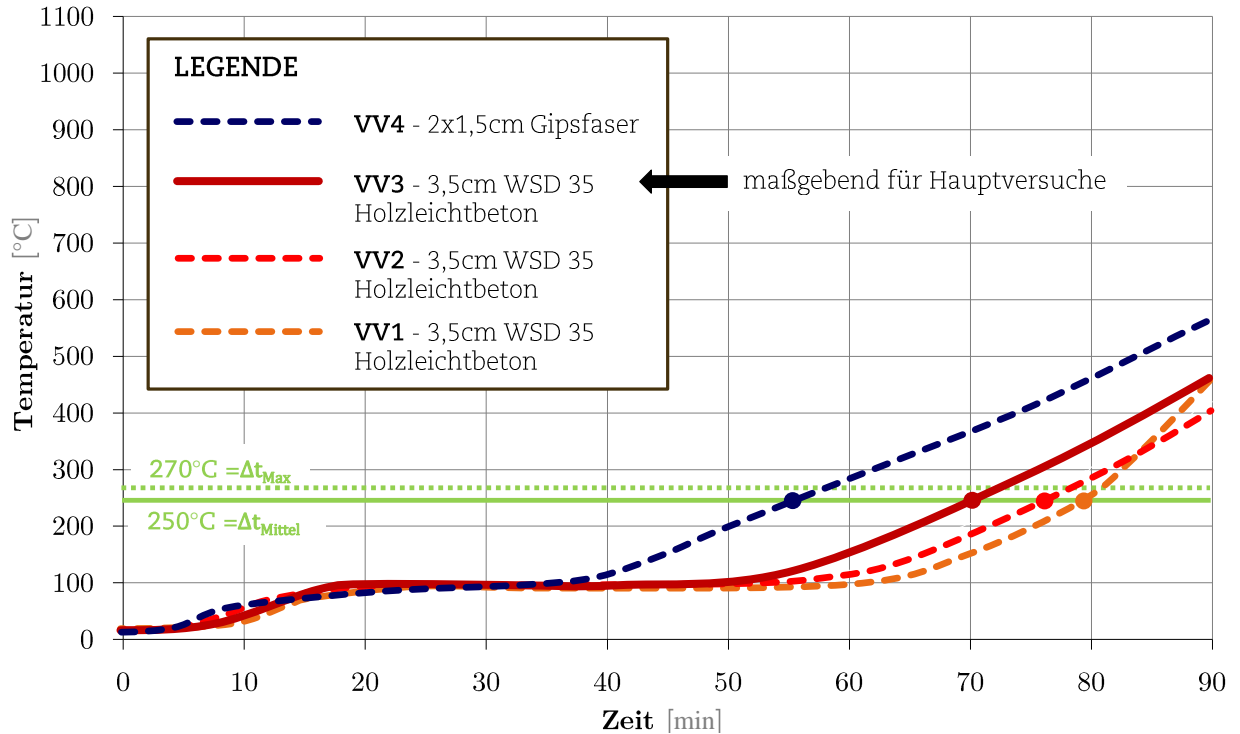


Abbildung 46: Graphische Gegenüberstellung der gemittelten Ergebnisse der vier durchgeführten Vorversuchsreihen (maßgebend: $\Delta t_{\text{Mittel}}=250^{\circ}\text{C}$)

| Versuche | Erreichen von $\Delta t_{\text{Mittel}}=250^{\circ}\text{C}$ | | | Erreichen von $\Delta t_{\text{Max}}=270^{\circ}\text{C}$ in [min] | | |
|----------|--|-----------------|--------------------|--|-----------------|--------------------|
| | Messung a [min] | Messung b [min] | Durchschnitt [min] | Messung a [min] | Messung b [min] | Durchschnitt [min] |
| VV1 | - | 79,17 | 79,17 | - | 78,84 | 78,84 |
| VV2 | 76,17- | 77,34 | 76,76 | 71,34 | 76,67 | 74,00 |
| VV3 | 69,00 | 71,34 | 70,17 | 67,67 | 70,50 | 69,09 |
| VV4 | 56,34 | 54,67 | 55,51 | 57,67 | 55,17 | 56,42 |

Tabelle 20: Tabellarische Gegenüberstellung der Kapselungsdauern aller Vorversuche VV1-VV4

Dabei erfolgte für jeden Messzeitpunkt bei einem Messintervall von zehn Sekunden auch stets eine Berechnung der Temperaturerhöhung im Vergleich zur ursprünglichen Umgebungstemperatur zu Versuchsbeginn, um den Eintrittszeitpunkt der für das Kapselkriterium maßgebenden kritischen Temperaturen zu dokumentieren. Als solche sind per Definition $\Delta t_{\text{Mittel}}=250^{\circ}\text{C}$ (also eine aus allen drei Messstellen gemittelte durchschnittliche Temperaturerhöhung von 250°C)

und $\Delta t_{\text{Max}}=270^\circ\text{C}$ (eine durch die maximal beanspruchte Messstelle ermittelte Temperaturerhöhung von 270°C) zu verstehen. Da die Graphen im Temperaturzeitverlaufdiagramm (**Abbildung 46**) stets den jeweiligen Mittelwert aus insgesamt sechs Messwerten (drei Messstellen aus jeweils zwei Versuchen) darstellen, wurde das Erreichen von $\Delta t_{\text{Mittel}}=250^\circ\text{C}$ als maßgebend bewertet. Im Allgemeinen haben die Messungen jedoch gezeigt, dass Δt_{Mittel} und Δt_{Max} sehr eng beieinander liegen.

5 Brandversuche und Interpretation

Dieses Kapitel beschreibt die Hauptversuchsphase dieser Arbeit und beinhaltet einen experimentellen und einen numerischen Abschnitt. Dabei fließen die Messergebnisse aus insgesamt 14 Einzelversuchen in die Ausführungen ein und werden auch jeweils als Temperaturzeitverlaufsdiagramm dargestellt. Insgesamt erfolgt eine Zuordnung zu vier Probekörpergrundtypen, die im **Abschnitt 5.1 - Versuchsdurchführung** erklärt und anschließend interpretiert werden. In **Abschnitt 5.2 - Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse** erfolgt schließlich eine tabellarische Gegenüberstellung der ermittelten Kapselungsdauern aller durchgeführten Versuche.

Abschnitt 5.3 - Temperaturverteilung im Querschnitt stellt die Ergebnisse aus einem weiteren Einzelversuch dar, der durch geschichtete Temperaturmessung im Inneren eines Holz-Holzleichtbeton Verbundquerschnitts auf die Temperaturverhältnisse in unterschiedlichen Tiefen zu unterschiedlichen Zeitpunkten schließen lässt. In **Abschnitt 5.4 - Temperaturverteilung im Schraubenbereich** wurden die gesammelten Messergebnisse aus der Hauptversuchsreihe 3 (HV3) eingearbeitet. Dabei soll qualitativ veranschaulicht werden, welchen Einflussradius die erhöhte Wärmeleitfähigkeit einer Senkkopfschraube im Verlauf eines Vollbrandes über einen Zeitraum von 90 Minuten hat.

Abschließend wurde in **Abschnitt 5.5 - Näherungsrechnung nach ÖNORM EN 1995-1-2** eine Näherungsrechnung in Anlehnung an die ÖNORM EN-1995-1-2 [36] durchgeführt, die den numerischen Teil dieser Arbeit darstellt.

5.1 Versuchsdurchführung

In diesem Abschnitt erfolgt die Beschreibung der Versuche zur Hauptversuchsphase. Der grundsätzliche konstruktive Aufbau entspricht dabei stets jenem der Vorversuchsreihe 3 (VV3), somit werden die entsprechenden Ergebnisse aus der Vorversuchsphase (VV3-a und VV3-b, siehe **Abschnitt 4.2.4.3** und **Anhang unter 7.4.3.1 und 7.4.3.2**) ebenfalls als maßgebend gewertet. Die in diesem Rahmen durchgeführten Einzelversuche teilen sich folgendermaßen auf:

- Idealisierter Verbund (keine Fugen in der Plattenebene) 4 Versuche
- Plattenstöße (ein- und zweilagig mit versetzten Stößen) 4 Versuche
- Schraubenverbindungen (Messung in unterschiedlichen Abständen) 4 Versuche
- Klebeverbindungen 2 Versuche

Dabei erfolgt eine schematische Darstellung des jeweiligen Probekörperaufbaus, der durch die dazu gehörigen Temperaturzeitkurven, Abbildungen, sowie eine Beschreibung und Interpretation der Versuche ergänzt wird.

5.1.1 Hauptversuchsreihe 1 (HV1) - Idealisierter Verbund

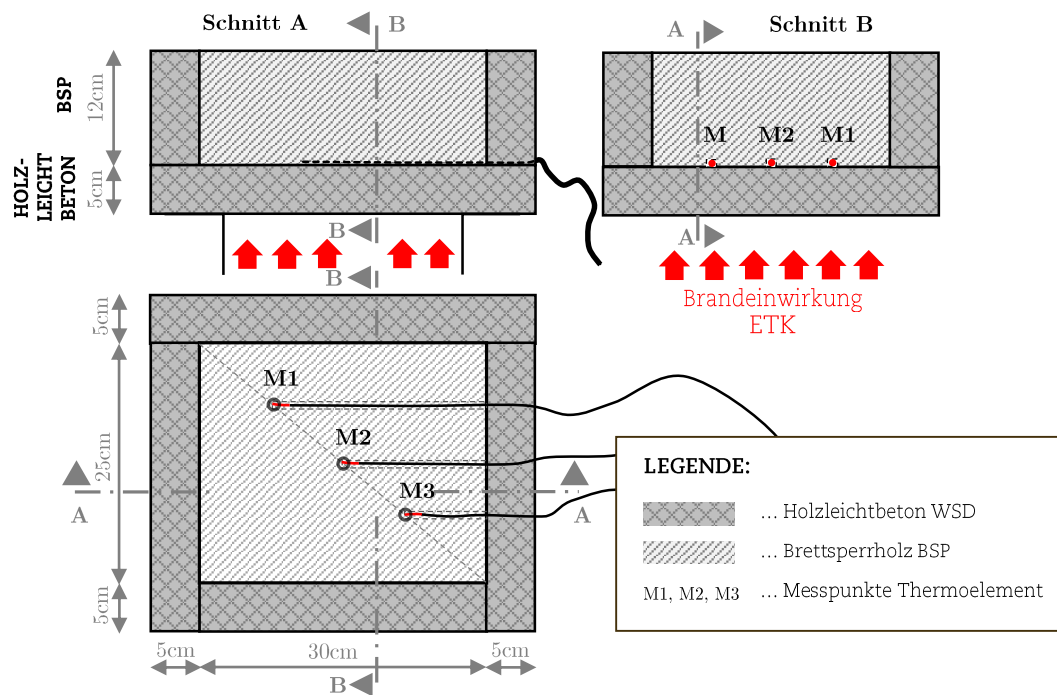


Abbildung 47: Schematischer Probekörperaufbau Hauptversuchsreihe 1

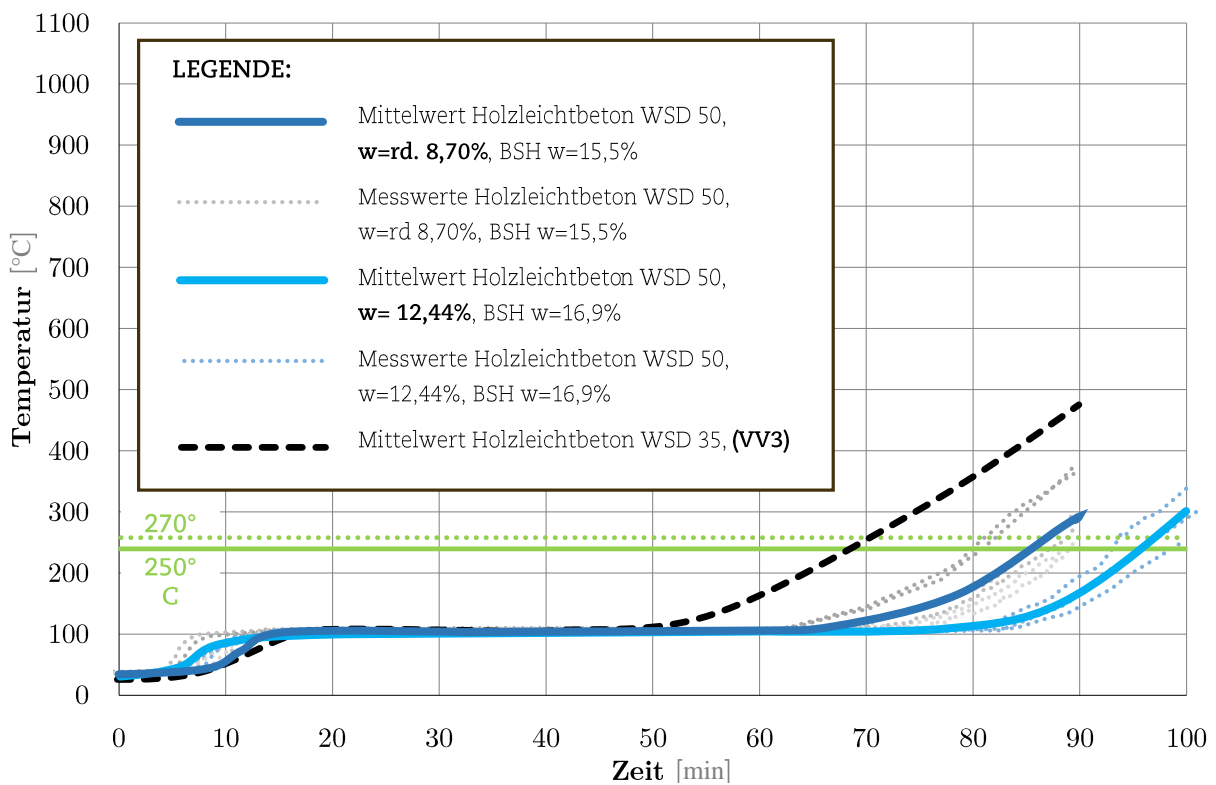


Abbildung 48: Aus der Hauptversuchsreihe 1 resultierende Temperaturzeitkurve basierend auf insgesamt 15 (12+3) Thermomesswerten

Der Aufbau der *Hauptversuchsreihe 1* behandelt den äquivalenten Fall zur als maßgebend bewerteten *Vorversuchsreihe 3*, allerdings kommen hier die stärkeren WSD 50 Platten zum Einsatz. Insgesamt wurden fünf Versuche durchgeführt, wobei zwei davon zur Bewertung der Holzoberfläche nach 60 Minuten beendet wurden. Zwei weitere Probekörper wurden über eine Dauer von 90 Minuten beansprucht, ein weiterer Aufbau sollte eine qualitative Aussage zum Temperaturverhalten bei anderer Grundkonditionierung ermöglichen.



Abbildung 49: Holzoberfläche zweier Probekörper nach der Brandbeanspruchung entsprechend der ETK,

Wie **Abbildung 49** zu entnehmen ist, gleicht die Holzoberfläche nach 60 Minuten mit Ausnahme geringer Verfärbungen im Mittel- und Randbereich noch gänzlich dem ursprünglichen Ausgangszustand und kann somit als unversehrt betrachtet werden. Laut Temperaturverlaufdiagramm treten die ersten kritischen Temperaturen erst nach etwa 83 Minuten auf, eine flächendeckende Verkohlung ist nach etwa 86,5 Minuten anzunehmen. Das scheint sich durch die optische Bewertung des Schädigungsgrades nach abgeschlossenen 90 Minuten zu bestätigen, da alle drei Messpunkte erfasst sind und die Verkohlung insgesamt sehr weit voran geschritten ist, wie ebenso aus **Abbildung 49** entnommen werden kann. Es ist außerdem zu erkennen, dass aufgrund der sich im Inneren des Prüfofens einstellenden Wärmeströmungszustände die zur Befuerung durch den Propangasbrenner abgewandte Seite des Probekörpers (obere Längsseite in der Abbildung) allgemein stärkeren Temperaturbelastungen ausgesetzt zu sein scheint, da dort die chemische Zersetzung des Holzes, sowie der seitlichen Dämmplatte tendenziell weiter voran geschritten ist, als in anderen Bereichen.

Im Zuge dieser Versuchsreihe konnte durch Beobachtungen an einem weiteren Einzelversuch nachgewiesen werden, dass die in der *ÖNORM EN 13501-2* [34] definierten kritischen Temperaturen unter den für diese Arbeit zugrunde liegenden Rahmenbedingungen Geltung haben und das Erreichen des Temperaturbereichs zwischen 250°C und 270°C unter der Beanspruchung

durch die Einheitstemperaturzeitkurve tatsächlich mit einem optisch gut wahrnehmbaren Verkohlungsbeginn verbunden ist. Die zusätzliche Definition in der neben den für das Kapselkriterium konkret festgesetzten Grenztemperaturen allgemein verlangt wird, dass Verkohlungen zu vermeiden sind, scheint für den Konditionierungszustand der Probekörper vor Versuchsbeginn überflüssig zu sein, da in niedrigeren Temperaturbereichen stets keine Verkohlung festgestellt werden konnte. Die Übergangsphase in der die Pyrolyseprozesse optisch wirksam werden, ist in **Abbildung 50** dargestellt.

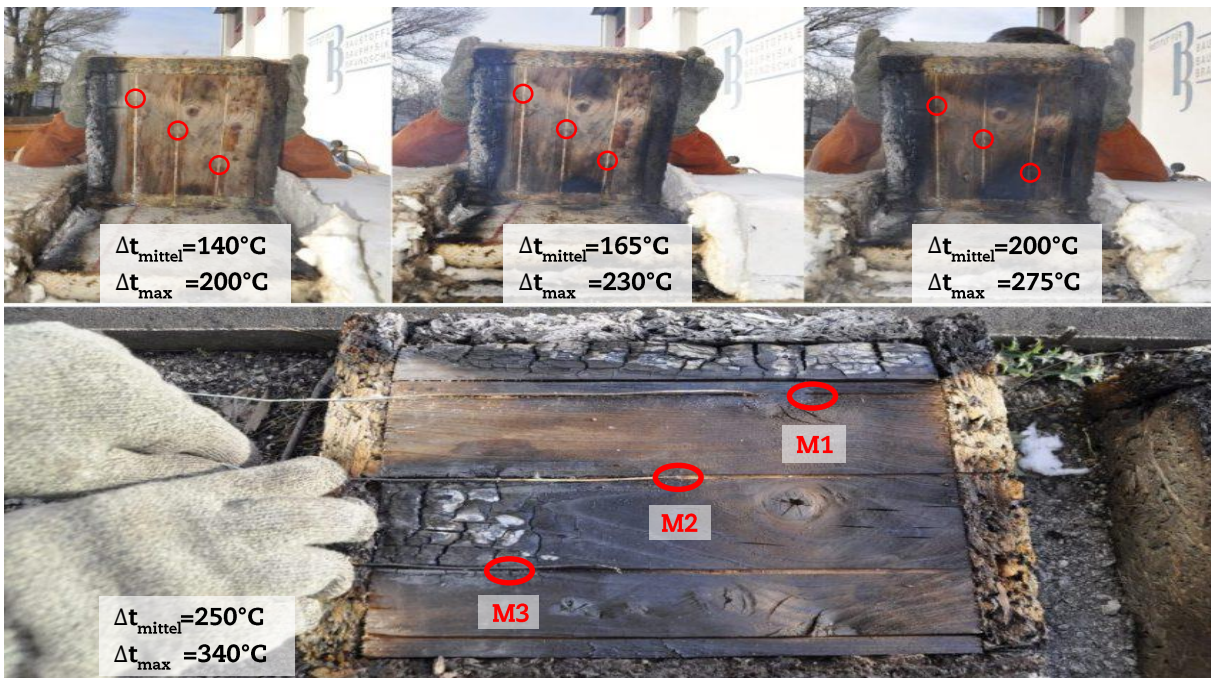


Abbildung 50: Schädigungsgrad der Holzoberfläche in Abhängigkeit von der Temperatur

Mit Ausnahme von einem einzigen Fall wurden sämtliche Probekörper der Hauptversuchsphase vor den experimentellen Durchführungen über mehrere Wochen bei Raumklima gelagert. Auch wenn sich innerhalb dieses Zeitraums noch keine Ausgleichsfeuchte einstellen konnte, wurde der innere Wassergehalt (Holzleichtbeton 8,3% bis 8,9% und BSP 14,8% bis 15,1%) als ausreichend praxisnah gewertet.

Zum Vergleich mit der üblichen Konditionierung wurde eine Probe aus Einzelbestandteilen hergestellt, die unmittelbar vor der Versuchsdurchführung im Freien gelagert waren. Dabei wurde mittels Darrtrocknung für die verwendete Holzspan-Schallschutzplatte WSD 50 ein Wassergehalt von 12,44% ermittelt, der Wassergehalt des Holzes betrug 16,9%. Bei den im Zusammenhang mit der entsprechenden Messung ermittelten Ergebnissen lässt sich ein um etwa 10 Minuten verbessertes Ergebnis gegenüber allen anderen Versuchen feststellen (*vergleiche **Abbildung 48** und **Tabelle 21***), was einer prozentuellen Steigerung der Widerstandsdauer von etwa 11% entspricht. Auch wenn es sich bedingt durch die insgesamt geringe Anzahl an Messungen im Rahmen dieser Arbeit lediglich um Orientierungsversuche handelt, ist zu erken-

nen, dass der Wassergehalt neben der Wahl der Plattenstärke einer der wesentlichsten Parameter für die Widerstandsdauer einer Verkleidung durch Holzspanplatten ist. Allgemein wird angenommen, dass die bei allen Versuchen über einen verhältnismäßig langen Zeitraum anhaltende Temperaturkonstanz im Bereich zwischen 95°C und 100°C in erster Linie mit dem kontinuierlich austreibenden Wasser aus dem Bauteil zu erklären ist. Abgesehen von der Dauer des Plateaus ist die Temperaturentwicklung unter Holzleichtbetonplatten unterschiedlicher Dicken (vgl. WSD 35 und WSD 50) sowie gleicher Plattenerzeugnisse mit unterschiedlichen Wassergehalten als ähnlich anzusehen, da die Tangentenanstiege der entsprechenden Graphen im Temperaturzeitverlaufdiagramm annähernd parallel verlaufen (*siehe **Abbildung 48***)

Basierend auf der *Hauptversuchsreihe 1* wurde abschließend ein Versuchsaufbau zur Modellierung der Temperaturverteilung im Querschnitt erstellt. Das Ergebnis soll als Grundlage für mögliche Optimierungszwecke dienen und ist in ***Abschnitt 5.3** unter **Abbildung 62*** dargestellt.

5.1.2 Hauptversuchsreihe 2 (HV2) – Plattenstöße

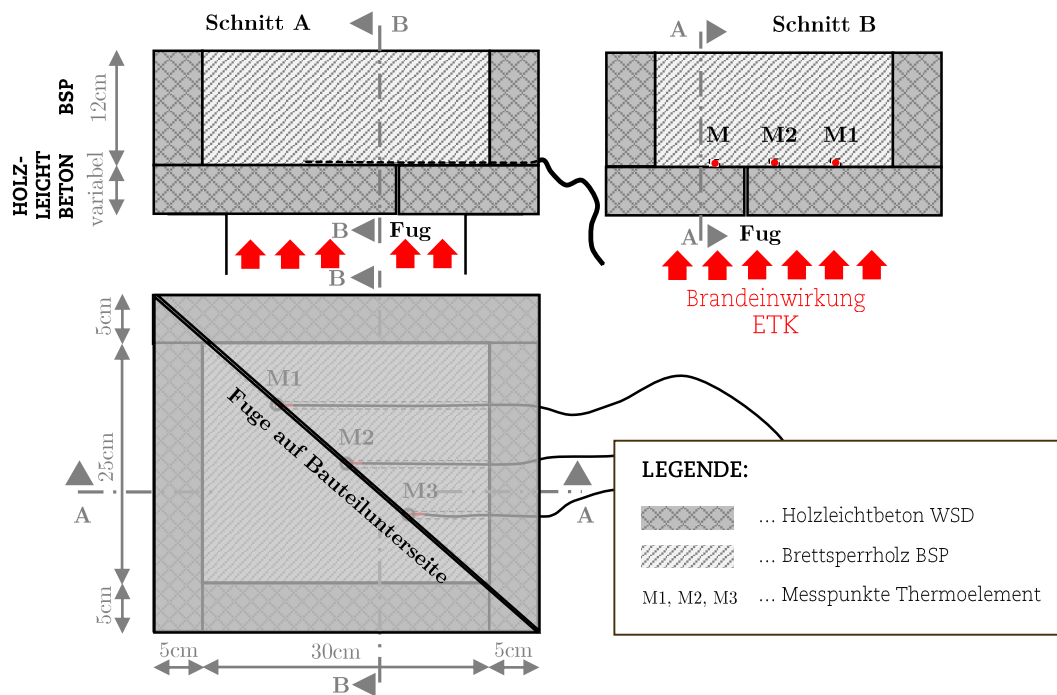


Abbildung 51: Schematischer Probekörperaufbau Hauptversuchsreihe 2, einlagig, Messung in der Bauteilfuge

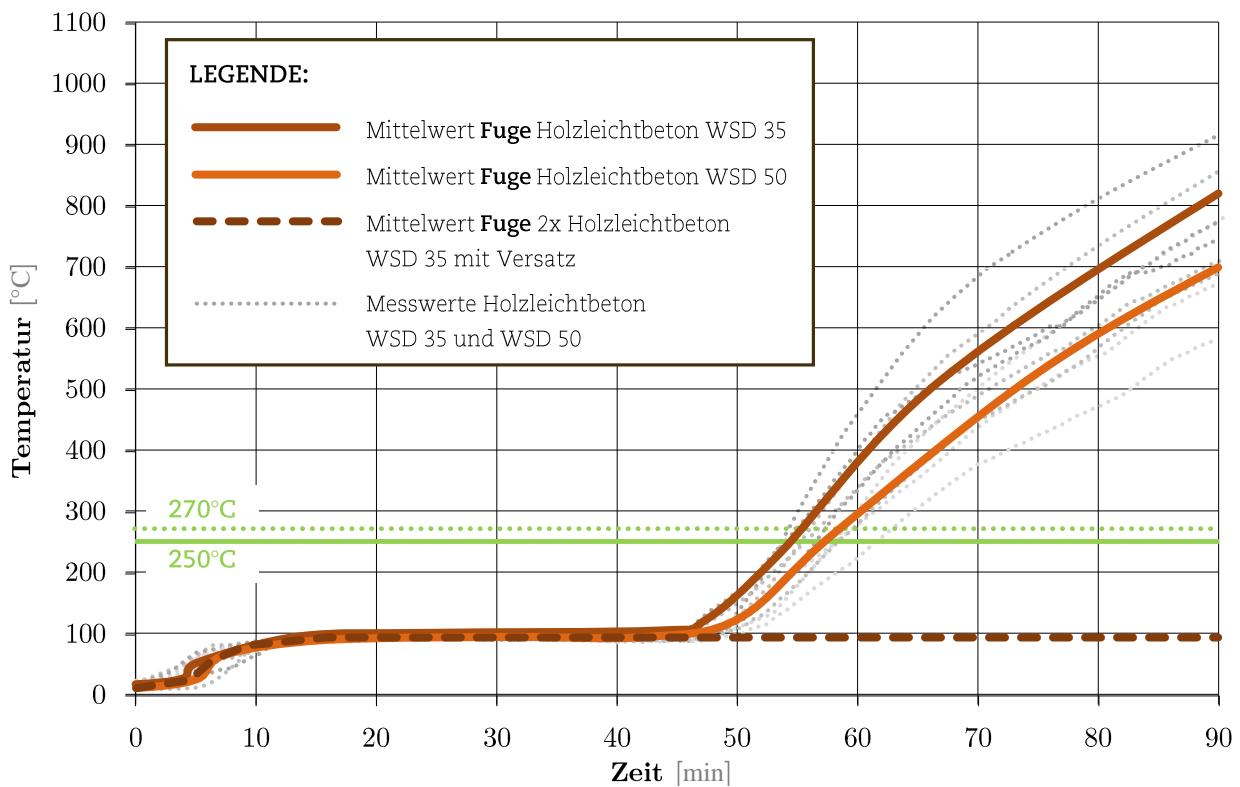


Abbildung 52: Aus der Hauptversuchsreihe 2 resultierende Temperaturzeitkurve basierend auf insgesamt 9 Messwerten

Im Zuge der *Hauptversuchsreihe 2* wurde die Temperaturentwicklung an der tiefsten Stelle einer nicht hinterlegten Fuge zwischen zwei Holzleichtbetonplatten untersucht, um ein Verständnis dafür zu schaffen, wie sehr die Schutzwirkung im Vergleich zum ideal fugenlosen Verbund nachlässt. Dabei konnte bei einer Fugenbreite von $\leq 1\text{mm}$ innerhalb der ersten 45 Minuten der aus *Hauptversuchsreihe 1* bekannte Verlauf verzeichnet werden. Erst danach kommt es praktisch schlagartig zu einem großen Temperaturanstieg, der nach 90 Minuten je nach verwendeter Plattenstärke Temperaturen von über 700°C erreicht.

Für den Versuchsaufbau wurden die Messpunkte zur Temperaturbestimmung entsprechend dem Grundaufbau entlang der Diagonale des Probekörpers so gewählt, dass sie sowohl zueinander, als auch zum Probekörpertrand einen ausreichenden Abstand aufweisen. Die Ausbildung des Plattenstoßes erfolgte somit ebenso diagonal (*siehe Abbildung 53*).



Abbildung 53: Thermoelemente unterhalb der der Verkleidung (links), diagonale Fuge in der Verkleidung des Probekörpers (rechts)

Um möglichst korrekte Ergebnisse zu erzielen, wurde ein kraftschlüssiger Verbund zwischen Platte und dem darunter liegenden Holz durch Vernagelung in entsprechend großem Abstand zur Fuge hergestellt, damit keine zusätzliche Wärmeübertragung erfolgen kann. Aufgrund der einseitig minimalen Auflagefläche am Prüfofen (Plattenspitz) wären ohne Verbund ein frühzeitiges Versagen der Plattentragwirkung und ein ungewünschter Durchhang zu erwarten gewesen, wodurch sich wahrscheinlich ein Hohlraum ausgebildet hätte, der grundsätzlich zu einer verstärkten Brandentwicklung beiträgt (Hohlraumbrand).

Die durchgeführten Messungen im Fugenbereich von Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35 zeigten eine Widerstandsdauer von etwa 53 Minuten, bei Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50 war die Widerstandsdauer mit knapp 57 Minuten nur geringfügig größer, wodurch keine der geforderten Zeitspannen zur Erfüllung des Kapselkriteriums erreicht werden konnte.

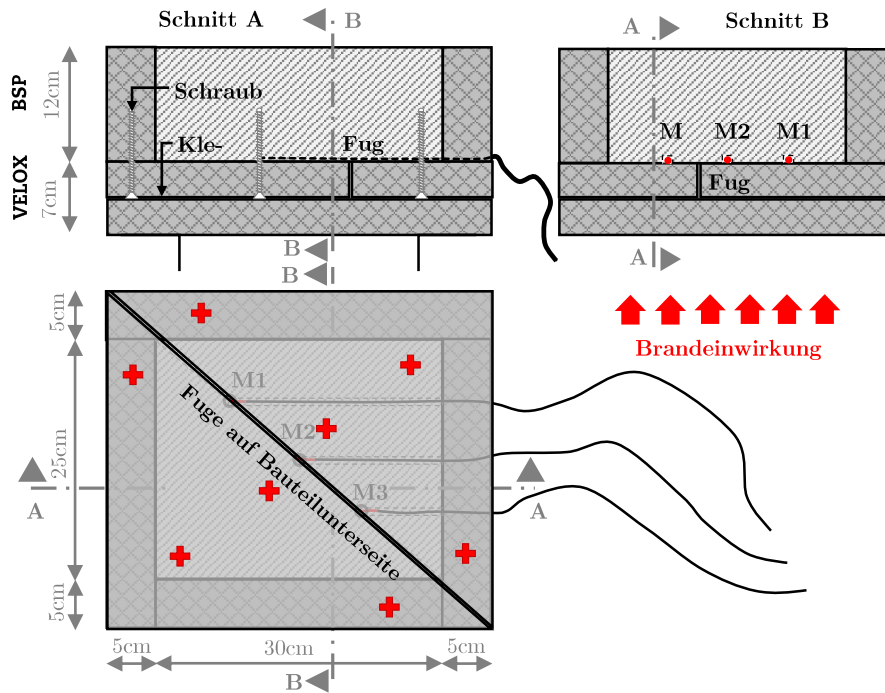


Abbildung 54: Schematischer Probekörperaufbau Hauptversuchsreihe 2, zweilagig, Messung in der Bauteilfuge

Es wurde ebenso das Verhalten einer zweilagigen Kapselung untersucht, bei der die Plattenfuge durch eine durchgehende zweite Schicht hinterlegt war. Dabei wurde die erste Schicht verschraubt (siehe auch 5.1.3 - Hauptversuchsreihe 3 (HV3) – Schraubenverbindungen) und die darunter liegende äußere Platte vollflächig verklebt (siehe auch 5.1.4 - Hauptversuchsreihe 4 (HV4) – Klebeverbindungen). Nach theoretischen Gesichtspunkten kann die Konvektion durch eine dahinter befindliche Zusatzebene fast vollständig unterbunden werden. Die Versuchsdurchführungen zu diesem Aufbau zeigten erwartungsgemäß, dass die Verkohlung der Holzoberfläche über einen Zeitraum von 90 Minuten gänzlich unterbunden werden kann. Eine Messung darüber hinaus wurde jedoch nicht vorgenommen.



Abbildung 55: Brandschädigung in der Ebene zwischen beiden Holzleichtbetonplatten (links) und an der Holzoberfläche (rechts)

5.1.3 Hauptversuchsreihe 3 (HV3) – Schraubenverbindungen

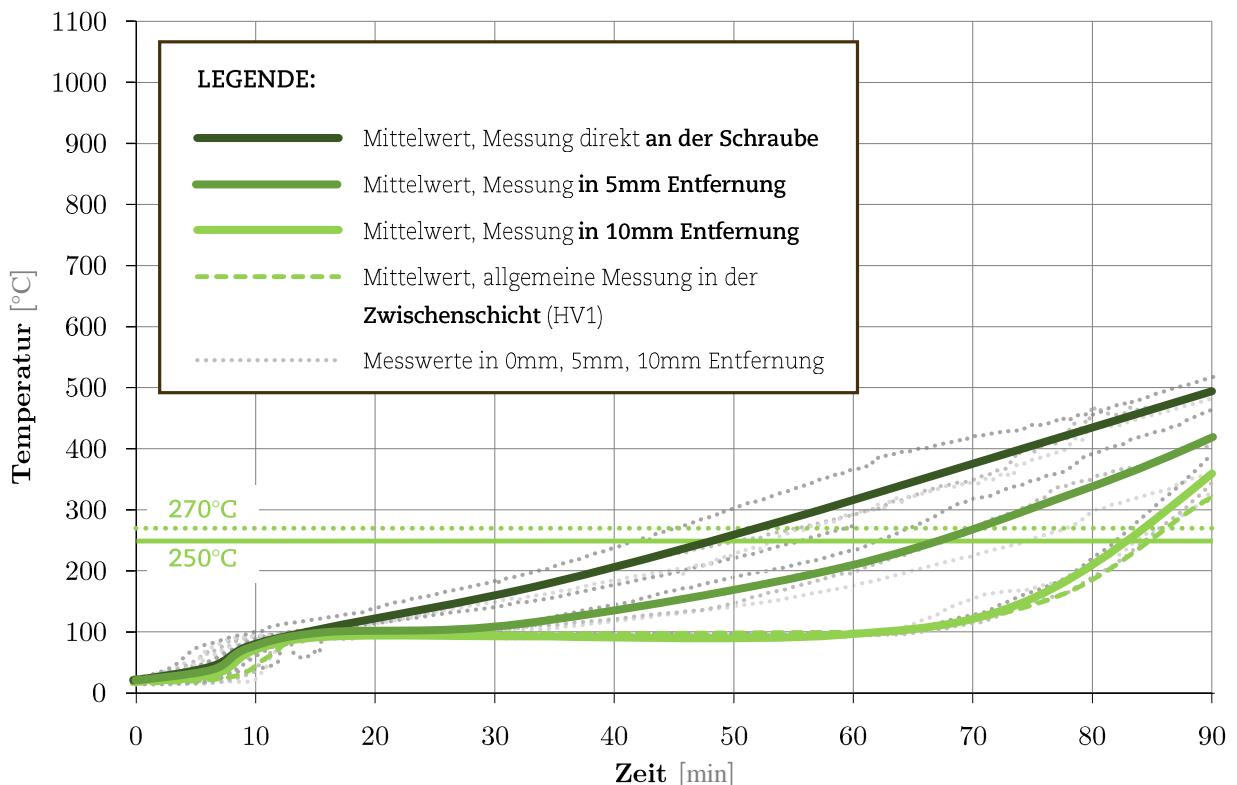
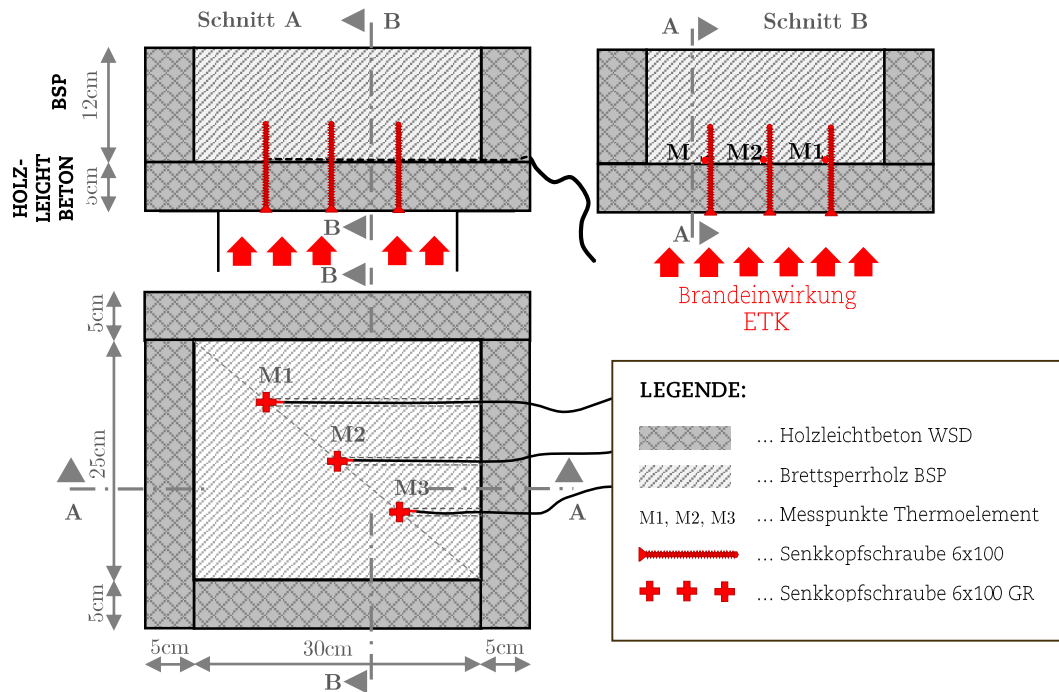


Abbildung 56: Aus der Hauptversuchsreihe 3 resultierende Temperaturzeitkurve basierend auf insgesamt 12 Messwerten

Brandschutzbekleidungen werden im Regelfall durch metallische Verbindungsmittel auf der darunter liegenden Holzkonstruktion befestigt. Diese gelten allerdings aus brandschutztechnischer Sicht als die absolute Schwachstelle einer Verkleidung, da sie einen erheblichen Beitrag zur schnelleren Wärmeübertragung ins Bauteilinnere leisten. Grundsätzlich ist zwischen Schrauben, Nägel und Klammern zu unterscheiden, wobei die Aufzählungsreihenfolge auch der Bedeutung für die Praxis entspricht. Dabei ist allerdings anzunehmen, dass Schrauben aufgrund ihrer vergleichsweise großen Querschnittsfläche im direkten Vergleich den größten Wärmeeintrag ins Innere eines Bauteils leisten und Klammern aufgrund ihres geringen Schaftdurchmessers den geringsten. Allerdings werden Klammern eher für Plattenerzeugnisse mit geringerer Dicke eingesetzt. Aus diesem Grund sind Schrauben im Zusammen mit Platten aus Holzleichtbeton von entscheidender Bedeutung für die Brandbeständigkeit einer Konstruktion.

Für die Erfüllung des K₂60 Kapselkriteriums darf über die gesamte Feuerwiderstandsdauer neben der Vorgabe des zulässigen Temperaturanstiegsbereichs keine Verkohlung des um die Schraubenverbindungen befindlichen Holzes auftreten. Die Anforderungen zur Erreichung des Kapselkriteriums sind zwar in der *ÖNORM EN 13501-2* [34] definiert (*siehe auch Abschnitt 2.4.5*), was den tatsächlichen Verkohlungszeitpunkt betrifft, gibt es aufgrund der sich meist überlagernden Pyrolysereaktionen (*siehe Abschnitt 2.1.3.2*) jedoch einen Interpretationsspielraum. Grundsätzlich gilt, dass eine Verfärbung der Oberfläche der Holzleichtbetonplatte noch nicht als Verkohlung zu werten ist. Es kann allerdings aufgrund der allgemeinen Beobachtungen im Zuge der Versuchsdurchführungen dieser Arbeit festgehalten werden, dass der Zeitraum zwischen einer erkennbaren Verfärbung und der offensichtlichen Verkohlung im Gegensatz zu rein mineralischen Plattenerzeugnissen wie z.B.: Gipskarton- und Gipsfaserplatten vernachlässigbar gering ist (*vgl. Abschlussbericht Forschungsvorhaben, WKI, iBMB, Bundesverband der Gipsindustrie [12]*). Verfärbungen an der Holzoberfläche sind vor Eintritt der Verkohlung hingegen gut erkennbar.

Für die Schraubenversuchsreihe 3 kamen verzinkte Spanplattensenkkopfschrauben mit den Abmessungen 6x100mm zum Einsatz. Zur Temperaturbestimmung wurden die Enden der Thermokabeln schlaufenförmig ausgebildet und um das Gewinde der Schrauben gewickelt. Dadurch konnte ein nachträgliches Verrutschen durch den Einbau unterbunden werden. Etwas schwieriger gestaltete sich die Anbringung der Messfühler zur Bestimmung der Temperatur im Abstand von 5mm und 10mm. Diese zusätzlichen Messdaten waren notwendig, um zusammen mit der unmittelbaren Entwicklung am Schraubenschaft ein genähertes Temperaturverteilungsmodell über den zeitlichen Beanspruchungsverlauf für den unmittelbaren Schraubenbereich zu erhalten (*siehe Abschnitt 5.4 - Temperaturverteilung im Schraubenbereich*). Dieses Modell war notwendig, um die Gefahr eines möglichen durch die Schraube verursachten Hohlraumbrandes einschätzen zu können.

Die Kabelführung wurde zur besseren Einpassung an mehreren Stellen mittels Klammern befestigt, dennoch ist davon auszugehen, dass die notwendige Exaktheit die der Einbau erfordert,

wesentlich einfacher und komfortabler durch Perlen-Thermoelemente zu erreichen gewesen wäre, die aber über die Dauer des Versuchszeitraums nicht zur Verfügung standen.



Abbildung 57: Thermoelemente im Schraubebereich, Messung direkt an der Schraube (links), in 5mm Entfernung (mitte), in 10mm Entfernung (rechts)

Die durchgeführten Messungen zeigen, dass die Temperaturerhöhung am Gewinde (Schraubenabstand=0mm) innerhalb der 90-minütigen Brandbeanspruchungsdauer für eine Beplankung durch WSD 50 Platten stets unter 500°C beträgt. Die Temperatur in 10mm Entfernung weicht nur geringfügig von der in der *Hauptversuchsreihe 1* (vergleiche **Abbildung 56**) festgestellten Temperaturentwicklung ab, und kann somit als identisch betrachtet werden. Der entsprechende Temperaturzeitverlauf repräsentiert theoretisch jede beliebige Stelle in der Ebene zwischen Holzoberfläche und Holzleichtbetonplatte, die sich außerhalb des Einflussbereichs eines metallischen Verbindungsmittels befindet. Somit kann der für den Bemessungszeitraum relevante Einflussradius also näherungsweise mit 10mm angenommen werden. Die Temperaturerhöhung nach 90 Minuten beträgt im Randbereich rund 310°C, jene direkt am Gewinde etwa 480°C, wodurch sich eine Temperaturdifferenz von 170°C ergibt. Die größte Abweichung ist jedoch bereits ungefähr bei Minute 70 im Ausmaß von 280°C zu verzeichnen, nachdem bis dahin die Schraubentemperatur langsam aber von Beginn an kontinuierlich gestiegen ist und sich in 10mm Entfernung der gewohnte Plateaueffekt einstellt. Erst danach werden die chemischen Umwandlungsprozesse im Holz wirksam, wodurch eine kontinuierliche Temperaturzunahme mit einem stärkeren Anstieg zu verzeichnen ist, als am Schraubenschaft. Unter der Annahme, dass die Tangentensteigungen beider Graphen in weiterer Folge annähernd gleich bleibt, kann anhand der Messergebnisse davon ausgegangen werden, dass die Oberflächentemperatur des Holzes die Schraubentemperatur über die Versuchsdauer hinaus nach etwa 100-110 Minuten Branddauer überschreiten würde (vergleiche **Abbildung 56**).

Bei der objektiven Beurteilung des Schädigungsgrades der Holzoberfläche in unmittelbarer Umgebung einer Schraube konnten nach 60 Minuten Verfärbungen in unmittelbarer Nähe festgestellt werden. Obwohl die für das Kapselkriterium relevanten Grenztemperaturen bereits nach 50 Minuten überschritten waren, konnten die farbliche Veränderung noch zehn Minuten später eindeutig noch nicht als Verkohlung klassifiziert werden. Die Messergebnisse in 5mm

Entfernung (hier wird die kritische Temperatur nach etwa 66 Minuten erreicht) lassen allerdings vermuten, dass die tatsächliche Verkohlung im schraubennahen Bereich unmittelbar im Anschluss zwischen 60 und 65 Minuten einsetzt.

Bei der Betrachtung des Schädigungsgrades nach 90 Minuten war um die Schrauben herum trotz höherer gemessener Temperaturen keine stärkere Beeinträchtigung des Holzes festzustellen, als im entfernteren Bereichen der Übergangsschicht (*siehe **Abbildung 58**, links*). Dadurch wurde die Gefahr eines Hohlraumbrandes für die verwendeten Senkkopfschrauben allgemein als relativ gering bewertet.



Abbildung 58: Leichte Holzverfärbungen im Schraubenbereich nach 60min Brandbeanspruchung (links) und Verkohlungsbild nach 90min (rechts)

Basierend auf den Messergebnissen der *Hauptversuchsreihe 3* wurde ein genähertes Temperaturverteilungsmodell (*siehe **Abschnitt 5.4***) erstellt, das veranschaulichen soll, welche thermischen Zustände im unmittelbaren Schraubenbereich zu den unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten und ab welchem Zeitpunkt mit Verkohlungen zu rechnen ist. Dabei sind lediglich die gemessenen Temperaturen maßgebend. Begünstigende Beobachtungen fließen somit nicht ein, weshalb das Modell geringe Reserven gegenüber dem realen Verhalten aufweist.

5.1.4 Hauptversuchsreihe 4 (HV4) – Klebeverbindungen

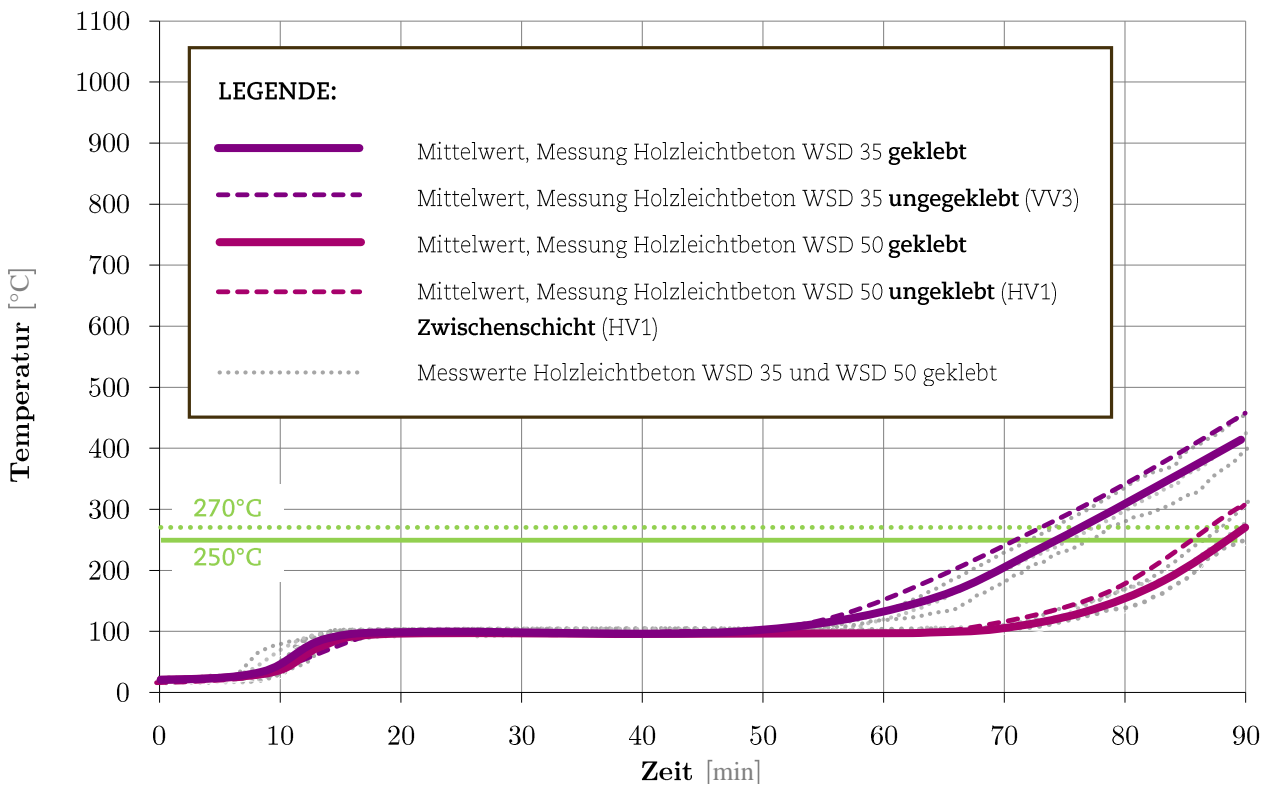
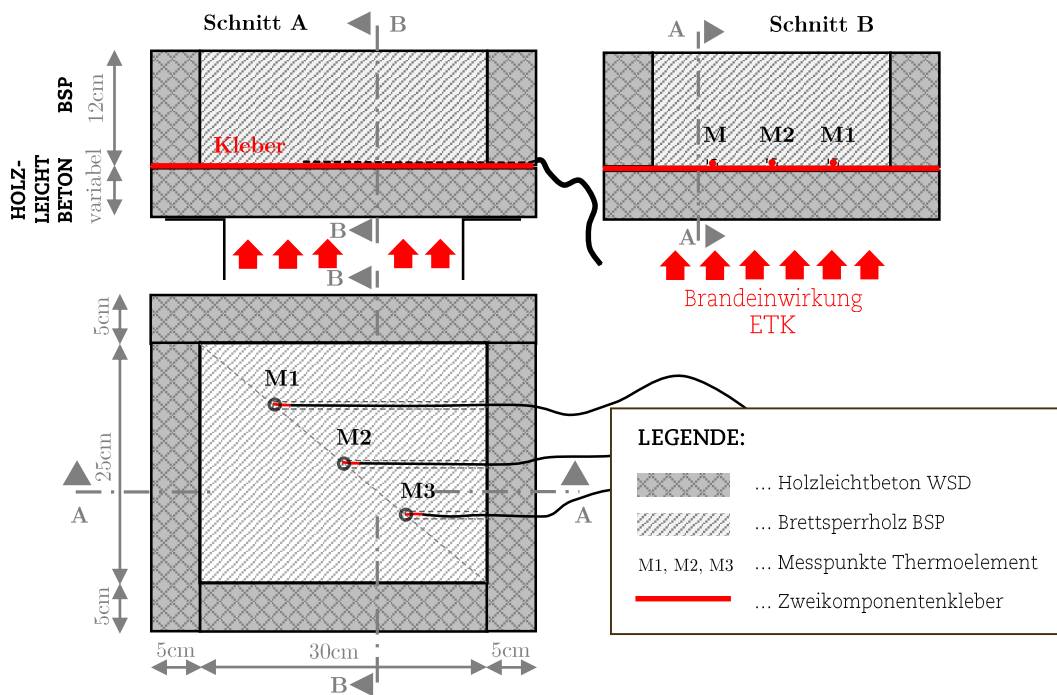


Abbildung 59: Aus der Hauptversuchsreihe 4 resultierende Temperaturzeitkurve basierend auf insgesamt 12 Messwerten

In *Hauptversuchsreihe 4* wurde die grundsätzliche Eignung von Klebeverbindungen untersucht. Dabei kam ein Sikadur® Zweikomponentenkleber zum Einsatz, dessen Verhalten unter Brandeinwirkung optisch bewertet wurde. Die Klebeschicht war nach Versuchsende so weit aufgeweicht, dass es möglich war, den Verbund zwischen Platte und Holzprobe ohne übermäßigen Kraftaufwand mit bloßen Händen zu lösen. Allerdings war die Haftwirkung noch soweit gegeben, dass eindeutig von einem Verbund zwischen Holzleichtbetonplatte und Brettsperroberfläche und somit von einer weiterhin vorhandenen Schutzwirkung des Holzes gesprochen werden konnte. Ob eine Haftung durch den verwendeten Sikadur® Zweikomponentenkleber auch bei ganzen geklebten Platten mit Abmessungen von 200x50cm in der Praxis gegeben wäre (vor allem wenn diese kopfüber im Deckenbereich anzubringen sind) wurde nicht als zentrale Fragestellung dieser Arbeit definiert und somit nicht behandelt. Die im Rahmen des Forschungsprojektes *WooCon* geplanten Realbrandversuche (*siehe Abschnitt 1.1 - Einleitung, Motivation und Zielsetzung*) sollen sich jedoch eingängiger mit dem Thema Klebstoffe bei Holz-Holzleichtbetonverbundkonstruktionen beschäftigen, wo schließlich auch konstruktive Fragen zu klären sind.



Abbildung 60: Zweikomponentenkleber Sikadur®-31 Komponenten A und B



Abbildung 61: Kleberrückstände und verkohlte Holzleichtbetonplatte am Ende einer Brandbeanspruchungsdauer von 90 Minuten

Vor Versuchsbeginn wurde lediglich die Frage formuliert, inwiefern die Klebeschicht im Stande ist einen nennenswerten Beitrag zur Feuerwiderstandsdauer zu leisten. Die Versuchsergebnisse lassen darauf schließen, dass die Klebeschicht einen minimalen Beitrag zur Verbesserung der Widerstandszeit leistet. Die ermessene Zeitdifferenz verglichen zum jeweils gleichen Aufbau

ohne Kleber beträgt zwischen 3 und 4 Minuten bei ansonsten qualitativ vergleichbarem Verlauf (vergleiche **Abbildung 59**). Damit lassen sich bei einer Plattenstärke von 5cm aber immerhin laut den ausgewerteten Versuchsergebnissen 89 Minuten erreichen, allerdings wäre für eine fundierte Aussage ein weitaus größere Anzahl an Messungen erforderlich. Am Ende der Versuchsdurchführungen war eine charakteristisch Schwärzung der Holzleichtbetonplatte, sowie der verbleibenden Kleberrückstände zu erkennen.

5.2 Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse

| Versuche | | Erreichen von $\Delta t_{\text{Mit-}}_{\text{tel}}=250^{\circ}\text{C}$ | | | Erreichen von $\Delta t_{\text{Max}}=270^{\circ}\text{C}$ in [min] | | |
|----------|--|---|-----------------------|----------------------------|---|-----------------------|----------------------------|
| | | Messung a [min] | Messung b [min] | Durch- schnitt [min] | Messung a [min] | Messung b [min] | Durch- schnitt [min] |
| HV1 | HLB WSD 50, w=rd. 8,70%, BSP w=15,5%, unverklebt, „trocken“ | 86,84 | 86,50 | 86,67 | 82,34 | 83,67 | 83,00 |
| HV1 | HLB WSD 50, w= 12,44%, BSP w=16,9%, unverklebt, „feucht“ | 97,17 | - | 97,17 | 95,67 | - | 95,67 |
| HV2 | HLB WSD 35, w= 8,83%, BSP w=15,5%, Fuge | 53,00 | - | 53,00 | 53,50 | - | 53,50 |
| HV2 | HLB WSD 50, w= rd. 8,80%, BSP w=15,4%, Fuge | 58,34 | 56,00 | 57,17 | 57,50 | 55,17 | 56,34 |
| HV2 | HLB 2x WSD 35, w= rd. 8,80%, BSP w=15,4%, Fuge | - | - | >90min | | | >90min |
| HV3 | HLB WSD 50, w= rd. 8,50%, BSP w=14,9%, Schraube, direkte Messung | 49,50 | 51,34 | 50,42 | 46,17 | 48,00 | 47,09 |
| HV3 | HLB WSD 50, w= rd. 8,50%, BSP w=14,9%, Schraube, Messung 5mm | 68,00 | 68,50 | 68,25 | 65,50 | 66,17 | 65,84 |
| HV3 | HLB WSD 50, w= rd. 8,50%, BSP w=14,9%, Schraube, Messung 10mm | 84,00 | 84,67 | 84,33 | 83,67 | 82,67 | 83,17 |
| HV4 | HLB WSD 35, w= 8,65%, BSP w=15,1%, Kleber | 75,50 | - | 75,50 | 74,67 | - | 74,67 |
| HV4 | HLB WSD 50, w= 8,65%, BSP w=15,1%, Kleber | 89,00 | - | 89,00 | 88,84 | - | 88,84 |

HLB ... Holzleichtbeton

Tabelle 21: Tabellarische Gegenüberstellung der Kapselungsdauern aller Hauptversuche HV1-HV4

5.3 Temperaturverteilung im Querschnitt

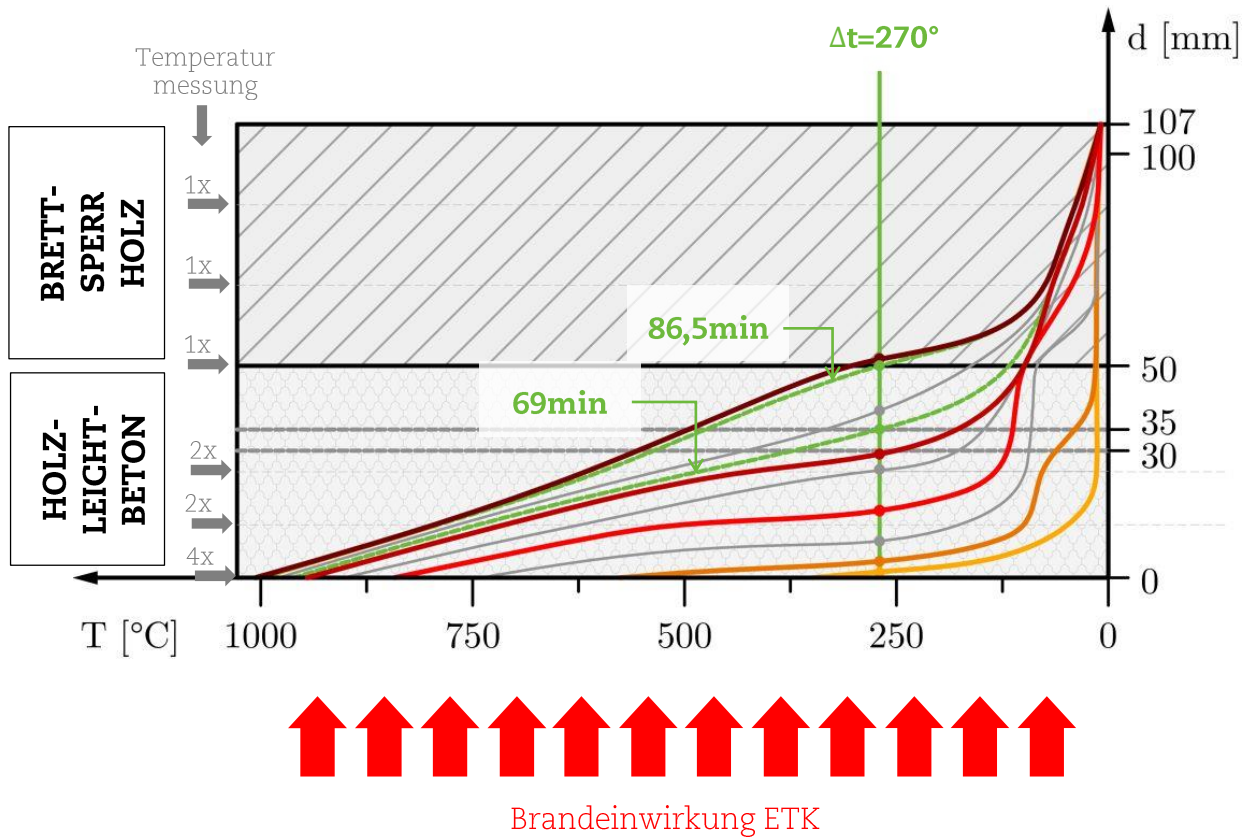
Um eine Grundlage für Optimierungszwecke im Zusammenhang mit Holz-Holzleichtbeton Verbundkonstruktionen zu schaffen, wurde in Anlehnung an Hauptversuchsreihe 1 (*siehe Abschnitt 5.1.1*) ein weiterer Brandversuch durchgeführt. Anstatt der bisherigen Messung in zwei Ebenen (Bauteilfuge und Ofentemperatur, wobei die Ofentemperatur der Bauteiloberfläche gleichgesetzt werden kann) erfolgt nun eine Messung in 6 Ebenen durch insgesamt 11 Messstellen (*siehe Abbildung 62*, dargestellt durch graue Pfeile links). Die Temperatur an der brandabgewandten Seite der Oberfläche konnte zudem über die Messung der Umgebungstemperatur wiedergegeben werden. Für den Probekörperaufbau kamen anstatt des ansonsten verwendeten Brettsperrholzes mit einer Stärke von 12cm drei Brettsperrholzplatten mit jeweils 1,9cm zum Einsatz. Nach Anbringung der Thermokabeln in den Zwischenräumen wurden diese kraftschlüssig miteinander und mit der darunter befindlichen Holzleichtbetonplatte in den Randbereichen vernagelt. Zusätzlich wurden durch filigrane Bohrungen Kanäle zur zusätzlichen Anbringung von Thermomesskabeln in 1,25cm und in 2,5cm Tiefe mit jeweils zwei Messpunkten geschaffen, die den eigentlich maßgebenden Temperaturverlauf innerhalb der Brandschutzplatte ermitteln sollen.

Die mehrschichtige Messung ermöglicht eine gleichzeitige Gegenüberstellung der Temperaturzeitverläufe in unterschiedlichen Bauteiltiefen (*siehe Abbildung 63*). Dabei wird ersichtlich, dass sich in allen Ebenen die bereits bekannten Verhältnisse im Bereich zwischen 95°C und 100°C (*vergleiche Abschnitt 4.2.4 und Abschnitt 5.1*) ausbilden, ungeachtet dessen, ob die Kapillarstruktur an dieser Stelle durchbrochen wird (Fuge zwischen Holzleichtbetonplatte und Holz oder zwischen zwei BSP-Platten) oder nicht (Messpunkte innerhalb der Holzleichtbetonplatte). Dabei scheint die Tiefe der Messung und die damit verbundene Geschwindigkeit des temperaturbedingten Wasseraustritts die bestimmende Variable für die Dauer und den Zeitpunkt eines auftretenden Temperaturplateaus zu sein.

Aus den gesammelten Ergebnissen lässt sich ein Temperatur-Querschnittstiefendiagramm entsprechend *Abbildung 62* ableiten. In diesem können schließlich über die ermittelten Messwerte die entsprechenden Temperaturzustände zu den unterschiedlichsten Brandbelastungszeitpunkten dargestellt werden. Als maßgebend wurden die Zeitpunkte 1min, 5min, 15min, 30min, 45min, 60min, 75min und 90min definiert. Dabei wird das Erreichen einer Temperatursteigerung von 270°C (Darstellung im Diagramm durch eine grüne vertikale Linie) entsprechend den Ausführungen unter *Abschnitt 2.4.5* als maßgebend für die Verkohlung an der jeweiligen Stelle definiert. Eine Verschneidung mit den Temperaturzustandslinien lässt die Verkohlungstiefe für die gewählten Zeitintervalle erkennen.

Die ermittelten Verläufe der Temperaturverteilung lassen für eine Tiefe von 5cm eine Verkohlung nach 86,5 Minuten erkennen, für eine Tiefe von 3,5cm (entsprechend Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35) ist eine Verkohlung nach 69 Minuten erreicht. Diese beiden Ergebnisse

sind durchaus vergleichbar mit den Erkenntnissen aus der *Vorversuchsreihe VV3* (vergleiche *Abschnitt 4.2.4.3*) und der *Hauptversuchsreihe HV1* (vergleiche *Abschnitt 5.1.1*).









| LEGENDE | |
|---|---|
|  | Temperaturverteilung nach 1min |
|  | Temperaturverteilung nach 5min |
|  | Temperaturverteilung nach 30min |
|  | Temperaturverteilung nach 60min |
|  | Temperaturverteilung nach 90min |
|  | Temperaturverteilung nach 15, 45, 75min |

Abbildung 62: Zeitlicher Verlauf der Temperaturverteilung eines Holz-Holzleichtbeton Verbundquerschnittes (WSD 50 und BSP) unter Brandeinwirkung nach Einheitstemperaturzeitkurve, Temperaturmessung durch 11 NiCr-Ni Thermoelemente in 6 Ebenen (4x Ofen, 4x Holzleichtbeton, 1x Fuge, 2x Holz)

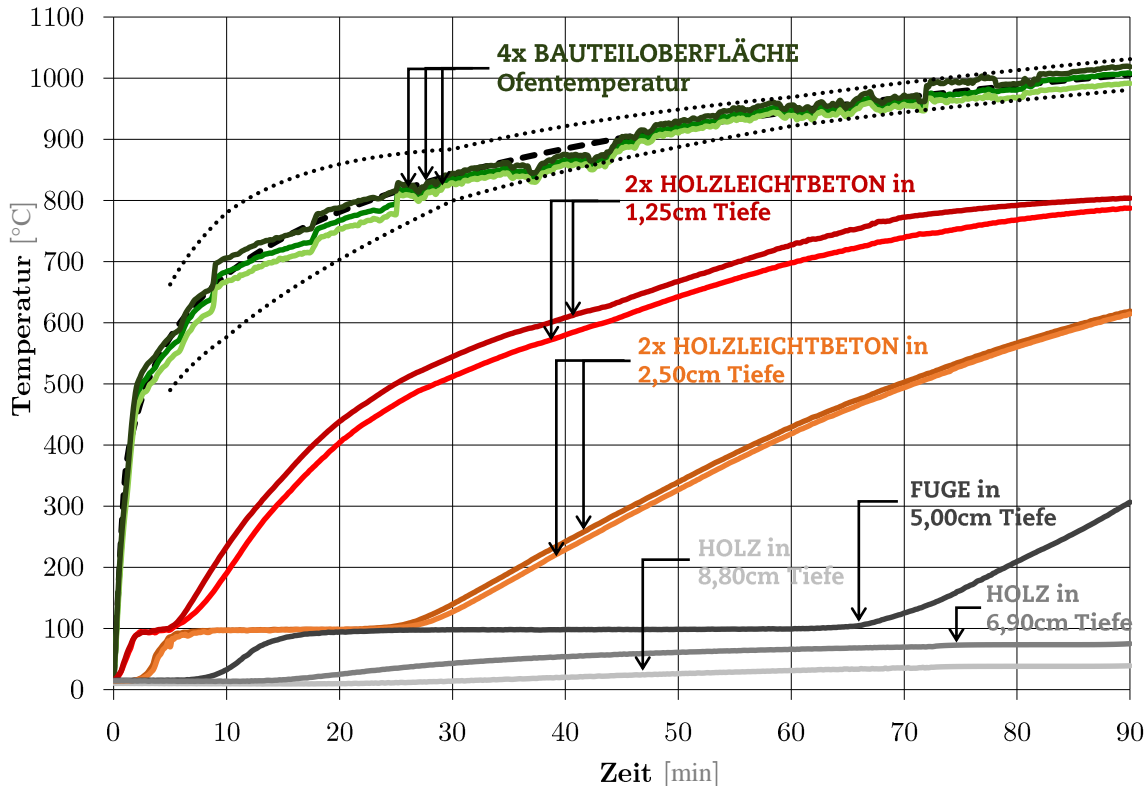


Abbildung 63: Temperaturverlaufdiagramm eines Holz-Leichtbeton Verbundquerschnittes (WSD 50 und BSP) unter Brandentwicklung nach Einheitstemperaturzeitkurve Temperaturmessung durch 11 NiCr-Ni Thermoelmente in 6 Ebenen (4x Ofen, 4x Holzleichtbeton, 1x Fuge, 2x Holz)

| Ofentemperatur | | | | VEL 1,25A | VEL 1,25B | VEL 2,50A | VEL 2,50B | Fuge 5,00 | Holz 6,90 | Holz 8,80 | Raum-temp. | Intervalle |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|
| 19 | 18 | 20 | 20 | 15 | 16 | 14 | 14 | 15 | 14 | 11 | 9 | 0,00 |
| 63 | 71 | 68 | 66 | 17 | 18 | 14 | 14 | 15 | 14 | 10 | 10 | 0,17 |
| 120 | 141 | 129 | 134 | 20 | 21 | 14 | 14 | 15 | 14 | 10 | 10 | 0,34 |
| 172 | 200 | 181 | 185 | 25 | 26 | 14 | 14 | 15 | 14 | 10 | 9 | 0,50 |
| 215 | 246 | 222 | 235 | 30 | 31 | 14 | 14 | 15 | 14 | 10 | 9 | 0,67 |
| 255 | 283 | 258 | 279 | 38 | 42 | 14 | 14 | 15 | 14 | 10 | 9 | 0,84 |
| 289 | 315 | 290 | 313 | 48 | 50 | 14 | 14 | 15 | 14 | 10 | 9 | 1,00 |
| 319 | 342 | 315 | 344 | 54 | 59 | 14 | 14 | 15 | 14 | 10 | 9 | 1,17 |
| 350 | 378 | 349 | 377 | 62 | 67 | 14 | 14 | 15 | 14 | 10 | 9 | 1,34 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 532 | 571 | 544 | 563 | 98 | 100 | 79 | 72 | 15 | 14 | 10 | 9 | 4,67 |
| 537 | 574 | 546 | 569 | 97 | 100 | 84 | 80 | 15 | 14 | 10 | 10 | 4,84 |
| 541 | 577 | 549 | 572 | 98 | 102 | 86 | 70 | 15 | 14 | 10 | 9 | 5,00 |
| 544 | 579 | 552 | 575 | 100 | 104 | 87 | 83 | 15 | 14 | 10 | 9 | 5,17 |
| 547 | 583 | 555 | 578 | 102 | 106 | 89 | 83 | 15 | 14 | 10 | 9 | 5,34 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 716 | 739 | 705 | 714 | 306 | 341 | 98 | 98 | 82 | 16 | 10 | 9 | 14,67 |

5 Brandversuche und Interpretation - 5.3 Temperaturverteilung im Querschnitt

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| 717 | 740 | 705 | 714 | 309 | 344 | 98 | 98 | 83 | 16 | 9 | 9 | 14,84 |
| 717 | 741 | 703 | 716 | 312 | 347 | 98 | 98 | 84 | 16 | 9 | 9 | 15,00 |
| 720 | 743 | 706 | 716 | 315 | 351 | 98 | 97 | 85 | 16 | 9 | 9 | 15,17 |
| 720 | 743 | 705 | 717 | 319 | 354 | 98 | 98 | 86 | 16 | 9 | 9 | 15,34 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 826 | 841 | 825 | 837 | 509 | 542 | 136 | 124 | 98 | 43 | 14 | 9 | 29,67 |
| 829 | 844 | 828 | 840 | 511 | 543 | 138 | 126 | 98 | 43 | 14 | 9 | 29,84 |
| 829 | 844 | 829 | 840 | 512 | 545 | 140 | 127 | 98 | 43 | 14 | 9 | 30,00 |
| 828 | 844 | 827 | 839 | 513 | 546 | 141 | 129 | 98 | 43 | 14 | 9 | 30,17 |
| 828 | 844 | 826 | 838 | 515 | 547 | 143 | 130 | 98 | 43 | 14 | 9 | 30,34 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 880 | 897 | 880 | 893 | 608 | 633 | 289 | 275 | 98 | 57 | 23 | 10 | 44,67 |
| 883 | 899 | 881 | 894 | 609 | 634 | 290 | 277 | 98 | 58 | 23 | 9 | 44,84 |
| 888 | 904 | 886 | 899 | 610 | 636 | 292 | 279 | 98 | 57 | 23 | 9 | 45,00 |
| 887 | 904 | 886 | 899 | 611 | 637 | 293 | 280 | 98 | 58 | 23 | 9 | 45,17 |
| 888 | 905 | 888 | 901 | 612 | 638 | 295 | 282 | 98 | 58 | 24 | 9 | 45,34 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 939 | 954 | 939 | 951 | 696 | 725 | 427 | 416 | 99 | 65 | 31 | 9 | 59,67 |
| 940 | 956 | 939 | 951 | 697 | 726 | 428 | 417 | 99 | 66 | 31 | 9 | 59,84 |
| 940 | 956 | 938 | 951 | 698 | 727 | 430 | 419 | 99 | 66 | 31 | 9 | 60,00 |
| 940 | 956 | 939 | 951 | 698 | 728 | 431 | 419 | 99 | 66 | 31 | 9 | 60,17 |
| 938 | 954 | 938 | 949 | 699 | 730 | 432 | 421 | 99 | 65 | 31 | 10 | 60,34 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 950 | 965 | 949 | 961 | 734 | 766 | 494 | 485 | 117 | 69 | 35 | 9 | 68,67 |
| 953 | 967 | 951 | 963 | 735 | 767 | 495 | 486 | 118 | 69 | 35 | 9 | 68,84 |
| 954 | 968 | 954 | 965 | 736 | 769 | 496 | 487 | 119 | 69 | 36 | 10 | 69,00 |
| 956 | 971 | 956 | 967 | 737 | 769 | 497 | 488 | 120 | 69 | 35 | 9 | 69,17 |
| 954 | 968 | 954 | 965 | 737 | 770 | 499 | 490 | 121 | 69 | 36 | 9 | 69,34 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 963 | 995 | 966 | 971 | 753 | 783 | 534 | 527 | 160 | 72 | 38 | 9 | 74,67 |
| 966 | 993 | 964 | 972 | 754 | 783 | 535 | 528 | 161 | 72 | 38 | 9 | 74,84 |
| 968 | 994 | 963 | 973 | 754 | 783 | 537 | 529 | 162 | 73 | 38 | 9 | 75,00 |
| 967 | 995 | 964 | 970 | 755 | 784 | 538 | 530 | 164 | 73 | 38 | 9 | 75,17 |
| 968 | 994 | 968 | 971 | 755 | 784 | 539 | 531 | 166 | 73 | 38 | 9 | 75,34 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 999 | 1014 | 987 | 1007 | 782 | 800 | 601 | 595 | 266 | 73 | 38 | 10 | 86,17 |
| 1000 | 1014 | 987 | 1008 | 782 | 800 | 602 | 596 | 268 | 73 | 38 | 9 | 86,34 |
| 1002 | 1014 | 987 | 1007 | 782 | 801 | 603 | 596 | 269 | 73 | 38 | 9 | 86,50 |
| 1003 | 1014 | 987 | 1008 | 782 | 801 | 604 | 598 | 271 | 73 | 38 | 10 | 86,67 |
| 1003 | 1013 | 986 | 1007 | 782 | 801 | 605 | 599 | 273 | 73 | 38 | 9 | 86,84 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1008 | 1018 | 991 | 1012 | 787 | 803 | 616 | 610 | 298 | 74 | 39 | 9 | 89,17 |
| 1008 | 1019 | 991 | 1012 | 787 | 803 | 616 | 611 | 300 | 74 | 39 | 9 | 89,34 |
| 1007 | 1020 | 992 | 1013 | 788 | 804 | 617 | 612 | 301 | 74 | 39 | 10 | 89,50 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|----------|--------------|
| 1008 | 1020 | 992 | 1013 | 787 | 804 | 618 | 612 | 303 | 74 | 39 | 9 | 89,67 |
| 1009 | 1020 | 992 | 1013 | 787 | 804 | 618 | 614 | 305 | 75 | 39 | 9 | 89,84 |
| 1009 | 1019 | 992 | 1011 | 787 | 804 | 619 | 614 | 306 | 75 | 39 | 9 | 90,00 |

Abbildung 64: Auszug aus der Daten_log-Datei mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 5min, 15min, 30min, 45min, 60min, 75min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist (grün)



Abbildung 65: Versuchsaufbau zur Modellierung der zeitlich veränderlichen Temperaturverteilung im Querschnitt

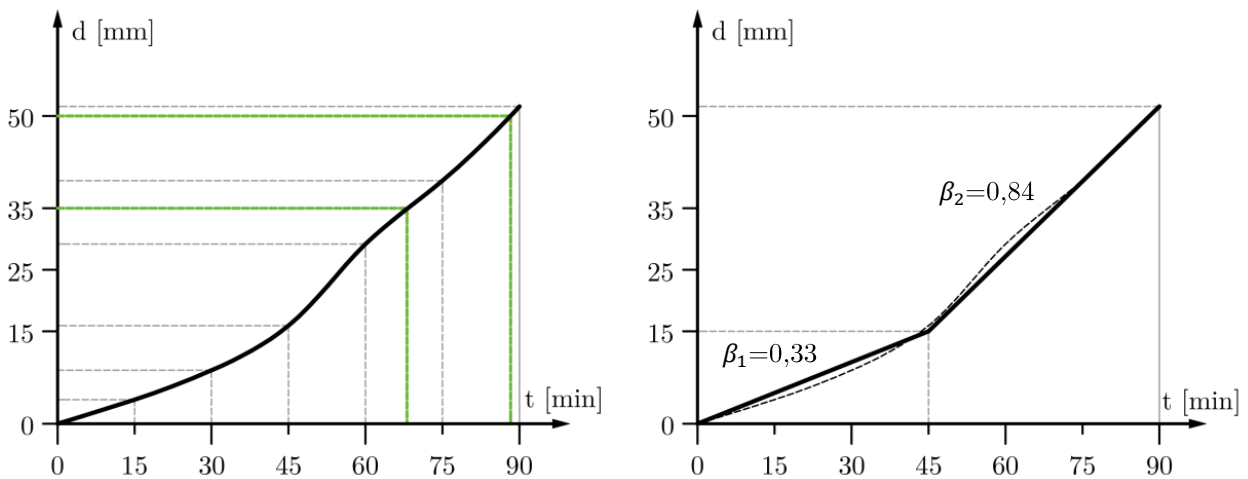


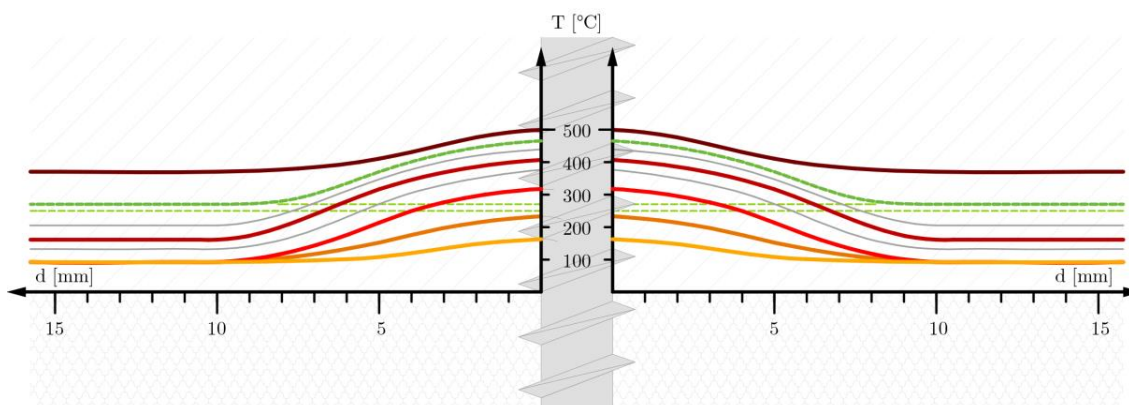
Abbildung 66: Abbrand je Zeiteinheit für eine Holzleichtbetonplatte WSD 50 im Holz-Holzleichtbeton Verbund (links), idealisiertes Modell einer bilinearen Abbrandrate für eine Holzleichtbetonplatte WSD 50 im Holz- Holzleichtbeton Verbund (rechts)

Schließlich lässt sich über die gesammelten Ergebnisse die Abbrandtiefe je Zeiteinheit ermitteln (vergleiche dazu auch die optische Bewertung des brandbedingten Zersetzungsgrades in **Abschnitt 4.2.3, Tabelle 18**). Dabei kann für eine Holzspan-Schallschutzplatte mit einer Stärke von 5cm nach 90 Minuten Brandbeanspruchung eine durchschnittliche eindimensionale Abbrandrate von 0,58mm/min ermittelt werden, die somit etwas geringer ist, als jene von Holz (vergleiche **Abschnitt 2.1.4**). Durch das starke Temperaturgefälle im Querschnitt innerhalb

der ersten Minuten (*siehe Temperaturverteilung nach z.B. 1min, 5min oder 15min in **Abbildung 62***) erfolgt jedoch kein streng lineares Verhältnis zwischen Abbrandtiefe und Zeiteinheit. Der tatsächliche Verlauf ist in **Abbildung 66 links** dargestellt und wurde durch das Modell einer bilinearen Abbrandrate (**Abbildung 66, rechts**) genähert. Der Bilinearitätssknick wurde dabei zum Zeitpunkt $t=45\text{min}$ bei einer Abbrandtiefe von 15mm festgesetzt. Dadurch ergibt sich für die Zeitspanne zwischen $t=0-45\text{min}$ eine eindimensionale Abbrandrate von $0,33\text{mm/min}$ und für die Zeitspanne von $t=45-90\text{min}$ eine eindimensionale Abbrandrate von $0,84\text{mm/min}$

5.4 Temperaturverteilung im Schraubenbereich

Um eine qualitative Aussage über die Temperaturverhältnisse im unmittelbaren Schraubennahbereich treffen zu können, wurden die Versuchsdurchführungen der *Hauptversuchsreihe HV3* (siehe **Abschnitt 5.1.3 - Schraubenverbindungen**) durchgeführt. Dabei erfolgte eine Temperaturmessung an drei unterschiedlichen Stellen jeweils im Abstand von entweder 0mm (also direkt an der Schraube), 5mm und 10mm. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden schließlich zusammengefasst und daraus ein Näherungsmodell (siehe **Abbildung 67**) erstellt. Darin ist zu erkennen, dass der Wirkungsbereich der verwendeten Senkkopfschrauben (6x100mm) innerhalb der Beanspruchungsdauer etwa einem Abstand ab Schaftoberfläche von 10mm entspricht. Die Randzonen dieses Bereichs weisen hingehend gleiche Temperaturverhältnisse auf, wie sie aus der *Vorversuchsreihe 1* bekannt sind (siehe **Abschnitt 5.1.1**).

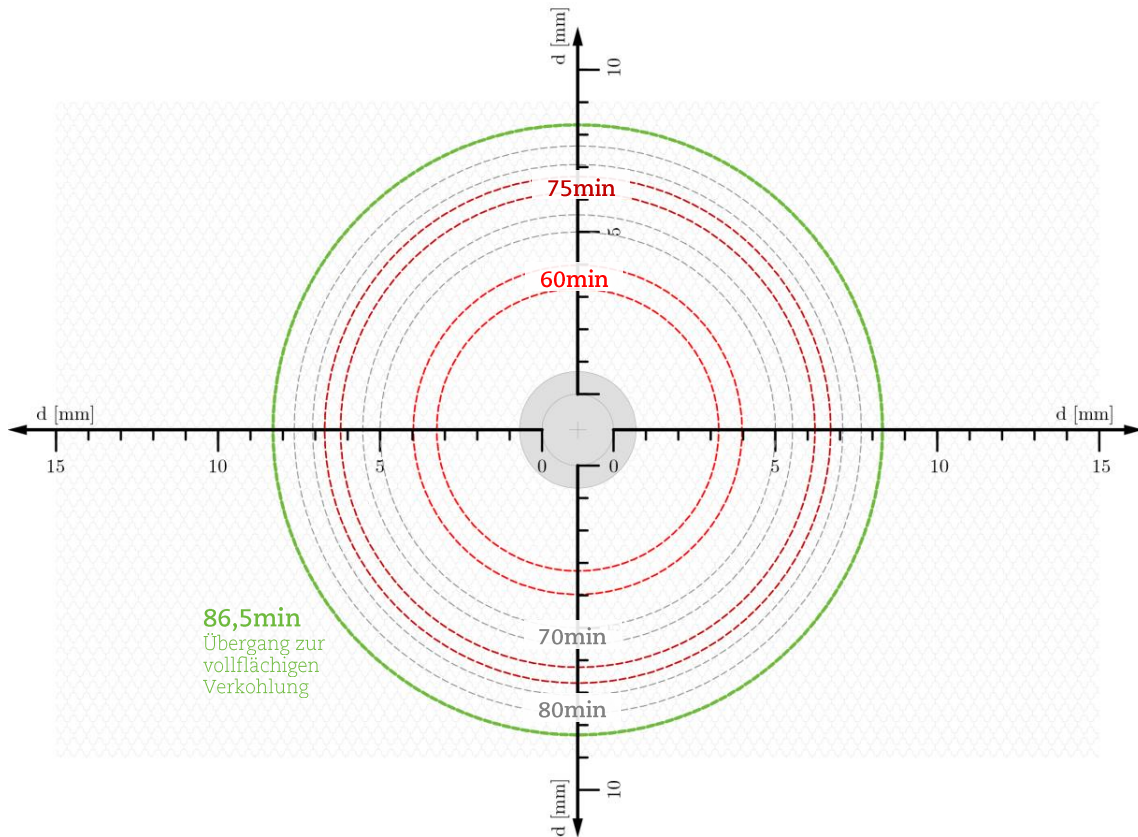


| LEGENDE | |
|---|--|
|  | Temperaturverteilung nach 30min |
|  | Temperaturverteilung nach 45min |
|  | Temperaturverteilung nach 60min |
|  | Temperaturverteilung nach 75min |
|  | Temperaturverteilung nach 86,5min |
|  | Temperaturverteilung nach 90min |
|  | Temperaturverteilung nach 70, 80min |

Abbildung 67: Zeitlicher Verlauf der Temperaturverteilung im Schraubennahbereich eines Holz-Holzleichtbeton Verbundquerschnitts (WSD 50 und BSP)

Als maßgebende Bemessungszeitpunkte wurden die Temperaturverhältnisse in den Abschnitten 30min, 45min, 60min, 70min, 75min, 80min und 90min gewählt. Der Zeitpunkt $t=15\text{min}$ definiert für alle drei Messstellen das Erreichen der Schranke von 100°C (siehe **Abschnitt 4.2.5** und **Abschnitt 5.1.3 - Abbildung 56**). Im Anschluss erfolgt im Zeitraum $t=15\text{-}70\text{min}$ eine kontinuierliche Zunahme der Temperaturdifferenz zwischen Schraubenschaft und Randzone

des Einwirkungsbereiches, bis schließlich nach 70 Minuten die größte thermische Abweichung beider Bereiche (280°C) zu verzeichnen ist. In weiterer Folge nähern sich die pyrolysewirksamen Zonen durch einen raschen Temperaturanstieg stark dem Temperaturniveau an der Schraube an (vergleiche **Abbildung 56** und **Abbildung 67**). Der Zeitpunkt $t=86,5\text{min}$ definiert schließlich den Übergang zur vollflächigen Verkohlung des gesamten Zwischenraums beider Verbundbestandteile.



86,5min
Übergang zur
vollflächigen
Verkohlung





| LEGENDE | |
|---|---|
|  | Verkohlungsbereich nach 60 Minuten Beanspruchung durch einen Vollbrand |
|  | Verkohlungsbereich nach 75 Minuten Beanspruchung durch einen Vollbrand |
|  | Verkohlungsbereich nach 70 bzw. 80 Minuten Beanspruchung durch einen Vollbrand |
|  | Übergang zur vollflächigen Verkohlung nach 86,5 Minuten Vollbrand |

Abbildung 68: Darstellung der durch die erhöhte Wärmeleitfähigkeit bedingten oberflächlichen Verkohlung im unmittelbaren Schraubennahbereich in Abhängigkeit von der Zeit

In *Abbildung 67* ist die dem Näherungsmodell entsprechende Verkohlung im Schraubennahbereich dargestellt. Dabei beginnt eine Überschreitung der relevanten Grenztemperaturen nach etwa 50 Minuten, wobei hier entsprechend der Ausführungen in *Abschnitt 5.1.3* im Rahmen der Versuchsdurchführungen die Bildung von Holzkohle tatsächlich erst ab etwa 60 Minuten beobachtet werden konnte. Somit stellt die Modellierung der Temperaturverteilung im Schraubenbereich für die im Rahmen der Versuchsdurchführungen dieser Arbeit getroffenen Rahmenbedingungen eine Näherung mit großen Sicherheiten dar.

5.5 Näherungsrechnung nach ÖNORM EN 1995-1-2

5.5.1 Allgemeines

Im Eurocode 5 werden keine konkreten Anführungen über das Temperaturverhalten von Holzspan-Schallschutzplatten (Produktbezeichnung der Firma Velox) oder vergleichbaren Werkstoffen gemacht. Die in dieser Arbeit durchgeführte Näherungsrechnung basiert somit auf dem vereinfachten Berechnungsmodell für raumschließende Wand- und Deckenkonstruktionen aus dem informativen Anhang E der *ÖNORM EN 1995-1-2* [36].

An der *ETH Zürich* wurde das Berechnungsmodell der *ÖNORM EN 1995-1-2* [36] unter der Leitung von *Professor Andrea Frangi* durch umfassende numerische und experimentelle Untersuchungen optimiert und unter dem Namen *Bemessung von brandabschnittsbildenden Bauteilen in brennbarer Bauweise* [05] zusammengefasst. Mit dem Berechnungsmodell können massive bzw. beliebig aufgebaute zusammengesetzte Holzbauteile nachgewiesen werden. Die entsprechende Publikation dient ebenso als Grundlage für die überschlagsmäßige Berechnung der Abbranddauer von Holzspan-Schallschutzplatten. Da im Zuge der Forschungsarbeiten an der *ETH Zürich* keine zementgebundenen Holzspanplattenerzeugnisse untersucht wurden, werden die entsprechenden fehlenden Tabellenwerte durch die Ergebnisse aus den experimentellen Versuchsdurchführungen dieser Diplomarbeit ergänzt.

5.5.2 Grundlagen

Grundvoraussetzung für die Feuerschutzwirkung einer Bekleidung ist deren Befestigungsmöglichkeit im unverbrannten Holz auf der unbeflammten Seite der Konstruktion zu jedem Zeitpunkt innerhalb des Brandbeanspruchungszeitfensters.

Die Anforderungen bezüglich des Raumabschlusses (Kriterium E, *siehe Abschnitt 2.4.4.2 - Klassifizierung für Bauteile*) werden als erfüllt betrachtet, wenn die Anforderungen bezüglich der Wärmedämmung (Kriterium I, *siehe Abschnitt 2.4.4.2 - Klassifizierung für Bauteile*) erfüllt sind und sichergestellt ist, dass sich die Bekleidung an der feuerabgewandten Seite nicht ablöst. Dabei wird vorausgesetzt, dass kein Versagen der Rauchdichtheit durch Risse, Löcher oder andere Öffnungen gegeben ist oder die Möglichkeit eines Flammendurchschlages ermöglicht wird (Kriterium E).

Für raumabschließende Bauteile ist nachzuweisen, dass die Zeit bis zum Erreichen der für das Kapselkriterium maßgebenden Temperaturerhöhung (250°C im Mittel und 270°C im Maximum) auf der feuerabgewandten Seite größer ist, als die erforderliche Feuerwiderstandsdauer für die raumabschließende Funktion der Konstruktion.

$$t_{ins} \geq t_{req} \quad (16)$$

| | |
|-----------|---|
| t_{ins} | Zeit bis zum Erreichen der maximal zulässigen Temperaturerhöhung auf der feuerabgewandten Seite [min] |
| t_{req} | erforderliche Feuerwiderstandsdauer für die raumabschließende Funktion der Konstruktion [min] |

Das vereinfachte Verfahren der ÖNORM EN 1995-1-2 [36] basiert auf der additiven Methode, was bedeutet, dass die Zeit bis zum Verlust des Raumabschlusses des gesamten Bauteils durch Addition der Beiträge der einzelnen Schichten ermittelt wird. Dadurch darf der Wert von t_{ins} als Summe der Einzelwerte der in der Konstruktion verwendeten Lagen berechnet werden. Somit gilt:

$$t_{ins} = \sum t_{ins,0,n} \cdot k_{pos} \cdot k_j \quad (17)$$

| | |
|---------------|---|
| $t_{ins,0,n}$ | Grundwert der Wärmedämmung der Lage „n“ [min] |
| k_{pos} | Positionsbeiwert [-] |
| k_j | Fugenbeiwert [-] |

Da sich jedoch die einzelnen Schichten gegenseitig beeinflussen, hängt der Beitrag zum Feuerwiderstand der jeweiligen Schicht nicht nur von der Schichtdicke und dem Material, sondern auch von der Position der Schicht innerhalb des Bauteils ab. Dabei wird im abgeleiteten Berechnungsverfahren [05] allgemein zwischen der Schutzzeit einer schützenden Schicht (protection time $t_{prot,i}$) und der Isolationszeit der letzten maßgebenden Schicht (insulation time $t_{ins,n}$) unterschieden.

Dadurch ergibt sich folgende Abwandlung zur oben angeführten Formel (17)

$$t_{ins} = \sum_{i=1}^{n-1} t_{prot,i} + t_{ins,n} \quad (18)$$

Dabei lassen sich die Schutzzeit $t_{prot,i}$ und die Isolationszeit $t_{ins,n}$ ebenfalls durch die Produkte aus den jeweiligen Grundwerten und den entsprechende Positions- und Fugenbeiwerte ausdrücken:

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i} \quad (19)$$

$$t_{ins,n} = (t_{ins,0,n} \cdot k_{pos,exp,n} + \Delta t_n) \cdot k_{j,n} \quad (20)$$

| | |
|--------------------------|--|
| $t_{prot,0,i}$ | Grundschutzzeit der untersuchten „schützenden„ Schicht [min] |
| $t_{ins,0,n}$ | Grundisolationszeit der letzten „isolierenden“ Schicht [min] |
| $\Delta t_i, \Delta t_n$ | Zeitkorrektur für Schichten die durch Gipsplatten Typ F (verbessertes Gefügebündel des Kerns bei hohen Temperaturen) oder Gipsfaserplatten geschützt werden [min] ... für Bemessung nicht relevant! |
| $k_{pos,exp}$ | Positionsbeiwert resultierend aus den davorliegenden Schichten [-] |
| $k_{pos,unexp}$ | Positionsbeiwert resultierend aus der dahinterliegenden Schicht [-] |
| $k_{j,i}, k_{j,n}$ | Fugenbeiwerte für Schutzzeit $t_{prot,i}$ und Isolationszeit $t_{ins,n}$ [-] $\triangleq k_j$ Formel (17) |

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass das Brandverhalten von Plattenwerkstoffen, also die Dauer bis zum Erreichen der Schutzzeit $t_{prot,i}$ und der Isolationszeit $t_{ins,n}$ im Wesentlichen von der Schichtdicke und den Eigenschaften des untersuchten Materials abhängen. Daher wurden für gängige Plattenwerkstoffe entsprechende Formelwerte für die beiden Rechengrößen hergeleitet und tabellarisch erfasst. Dabei ist die h_i (bzw. h_n) als Schichtstärke und β_0 als Abbrandrate für den jeweiligen Werkstoff zu verstehen.

| Material | Grundschutzzeit $t_{prot,0,i}$ [min] | Grundisolationszeit $t_{ins,0,n}$ [min] |
|--|---|--|
| Gipsplatte, Gipsfaserplatte | $30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2}$ | $24 \cdot \left(\frac{h_n}{15}\right)^{1,4}$ |
| Massivholzplatte, Massivholzschalung | $30 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$ | $19 \cdot \left(\frac{h_n}{20}\right)^{1,4}$ |
| Spanplatte, Faserplatte | $33 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$ | $22 \cdot \left(\frac{h_n}{20}\right)^{1,4}$ |
| OSB-Platte, Furniersperrholz, Furnierschichtholz | $23 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$ | $16 \cdot \left(\frac{h_n}{20}\right)^{1,4}$ |

Tabelle 22: Auszug aus der Publikation „Bemessung von brandabschnittsbildenden Bauteilen in brennbarer Bauweise“, ETH Zürich, Grundschutzzeit und Isolationszeit für gängige Plattenwerkstoffe [05]

Weitere maßgebende Rechenwerte sind der *Positionsbeiwert* und der *Fugenbeiwert*. In den *Positionsbeiwert* k_{pos} fließt die Wirkung angrenzender Bauteilschichten auf die untersuchte Schicht ein. Dabei wird zwischen dem Einfluss von davor liegenden Schichten ($k_{pos,exp}$... exposed

to fire) und dem Einfluss von dahinter liegenden Schichten ($k_{\text{pos,unexp}}$... unexposed to fire) unterschieden. Sofern keine Dämmung hinter der betreffenden Bauteilschicht liegt, ist für den Beiwert $k_{\text{pos,unexp}}=1,0$ anzunehmen.

Für $k_{\text{pos,exp}}$ gilt:

$$1 - 0,6 \frac{\sum t_{\text{prot},n-1}}{t_{\text{ins},0,n}} \quad \text{für} \quad \sum t_{\text{prot},n-1} \leq \frac{t_{\text{ins},0,n}}{2} \quad (21)$$

$$0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{ins},0,n}}{\sum t_{\text{prot},n-1}}} \quad \text{für} \quad \sum t_{\text{prot},n-1} > \frac{t_{\text{ins},0,n}}{2} \quad (22)$$

Der *Fugenbeiwert* k_j ist in der ÖNORM EN 1995-1-2 [36] definiert und berücksichtigt vorhandene Fugen hinsichtlich der Art ihrer Ausbildungen. Für Schichten ohne Fugen, hinterlegte oder verspachtelte Schichten kann $k_j = 1,0$ angenommen werden. Aus Versuchen der ETH Zürich geht hervor, dass hinterlegte Fugen zwischen Plattenstößen mit einer Breite von weniger als 2mm keinen nennenswerten Einfluss auf die Temperaturentwicklung haben. Im Berechnungsmodell werden vereinfacht lediglich die Fugen der letzten Schicht berücksichtigt.

5.5.3 Näherung für Grundschutzzeit und Grundisolationszeit

Da es noch keine dokumentierten Ergebnisse zu Beplankungen mittels zementgebundener Holzspanplatten gibt, fehlen auch in den Ausführungen der ETH Zürich die entsprechenden Tabellenwerte zur Grundschutzzeit und Grundisolationszeit. Diese sollen durch Rückschlüsse aus den im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführten Versuchen durch einfaches Rückrechnen näherungsweise ermittelt werden. Unter der Annahme, dass der Abbrand eines Querschnitts mit dem Eintritt der Verkohlung bei 270°C in der betreffenden Ebene definiert ist, wurde unter **Abschnitt 5.3** für Holzspan-Schallschutzplatten mit einer Stärke von 5cm und einer Dichte von 750kg/m³ ein genähertes Modell mit einer bilinearen Abbrandrate erstellt. Dabei wurde auch festgestellt, dass die Temperaturverhältnisse in 3,5cm Tiefe mit den in **Abschnitt 4.2.4.2** angeführten Ergebnissen der *Vorversuchsreihe 3* übereinstimmen. Somit kann die bilineare Festlegung auch als plausible Näherung für Holzspan-Schallschutzplatten mit einer Stärke von 3,5cm heran gezogen werden

Dabei gelten folgende Abbrandgeschwindigkeiten:

- 0 bis 45min: $\beta_0 = 0,33\text{mm}/\text{min}$
- 45 bis 90min: $\beta_0 = 0,84\text{mm}/\text{min}$

Entsprechend der in **Tabelle 20** dokumentierten Schutzzeit ergibt sich für den Grundkörper eines idealisierten fugenlosen Verbundes zwischen der Holzleichtbetonplatte und dem zu schützenden Brettsper Holz ein ungefährender Versagenszeitraum der Platte von 69 Minuten. Danach ist ein Schutz entsprechend der Vorgaben des Kapselkriteriums nicht mehr gegeben. Beim einlagigen Verbund kann der Versagenszeitpunkt als *Grundsutzzeit* $t_{prot,0,i}$ (270°) angenommen werden. Entsprechend **Tabelle 22** ergibt sich folgende Gleichung:

$$x \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} = \frac{h_i}{\beta_0} \quad (23)$$

Dabei ist x die gesuchte Variable, h_i die Plattenstärke (3,5cm) und h_i/β_0 die aus den experimentellen Versuchsdurchführungen hervorgehende Zeitspanne zwischen Brandbeginn und Versagenszeitpunkt (69min). Durch eine analoge Vorgehensweise erfolgt die Ermittlung der Formel für die Grundisolationszeit $t_{ins,0,n}$ (160°):

$$x \cdot \left(\frac{h_n}{20}\right)^{1,4} = t_{160^\circ} \quad (24)$$

Bei einem mehrlagigen Aufbau setzt die ÖNORM EN-1995-1-2 [36] voraus, dass das Erreichen der Isolationszeit (160°C) der letzten nicht mehr hinterlegten Schicht zum Verlust der raumabschließenden Wirkung der Konstruktion führt. Die Isolationszeit der untersten Schicht beginnt allerdings erst mit dem Erreichen der Schutzzeit (270°C) auf der brandabgewandten Seite der darüber liegenden Schicht.

Die Temperatur t_{160° bezeichnet also die aus den experimentellen Versuchsdurchführungen hervorgehende Zeitspanne zwischen Brandbeginn und dem Erreichen von 160°C in der betreffenden Fuge. Aus den Messergebnissen der *Vorversuchsreihe VV3-a* (siehe **Anhang 32**) lässt sich ein Wert von rund 59 Minuten herauslesen. Somit ergeben sich zur allgemeinen Bemessung von Grundsutzzeit und Grundisolationszeit für Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35 folgende beiden Formeln:

| Material | Grundsutzzeit $t_{prot,0,i}$ [min] | Grundisolationszeit $t_{ins,0,n}$ [min] |
|--|---|--|
| Holzspan-Schallschutzplatte WSD Firma Velox | $37 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$ | $27 \cdot \left(\frac{h_n}{20}\right)^{1,4}$ |

Tabelle 23: Hergeleitete Formeln zur Ermittlung der Grundsutzzeit und der Isolationszeit für Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35 der Firma Velox

Damit ist die Grundschutzzeit und die Grundisolationszeit etwas höher, als die in **Tabelle 22** angeführten Zeiten für gängige Plattenwerkstoffe. Die besseren Werte im Vergleich zu Gipsfaserplatten hat sich bereits bei der Gegenüberstellung in **Abschnitt 4.2.5** abgezeichnet.

5.5.4 Rechenbeispiel

Die im vorherigen Abschnitt durch Rückrechnen hergeleiteten Formeln werden nun heran gezogen, um den Feuerwiderstand einer zweilagigen Brandschutzbekleidung mittels Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35 näherungsweise zu ermitteln. Das entspricht dem in Hauptversuchsreihe *HV2-90d - 2x WSD 35* lose durchgeführten Versuchsaufbau (vgl. **Anhang, Abschnitt 7.5.2.4**). Im experimentellen Teil wurden die durchgeführten Versuche im Regelfall spätestens nach dem Erreichen der für die Gebäudeklasse 5, sowie für brandabschnittsbildende Wände erforderlichen 90 Minuten (REI 90) abgebrochen. Für den doppelt beplankten Fall konnte in diesem Zeitraum lediglich ermittelt werden, dass sich die Oberflächentemperatur des Holzes nach 90 Minuten immer noch im Bereich des Temperaturplateaus zwischen 95 und 100°C (siehe Ausführungen unter **Abschnitt 4.2.5**) befand und das Austreiben der in der Konstruktion enthaltenen Feuchtigkeit offensichtlich immer noch nicht abgeschlossen war. Somit befand sich die Temperatur nach 90 Minuten unter den für das Kapselkriterium festgelegten Grenzwerten $\Delta t_{\text{Mittel}}=250^{\circ}\text{C}$ und $\Delta t_{\text{Max}}=270^{\circ}\text{C}$. Die rechnerische Isolationszeit soll nun als Vergleich ermittelt werden.

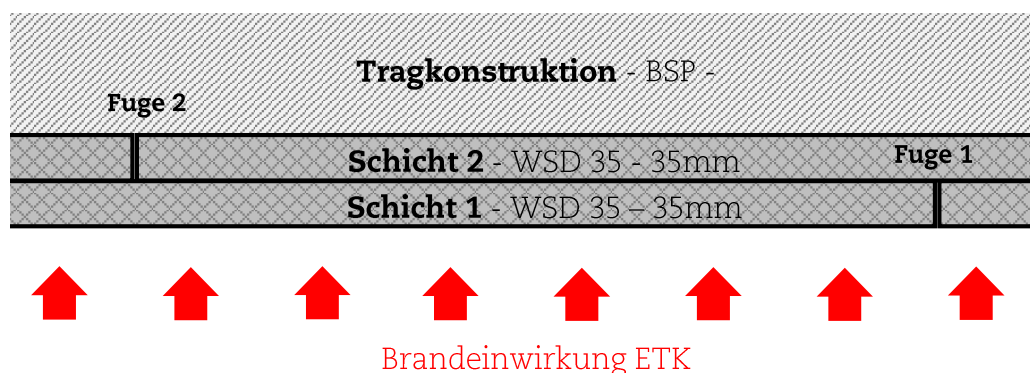


Abbildung 69: Brandschutzbekleidung mittels Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35, zweilagig

Abbranddauer einer Holzspan-Schallschutzplatte WSD 35 nach dem idealisierten Modell einer bilinearen Abbrandrate (vgl. **Abbildung 66**):

$$\frac{h_1}{\beta_1} + \frac{h_{ges}-h_1}{\beta_2} = \frac{15}{0,33} + \frac{35-15}{0,84} = \mathbf{68,81min} \quad (\sim 69min) \quad (25)$$

Grundschutzzeit $t_{\text{prot},0,i}$ (270°C) je Platte:

$$37 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} = 37 \cdot \left(\frac{35}{20}\right)^{1,1} = \mathbf{68,48min} < 68,81min \quad (26)$$

Grundisoliationszeit $t_{\text{ins},0,n}$ (160°C) je Platte:

$$27 \cdot \left(\frac{h_n}{20}\right)^{1,4} = 27 \cdot \left(\frac{35}{20}\right)^{1,4} = \mathbf{59,10min} < 68,81min \quad (27)$$

Beiwerte für Holzspanchallschutzplatte WSD 35, Schicht 1:

| | | | |
|---------------------------|---|-----|---|
| $k_{\text{pos,exp},01}$ | = | 1,0 | da sich keine Schicht vor Schicht 1 befindet |
| $k_{\text{pos,unexp},01}$ | = | 1,0 | da keine Dämmung hinter Schicht 1 vorhanden ist |
| $k_{j,01}$ | = | 1,0 | da Fuge 1 mit einer weiteren Ebene hinterlegt ist |

Schutzwert für Holzspanchallschutzplatte WSD 35, Schicht 1:

$$t_{\text{prot,WSD35-01}} = t_{\text{prot},0,01} \cdot k_{\text{pos,exp},01} \cdot k_{\text{pos,unexp},01} \cdot k_{j,01} \quad (28)$$

$$t_{\text{prot,WSD35-01}} = 68,48 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{68,48min}$$

Beiwerte für Holzspanchallschutzplatte WSD 35, Schicht 2:

| | | | |
|---------------------------|---|-----|--|
| $k_{\text{pos,exp},02}$ | = | 0,5 | Schicht 1 befindet sich vor Schicht 2 – siehe Formel s (29) |
| $k_{\text{pos,unexp},02}$ | = | 1,0 | da keine Dämmung hinter Schicht 2 vorhanden |
| $k_{j,02}$ | = | 1,0 | da Fuge 2 nicht mit einem Hohlraum oder einer Dämmung hinterlegt ist, die Fuge wird vernachlässigt, da durch das dahinter befindliche Holz eine Konvektion unterbunden werden kann |

$$k_{pos,exp,02} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,02}}{t_{prot,0,01}}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{68,48}{68,48}} = 0,5 \quad (29)$$

Schutzwert für Holzspannschallschutzplatte WSD 35, Schicht 2:

$$t_{prot,WSD35-02} = t_{prot,0,02} \cdot k_{pos,exp,02} \cdot k_{pos,unexp,02} \cdot k_{j,02} \quad (30)$$

$$t_{prot,WSD35-02} = 59,10 \cdot 0,50 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 29,55min$$

Dadurch kann das Kapselkriterium rechnerisch für eine geforderte Widerstandsdauer von **90 Minuten (<98,03 Minuten)** erfüllt werden

$$\sum t_{prot,i} = t_{prot,0,01} + t_{prot,0,02} = 68,48min + 29,55min = 98,03min \quad (31)$$

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Diplomarbeit wurde das Brandverhalten einer Holz-Holzleichtbeton Verbundkonstruktion anhand von 25 Einzelversuchen experimentell untersucht und einer groben Näherungsrechnung nach *ÖNORM EN 1995-1-2* [36] unterzogen. Das wesentliche Ziel bestand darin, Holzspan-Schallschutzplatten der Firma Velox auf ihre Einsatztauglichkeit als Beplankungsmaterial zur Erfüllung des Kapselkriteriums zu überprüfen. Das Kapselkriterium ist dadurch definiert, dass die kritischen Temperaturen nach der *ÖNORM EN 13501-2* [34] über einen vorgegebenen Zeitraum nicht erreicht werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die durchschnittliche Temperaturerhöhung in der betrachteten Fläche im Vergleich zur Ausgangstemperatur nicht um 250°C überschritten wird, wobei der maximale Messwert sich nicht um 270°C erhöhen darf. Allgemein gilt es eine Verkohlung der Bauteiloberfläche zu verhindern. Im Zuge dieser Arbeit konnte nachgewiesen werden, dass die strukturellen Veränderungen im Holz, die zur Bildung von oberflächennaher Holzkohle führen unter Raumklima tatsächlich im Temperaturerhöhungsbereich zwischen etwa 250°C und 270°C stattfinden. Um eine bedeutend frühere chemische Umwandlung der inneren Struktur zu ermöglichen, müsste die Umgebungstemperatur nach theoretischen Gesichtspunkten für einen Zeitraum von mehreren Stunden über 120°C betragen, was jedoch keinen gewöhnlichen klimatischen Ausgangsbedingungen entsprechen würde (vgl. *Abbildung 1*).

Im Zuge der Brandversuche wurde die Temperaturentwicklung in der Übergangsebene zwischen Holzleichtbetonplatte und Holzoberfläche und im Ofen unter einer gesteuerten Befeuerung entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve mittels Thermolementen überwacht. Die Ergebnisse wurden ausgewertet, in einem Temperaturzeitverlaufdiagramm dokumentiert und anschließend miteinander verglichen.

In der Planungsphase wurden entsprechende Versuchsparameter zu einer möglichst guten Simulation eines Realbrandszenarios im Rahmen der Möglichkeitsgrenzen eines Kleinbrandversuchs festgelegt. Die anschließende Vorversuchsphase bestand aus insgesamt acht Einzelversuchen und brachte die Erkenntnis, dass ein unerwünschter nicht kontrollierbarer seitlicher Wärmeeintrag nur durch die Anbringung einer zusätzlichen Dämmung verlässlich unterbunden werden kann. Der entsprechende Probekörperaufbautypus wurde anschließend für alle weiteren Versuche heran gezogen. Es wurde außerdem in analoger Weise die Temperaturentwicklung in der Ebene zwischen dem Referenzwerkstoff Gipsfaserplatten (2x1,5cm) und Brettsperholz ermittelt und mit bereits bekannten Messungen aus Untersuchungen des *Fraunhofer Instituts für Holzforschung* verglichen. Da beide Ergebnisse praktisch identisch waren, konnte allgemein von einer ordentlichen Versuchsdurchführung im Rahmen dieser Arbeit ausgegangen werden. Beim direkten Vergleich zwischen den produktbedingt nicht gleich starken Holzleichtbetonplatten

und Gipsfaserplatten konnte festgestellt werden, dass der Kompositwerkstoff Holzleichtbeton bei etwa 17% größeren Dickenabmessungen eine um 36% längere Widerstandsdauer entsprechend dem Kapselkriterium aufweisen.

Ein weiterer Vergleich erfolgte zwischen Holzspan-Schallschutzplatten (Dichte: 750kg/m³) und Holzspan-Dämmplatten (Dichte: 560kg/m³) hinsichtlich des Abbrandverhaltens. Beides sind Produkte der Firma Velox mit gleichen Materialkomponenten, jedoch unterschiedlichen gewichteten Anteilen. Der Hersteller gibt für beide Werkstoffe die Brennbarkeitsklasse A2 an, es konnte allerdings festgestellt werden, dass die für den experimentellen Teil dieser Arbeit zum Einsatz kommenden Schallschutzplatten eine etwas geringere Abbrandgeschwindigkeit aufweisen, das innere Materialgefüge über einen wesentlich längeren Zeitraum (>135 Minuten) stabil bleibt und sich auch hinsichtlich des Volumens kaum verändert. Dämmplatten hingegen verlieren aufgrund des vergleichsweise hohen Verkohlungsgrades nach weniger als 60 Minuten ihre Tragfähigkeit und fallen in sich zusammen.

Im Zuge der Hauptversuchsphase wurden 17 Einzelversuche durchgeführt, die folgenden vier Versuchstypen zugeordnet wurden:

- VV1 - Idealisierter fugenloser einlagiger Verbund
- VV2 - Plattenstöße einlagig und zweilagig
- VV3 - Schrauben
- VV4 - Klebeverbindungen

Metallische Verbindungsmittel stellen aufgrund der erhöhten Leitfähigkeit und dem schnelleren Wärmeeintrag ins Innere der Konstruktion ein Problem dar. Um eine qualitative Aussage über die Temperaturverteilung und den Einflussbereich einer Schraube treffen zu können, erfolgte eine Messung in unterschiedlichen Abständen zur Schraubenachse. Anhand der Messergebnisse wurde der qualitative Temperaturzustand in unterschiedlichen Zeitstufen modelliert.

Auch Plattenstöße sind bekannte Schwachstellen, die allerdings durch die in der Praxis übliche zweilagige Ausführung gut kompensiert werden können, da der negative Einfluss einer thermisch beanspruchten Fuge durch Hinterlegung praktisch vollständig kompensiert wird. Ein zweilagiger Aufbau bestehend aus je einer geschraubten und einer geklebten WSD 35 Platte wurde untersucht. Dabei konnte das Kapselkriterium nach 90 Minuten erfüllt werden. In der praxisnahen Durchführung scheint der getroffene Aufbau noch deutliche Reserven zu haben. Nach der Näherungsrechnung geht sich der Aufbau jedoch für die Vorgabe eines 90 minütigen Widerstandes knapp nicht aus.

Um eine Grundlage zur Optimierung von Holzspan-Schallschutzplatten für den Brandschutz zu schaffen, wurden neben reinen Messungen in der Bauteilfuge auch geschichtete Messungen

in unterschiedlichen Tiefen durchgeführt. Dadurch konnte ein zeitlicher Verlauf der Temperaturverteilung eines Holz-Holzleichtbeton Verbundquerschnittes modelliert werden.

6.2 Schlussfolgerung und Ausblick

Zementgebundene Holzspanplatten mit einer Dichte von 750kg/m^3 scheinen durchaus Potenzial als Beplankungsalternative zu den in der Praxis wesentlich gebräuchlicheren Gipskarton- und Gipsfaserplatten zu haben. Sie weisen im direkten Vergleich sogar die höhere Brandwiderstandsdauer auf, haben aber den Nachteil, dass sie erst ab Stärken von 3cm hergestellt werden. Aufgrund der Notwendigkeit von zwei Lagen zur Unterbindung der durch Plattenstöße hervorgerufenen Fugenproblematik resultiert eine minimale Gesamtschichtdicke von 6cm. Diese wäre für das Erreichen des Kapselkriteriums K_{290} (90 Minuten) auch erforderlich, da die gezeigten Versuchsergebnisse auf eine notwendige Schichtstärke von rund 5,2cm schließen lassen. Ist für ein Bauteil lediglich das Kapselkriteriums K_{260} (60 Minuten) zu erreichen, wäre eine Holzspan-Schallschutzplatte WSD 30 (Stärke 3cm) im idealisierten fugenlosen Verbund ausreichend. Die notwendige Zweifachbeplankung wäre also stark überdimensioniert und somit unwirtschaftlich.

Aufbauend auf den Ausführungen dieser Arbeit sind im Anschluss weitere kleinformartige Versuchsdurchführungen vorgesehen. Diese sollen in erster Linie Aufschlüsse über den Beitrag zur Erhöhung der Brandwiderstandsdauer durch zusätzliche Putzschichten geben. Ein weiterer Vertiefungsschwerpunkt soll sich der Ausbildung alternativer Stoßverbindungen widmen. Dabei wird versucht, die direkte Temperaturentwicklung entlang einer ansonsten geradlinigen Fuge durch einen zusätzlichen Versatz zu verzögern. Schlussendlich werden im Rahmen des Forschungsprojekts *WooCon* großformatige Realbrandversuche an Wandkonstruktionen aus Massivholz durchgeführt, die durch einen vorgegebenen Aufbau durch Holzspan-Schallschutzplatten zu kapseln sind.

Holzbauteile zu kapseln ist wegen der Anforderung der luftdichten Ausführung meist eine große Herausforderung. Es muss im Allgemeinen eine Winddichtbahn unter der Kapselung verbaut werden, was künftig ebenso als Adaptierung in die folgenden kleinformartigen Versuche einfließen soll. Problematisch ist die Herstellung der vollständigen Winddichtheit aber in erster Linie bei realen Konstruktionen, da dort meist bautechnisch äußerst schwierige Konstruktionen notwendig sind. Speziell die vollkommene Abdichtung bei Tür- und Fensteranschlüssen ist als besonders kritisch anzusehen.

7 Anhang

7.1 Versuchsprotokoll

| Nr. | Datum | Tag | Bezeichnung | Dauer | Feuchtigk. Holz | Feuchtigk. Holz-leichtb. | Umgeb. tempera-tur |
|-----|------------|--------|--------------|--------|-----------------|--------------------------|--------------------|
| 1 | 14.10.2014 | Tag 0 | VV3-a feucht | 90 min | 16,9 % * | 12,44 % * | 12 |
| 2 | 14.10.2014 | Tag 0 | VV3-b feucht | 90 min | 16,9 % * | 11,89 % * | 16 |
| 3 | 16.10.2014 | Tag 2 | RV-a | 90 min | 16,8 % ** | | 10 |
| 4 | 16.10.2014 | Tag 2 | RV-b | 90 min | 16,8 % ** | | 11 |
| | 21.10.2014 | Tag 7 | | | 16,4 % * | 10,63 % * | |
| 5 | 29.10.2014 | Tag 15 | VV2-a | 90 min | 16,0 % * | 9,88 % * | 10 |
| 6 | 29.10.2014 | Tag 15 | VV2-b | 90 min | 16,0 % * | 9,49 % * | 13 |
| 7 | 30.10.2014 | Tag 16 | VV1-a | 60 min | 16,0 % ** | 9,10 % * | 10 |
| 8 | 30.10.2014 | Tag 16 | VV1-b | 90 min | 16,0 % ** | 9,10 % * | 11 |
| 9 | 31.10.2014 | Tag 17 | VV3-a | 90 min | 15,9 % ** | 9,33 % * | 13 |
| 10 | 31.10.2014 | Tag 17 | VV3-b | 90 min | 15,9 % ** | 9,64 % * | 14 |
| 11 | 10.11.2014 | Tag 27 | HV3-60a | 60 min | 15,5 % * | 8,89 % * | 11 |
| 12 | 10.11.2014 | Tag 27 | HV1-60a | 60 min | 15,5 % ** | 8,89 % * | 10 |
| 13 | 11.11.2014 | Tag 28 | HV1-60b | 90 min | 15,5 % ** | 8,89 % ** | 10 |
| 14 | 12.11.2014 | Tag 29 | HV2-90a | 90 min | 15,5 % ** | 8,83 % ** | 14 |
| 15 | 13.11.2014 | Tag 30 | HV2-90b | 90 min | 15,4 % ** | 8,81 % ** | 13 |

| | | | | | | | |
|----|---------------|--------|------------------|--------|-----------|-----------|----|
| 16 | 13.11.2014 | Tag 30 | HV2-90c | 90 min | 15,4 % ** | 8,81 % ** | 11 |
| 17 | 14.11.2014 | Tag 31 | HV2-90d | 90 min | 15,3 % ** | 8,78 % * | 12 |
| 18 | 18.11.2014 | Tag 35 | HV4-90a | 90 min | 15,1 % * | 8,65 % ** | 11 |
| 19 | 18.11.2014 | Tag 35 | HV4-90b | 90 min | 15,1 % * | 8,65 % ** | 12 |
| 20 | 10.12.2014 | Tag 57 | HV3-90a | 90 min | 14,8 % * | 8,35 % * | 9 |
| 21 | 10.12.2014 | Tag 57 | HV3-90b | 90 min | 14,8 % * | 8,62 % * | 10 |
| 22 | 11.12.2014 | Tag 58 | HV1-90a | 90 min | 14,8 % ** | 8,34 % * | 6 |
| 23 | 11.12.2014 | Tag 58 | HV1-90b | 90 min | 14,8 % ** | 8,75 % * | 9 |
| 24 | 12.12.2014*** | Tag 59 | HV1-90 feucht | 90 min | 16,9 % * | 11,60 % * | 8 |
| 25 | 12.12.2014 | Tag 59 | HV3-90c | 90 min | 14,7 % ** | 8,39 % * | 11 |

* Durch Messung bestimmte Messwerte

** Durch Interpolation bestimmte Messwerte

*** Konditionierung des Probekörpers entspricht dem ursprünglichen Zustand (Tag 0)

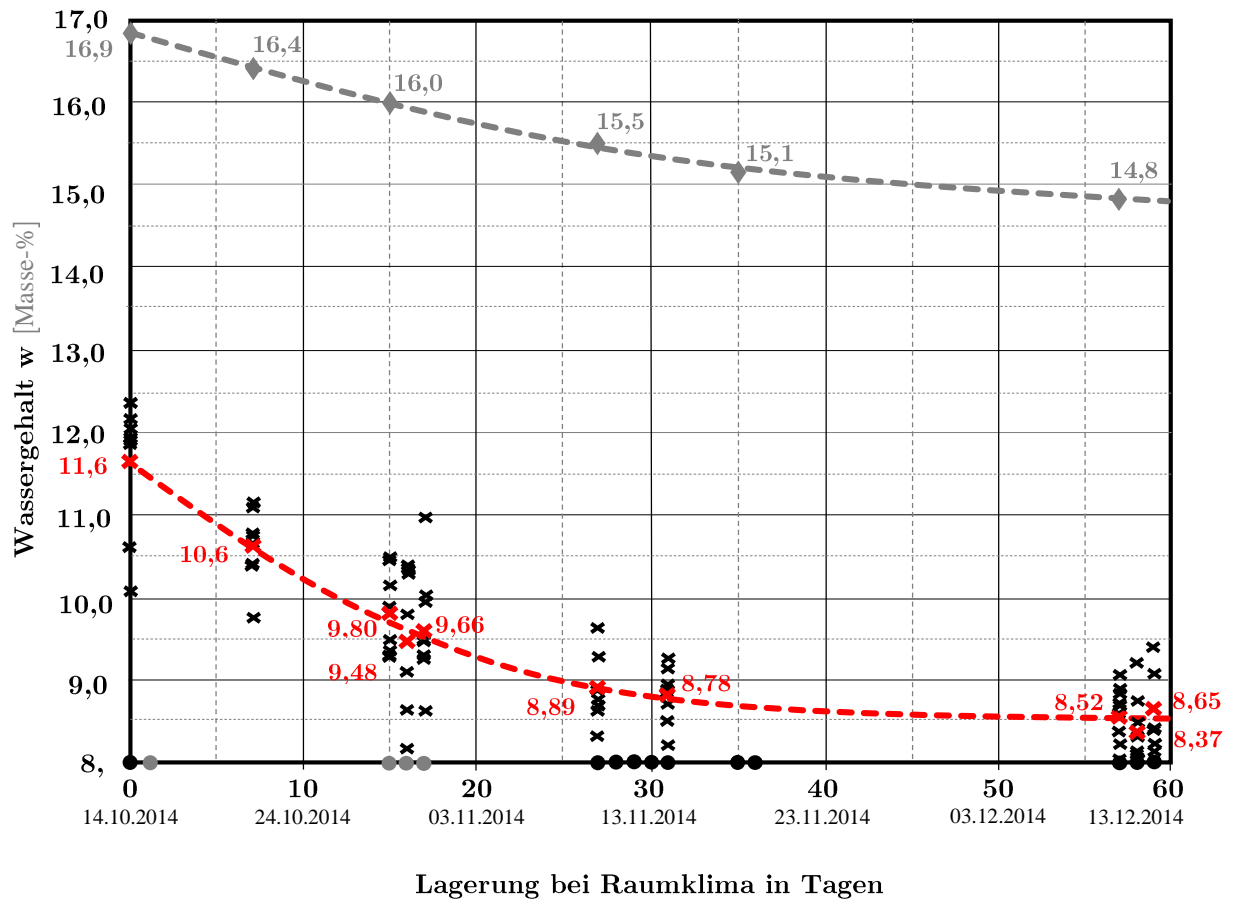
Temp. rot Abweichung der Anfangstemperaturen zur Vorgabe nach ÖNORM EN 1363-1 (+10°C bis +40°C)

Anhang 1: Abweichung der Anfangstemperaturen zur Vorgabe nach ÖNORM EN 1363-1 (+10°C bis +40°C)

7.2 Bestimmung des Feuchtegehalts der Probekörper

Legende

- ... Versuchsdurchführungen Vorversuche
- ... Versuchsdurchführungen Hauptversuche
- × ... **Holzleichtbetonplatte**: Wassergehalt einer einzelnen Probe am Tag x
- × ... **Holzleichtbetonplatte**: gemittelter Wassergehalt aus 8 (bzw. 10) Proben am Tag x
- ... **Holzleichtbetonplatte**: resultierender Verlauf des Wassergehalts über einen Zeitraum von 60 Tagen
- ◆ ... **Brettsperrholz**: gemittelter Wassergehalt aus 5 Proben am Tag x
- ... **Brettsperrholz**: resultierender Verlauf des Wassergehalts über einen Zeitraum von 60 Tagen



Anhang 2: Schematische Darstellung der Entwicklung des Wassergehalts in den für die Versuchsdurchführungen verwendeten Holzleichtbeton-Platten WSD 35 und WSD 50, sowie Brettsperrholz, Lagerung bei einer Luftfeuchtigkeit von 55%-60% und einer Raumtemperatur von ca. 20°C

7.2.1 Feuchtigkeitsentwicklung im Holz

7.2.1.1 1. Messung - Tag 0

| Tag 0 – 14.10.2014 | Stichprobe 1 | Stichprobe 2 | Stichprobe 3 | Stichprobe 4 | Stichprobe 5 | Durch- schnitt |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Feuchtegehalt | 16,9% | 16,9% | 16,9% | 16,8% | 16,9% | 16,9% |
| Temperatur | 21,0°C | 21,1°C | 21,0°C | 21,0°C | 21,0°C | 21,0°C |

Anhang 3: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsperrholz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 am 14.10.2014 (Tag 0)

7.2.1.2 2. Messung - Tag 7

| Tag 7 – 21.10.2014 | Stichprobe 1 | Stichprobe 2 | Stichprobe 3 | Stichprobe 4 | Stichprobe 5 | Durch- schnitt |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Feuchtegehalt | 16,5% | 16,5% | 16,3% | 16,4% | 16,3% | 16,4% |
| Temperatur | 21,3°C | 21,4°C | 21,4°C | 21,4°C | 21,5°C | 21,4°C |

Anhang 4: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsperrholz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 am 21.10.2014 (Tag 7)

7.2.1.3 3. Messung - Tag 15

| Tag 15 – 29.10.2014 | Stichprobe 1 | Stichprobe 2 | Stichprobe 3 | Stichprobe 4 | Stichprobe 5 | Durch- schnitt |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Feuchtegehalt | 16,0% | 16,0% | 15,9% | 16,0% | 15,9% | 16,0% |
| Temperatur | 21,2°C | 21,3°C | 21,2°C | 21,2°C | 21,3°C | 21,2°C |

Anhang 5: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsperrholz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 am 29.10.2014 (Tag 15)

7.2.1.4 4. Messung - Tag 27

| Tag 27 – 10.11.2014 | Stichprobe 1 | Stichprobe 2 | Stichprobe 3 | Stichprobe 4 | Stichprobe 5 | Durch- schnitt |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Feuchtegehalt | 15,1% | 15,1% | 15,2% | 15,1% | 15,2% | 15,1% |
| Temperatur | 21,3°C | 21,3°C | 21,4°C | 21,3°C | 21,4°C | 21,3°C |

Anhang 6: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsperrholz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 am 10.11.2014 (Tag 27)

7.2.1.5 5. Messung - Tag 35

| Tag 35 – 18.11.2014 | Stichprobe 1 | Stichprobe 2 | Stichprobe 3 | Stichprobe 4 | Stichprobe 5 | Durchschnitt |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Feuchtegehalt | 15,6% | 15,5% | 15,4% | 15,6% | 15,4% | 15,5% |
| Temperatur | 21,4°C | 21,4°C | 21,4°C | 21,4°C | 21,5°C | 21,4°C |

Anhang 7: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsper Holz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 am 18.11.2014 (Tag 35)

7.2.1.6 6. Messung - Tag 57

| Tag 57 – 10.12.2014 | Stichprobe 1 | Stichprobe 2 | Stichprobe 3 | Stichprobe 4 | Stichprobe 5 | Durchschnitt |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Feuchtegehalt | 14,7% | 14,8% | 14,8% | 14,8% | 14,7% | 14,8% |
| Temperatur | 21,6°C | 21,5°C | 21,5°C | 21,6°C | 21,6°C | 21,6°C |

Anhang 8: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsper Holz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 am 10.12.2014 (Tag 57)

7.2.2 Feuchtigkeitsentwicklung in den Holzleichtbetonplatten

7.2.2.1 1. Messung – Tag 0

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 14.10.2014 08:45h* | Messung 20.10.2014 13:00h | Messung 22.10.2014 15:30h** | m_w | u $w/(1-w)$ | w $u/(1+u)$ |
|-------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| P1-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 405,41 g | 350,76 g | 350,73 g | 54,68 g | 13,49 % | 11,89 % |
| P2-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 407,22 g | 349,51 g | 349,37 g | 57,85 g | 14,21 % | 12,44 % |
| P3-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 407,96 g | 363,70 g | 363,59 g | 44,37 g | 10,88 % | 9,81 % |
| P4-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 398,84 g | 345,22 g | 345,15 g | 53,68 g | 13,46 % | 11,86 % |
| P5-00 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 399,60 g | 346,51 g | 346,48 g | 53,12 g | 13,29 % | 11,73 % |
| P6-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 558,39 g | 475,92 g | 475,83 g | 82,56 g | 14,79 % | 12,88 % |
| P7-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 554,29 g | 488,09 g | 487,94 g | 66,35 g | 11,97 % | 10,69 % |
| P8-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 565,24 g | 486,66 g | 486,56 g | 78,68 g | 13,92 % | 12,22 % |
| P9-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 556,08 g | 480,90 g | 480,70 g | 75,37 g | 13,55 % | 11,94 % |
| P10-00 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 571,65 g | 508,14 g | 508,09 g | 63,56 g | 11,12 % | 10,01 % |

| | u | w |
|--------------|---------|---------|
| DURCHSCHNITT | 13,13 % | 11,60 % |

Anhang 9: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Holzleichtbetonplatten WSD 35 und WSD 50, Messung am 14.10.2014 (Tag 0) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.2.2.2 2. Messung – Tag 7

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 21.10.2014 09:15h* | Messung 24.10.2014 07:15h | Messung 27.10.2014 07:45h** | m _w | u w/(1-w) | w u/(1+u) |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| P1-07 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 402,31 g | 355,47 g | 355,43 g | 46,88 g | 11,65 % | 10,44 % |
| P2-07 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 398,09 g | 350,32 g | 350,21 g | 47,88 g | 12,03 % | 10,74 % |
| P3-07 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 398,18 g | 348,14 g | 348,11 g | 50,07 g | 12,57 % | 11,17 % |
| P4-07 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 389,11 g | 348,54 g | 348,47 g | 40,65 g | 10,45 % | 9,46 % |
| P5-07 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 402,00 g | 353,51 g | 353,44 g | 48,56 g | 12,08 % | 10,78 % |
| P6-07 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 566,90 g | 496,34 g | 496,19 g | 70,71 g | 12,47 % | 11,09 % |
| P7-07 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 555,15 g | 481,03 g | 481,70 g | 73,37 g | 13,22 % | 11,67 % |
| P8-07 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 553,68 g | 487,69 g | 487,60 g | 66,09 g | 11,94 % | 10,66 % |
| P9-07 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 554,46 g | 494,66 g | 494,56 g | 59,90 g | 10,80 % | 9,75 % |
| P10-07 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 557,63 g | 492,70 g | 492,60 g | 65,03 g | 11,66 % | 10,44 % |

| | | |
|---------------------------|----------|----------|
| DURCH- SCHNITT | u | w |
| | 11,90 % | 10,63 % |

Anhang 10: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Holzleichtbetonplatten WSD 35 und WSD 50, Messung am 21.10.2014 (Tag 7) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.2.2.3 3. Messung – Tag 15

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 29.10.2014 11:15h* | Messung 03.11.2014 07:45h | Messung 05.11.2014 09:00h** | m _w | u w/(1-w) | w u/(1+u) |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| P1-15 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 384,52 g | 341,07 g | 340,96 g | 43,56 g | 11,33 % | 10,18 % |
| P2-15 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 387,28 g | 344,94 g | 344,84 g | 42,44 g | 10,96 % | 9,88 % |
| P3-15 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 391,97 g | 351,66 g | 351,52 g | 40,46 g | 10,32 % | 9,36 % |
| P4-15 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 399,80 g | 353,02 g | 352,94 g | 46,86 g | 11,72 % | 10,49 % |
| P5-15 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 388,58 g | 348,00 g | 347,86 g | 40,73 g | 10,48 % | 9,49 % |
| P6-15 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 550,91 g | 498,27 g | 498,12 g | 52,79 g | 9,58 % | 8,74 % |
| P7-15 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 553,21 g | 489,20 g | 489,00 g | 64,21 g | 11,61 % | 10,40 % |
| P8-15 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 543,06 g | 479,67 g | 479,62 g | 63,43 g | 11,68 % | 10,46 % |
| P9-15 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 563,98 g | 506,21 g | 506,16 g | 57,82 g | 10,25 % | 9,30 % |
| P10-15 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 544,30 g | 488,53 g | 488,33 g | 55,97 g | 10,28 % | 9,32 % |

| | | |
|---------------------|----------|----------|
| | u | w |
| DURCHSCHNITT | 10,86 % | 9,80 % |

Anhang 11: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Veloxplatten WSD 35 und WSD 50, Messung am 29.10.2014 (Tag 15) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.2.2.4 4. Messung – Tag 16

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 30.10.2014 08:45h* | Messung 03.11.2014 07:45h | Messung 05.11.2014 09:00h** | m_w | u $w/(1-w)$ | w $u/(1+u)$ |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| P1-16 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 380,62 g | 342,60 g | 342,53 g | 38,09 g | 10,01 % | 9,10 % |
| P2-16 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 382,22 g | 340,45 g | 340,34 g | 32,87 g | 8,60 % | 7,92 % |
| P3-16 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 379,41 g | 343,67 g | 343,53 g | 35,88 g | 9,46 % | 8,64 % |
| P4-16 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 390,95 g | 346,04 g | 345,94 g | 45,01 g | 11,51 % | 10,32 % |
| P5-16 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 380,04 g | 335,14 g | 335,83 g | 44,21 g | 11,63 % | 10,42 % |
| P6-16 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 549,02 g | 485,72 g | 485,66 g | 63,36 g | 11,54 % | 10,35 % |
| P7-16 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 551,90 g | 492,27 g | 492,13 g | 59,77 g | 10,83 % | 9,77 % |
| P8-07 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 551,08 g | 480,86 g | 480,71 g | 70,37 g | 12,77 % | 11,32 % |
| P9-16 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 566,45 g | 509,38 g | 509,27 g | 57,18 g | 10,09 % | 9,17 % |
| P10-16 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 560,21 g | 510,88 g | 510,78 g | 49,43 g | 8,82 % | 8,11 % |

| | | |
|---------------------|----------|----------|
| | u | w |
| DURCHSCHNITT | 10,49 % | 9,48 % |

Anhang 12: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Veloxplatten WSD 35 und WSD 5, Messung am 30.10.2014 (Tag 16) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.2.2.5 5. Messung – Tag 17

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 31.10.2014 08:00h* | Messung 03.11.2014 07:45h | Messung 05.11.2014 09:00h** | m _w | u w/(1-w) | w u/(1+u) |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| P1-17 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 384,94 g | 341,01 g | 341,94 g | 43,00 g | 11,17 % | 10,05 % |
| P2-17 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 392,52 g | 341,83 g | 341,73 g | 50,80 g | 12,94 % | 11,46 % |
| P3-17 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 397,96 g | 349,07 g | 348,95 g | 49,01 g | 12,32 % | 10,97 % |
| P4-17 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 385,47 g | 342,97 g | 342,94 g | 42,53 g | 11,03 % | 9,94 % |
| P5-17 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 387,34 g | 351,01 g | 350,90 g | 36,44 g | 9,41 % | 8,60 % |
| P6-17 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 566,22 g | 506,86 g | 506,81 g | 59,41 g | 10,49 % | 9,50 % |
| P7-17 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 555,69 g | 508,66 g | 508,61 g | 47,08 g | 8,47 % | 7,81 % |
| P8-17 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 550,30 g | 501,98 g | 493,93 g | 56,37 g | 10,24 % | 9,29 % |
| P9-17 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 558,96 g | 508,65 g | 501,44 g | 57,52 g | 10,29 % | 9,33 % |
| P10-17 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 544,61 g | 486,58 g | 486,53 g | 58,08 g | 10,66 % | 9,64 % |

| | | |
|---------------------|----------|----------|
| | u | w |
| DURCHSCHNITT | 10,70 % | 9,66 % |

Anhang 13: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Veloxplatten WSD 35 und WSD 50, Messung am 31.10.2014 (Tag 17) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.2.2.6 6. Messung – Tag 27

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 10.11.2014 11:00h* | Messung 14.11.2014 08:30h | Messung 17.11.2014 07:30h** | m _w | u w/(1-w) | w u/(1+u) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| P1-27 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 392,19 g | 350,28 g | 350,21 g | 41,98 g | 10,70 % | 9,67 % |
| P2-17 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 381,58 g | 344,40 g | 344,33 g | 37,24 g | 9,76 % | 8,89 % |
| P3-27 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 376,71 g | 342,68 g | 342,61 g | 34,10 g | 9,05 % | 8,30 % |
| P4-27 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 394,93 g | 352,04 g | 351,07 g | 42,96 g | 10,88 % | 9,81 % |
| P5-27 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 392,33 g | 354,81 g | 354,70 g | 37,62 g | 9,59 % | 8,75 % |
| P6-27 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 556,55 g | 503,80 g | 503,65 g | 52,90 g | 9,50 % | 8,68 % |
| P7-27 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 566,78 g | 508,63 g | 508,58 g | 58,20 g | 10,27 % | 9,31 % |
| P8-27 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 564,14 g | 513,25 g | 513,15 g | 50,99 g | 9,04 % | 8,29 % |
| P9-27 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 568,90 g | 513,48 g | 513,43 g | 55,47 g | 9,75 % | 8,88 % |
| P10-27 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 554,40 g | 501,95 g | 501,90 g | 52,50 g | 9,47 % | 8,65 % |

| | | |
|---------------------------|---------------|---------------|
| | u | w |
| DURCH- SCHNITT | 9,76 % | 8,89 % |

Anhang 14: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Veloxplatten WSD 35 und WSD 50, Messung am 10.11.2014 (Tag 27) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.2.2.7 7. Messung – Tag 31

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 14.11.2014 09:00h* | Messung 17.11.2014 07:30h | Messung 19.11.2014 14:45h** | m _w | u w/(1-w) | w u/(1+u) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| P1-31 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 377,40 g | 346,72 g | 346,69 g | 30,72 g | 8,14 % | 7,53 % |
| P2-31 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 394,10 g | 356,18 g | 356,08 g | 38,03 g | 9,65 % | 8,80 % |
| P3-31 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 390,59 g | 353,01 g | 352,94 g | 37,65 g | 9,64 % | 8,79 % |
| P4-31 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 396,10 g | 357,85 g | 357,78 g | 38,32 g | 9,68 % | 8,82 % |
| P5-31 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 382,49 g | 344,17 g | 344,07 g | 38,43 g | 10,05 % | 9,13 % |
| P6-31 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 554,53 g | 497,88 g | 497,83 g | 56,70 g | 10,22 % | 9,28 % |
| P7-31 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 543,74 g | 491,66 g | 491,61 g | 52,13 g | 9,59 % | 8,75 % |
| P8-31 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 557,68 g | 497,10 g | 497,00 g | 60,67 g | 10,88 % | 9,81 % |
| P9-31 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 539,19 g | 491,06 g | 490,92 g | 48,26 g | 8,95 % | 8,22 % |
| P10-31 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 535,06 g | 485,65 g | 485,51 g | 49,55 g | 9,26 % | 8,48 % |

| | | |
|---------------------------|---------------|---------------|
| | u | w |
| DURCH- SCHNITT | 9,63 % | 8,78 % |

Anhang 15: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Veloxplatten WSD 35 und WSD 50, Messung am 14.11.2014 (Tag 31) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.2.2.8 8. Messung – Tag 57

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 10.12.2014 13:30h* | Messung 15.12.2014 07:30h | Messung 17.12.2014 07:30h** | m _w | u w/(1-w) | w u/(1+u) |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| P1-57 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 392,49 g | 359,80 g | 359,73 g | 32,76 g | 8,35 % | 7,70 % |
| P2-57 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 375,49 g | 342,67 g | 342,53 g | 32,96 g | 8,78 % | 8,07 % |
| P3-57 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 376,20 g | 341,06 g | 341,03 g | 35,17 g | 9,35 % | 8,55 % |
| P4-57 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 383,78 g | 346,97 g | 346,83 g | 36,95 g | 9,63 % | 8,78 % |
| P5-57 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 388,08 g | 350,38 g | 350,31 g | 37,77 g | 9,73 % | 8,87 % |
| P6-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 558,04 g | 497,44 g | 497,24 g | 61,70 g | 11,04 % | 9,94 % |
| P7-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 536,34 g | 485,77 g | 485,72 g | 50,62 g | 9,44 % | 8,62 % |
| P8-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 526,19 g | 479,08 g | 478,94 g | 47,25 g | 8,98 % | 8,24 % |
| P9-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 542,12 g | 492,88 g | 492,73 g | 49,39 g | 9,11 % | 8,35 % |
| P10-57 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 549,36 g | 497,10 g | 497,00 g | 52,36 g | 9,53 % | 8,70 % |

| | u | w |
|---------------------|---------------|---------------|
| DURCHSCHNITT | 9,32 % | 8,52 % |

Anhang 16: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Veloxplatten WSD 35 und WSD 50, Messung am 10.12.2014 (Tag 57) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.2.2.9 9. Messung – Tag 58

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 11.12.2014 12:00h* | Messung 15.12.2014 07:30h | Messung 17.12.2014 07:30h** | m_w | u $w/(1-w)$ | w $u/(1+u)$ |
|-------------------|-----------|-------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------|------------------|------------------|
| P1-58 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 385,49 g | 354,49 g | 354,38 g | 31,11 g | 8,07 % | 7,47 % |
| P2-58 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 376,26 g | 343,62 g | 342,98 g | 33,28 g | 8,84 % | 8,13 % |
| P3-58 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 363,98 g | 327,15 g | 327,12 g | 36,86 g | 10,13 % | 9,20 % |
| P4-58 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 380,53 g | 340,60 g | 340,56 g | 39,97 g | 10,50 % | 9,50 % |
| P5-58 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 373,21 g | 340,51 g | 340,44 g | 32,77 g | 8,78 % | 8,07 % |
| P6-58 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 522,55 g | 477,58 g | 476,85 g | 45,70 g | 8,75 % | 8,04 % |
| P7-58 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 536,68 g | 487,16 g | 487,01 g | 49,67 g | 9,25 % | 8,47 % |
| P8-58 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 539,68 g | 488,10 g | 487,91 g | 51,77 g | 9,59 % | 8,75 % |
| P9-58 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 550,65 g | 503,48 g | 503,14 g | 47,51 g | 8,63 % | 7,94 % |
| P10-58 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 552,80 g | 503,71 g | 502,52 g | 50,28 g | 9,10 % | 8,34 % |

| | u | w |
|--------------|--------|--------|
| DURCHSCHNITT | 9,13 % | 8,37 % |

Anhang 17: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Veloxplatten WSD 35 und WSD 50, Messung am 11.12.2014 (Tag 58) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.2.2.10 10. Messung – Tag 59

| Probenbezeichnung | Werkstoff | L x B x H | Messung 12.12.2014 13:30h* | Messung 15.12.2014 07:30h | Messung 17.12.2014 07:30h** | m _w | u w/(1-w) | w u/(1+u) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------|
| P1-59 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 370,55 g | 336,95 g | 336,91 g | 33,64 g | 9,08 % | 8,32 % |
| P2-59 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 379,29 g | 339,24 g | 339,14 g | 40,15 g | 10,59 % | 9,57 % |
| P3-59 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 382,19 g | 344,11 g | 344,04 g | 38,15 g | 9,98 % | 9,08 % |
| P4-59 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 379,88 g | 340,58 g | 340,51 g | 39,36 g | 10,36 % | 9,39 % |
| P5-59 | WSD 35 | 12x12x3,5cm | 376,89 g | 342,72 g | 342,61 g | 34,28 g | 9,09 % | 8,34 % |
| P6-59 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 532,94 g | 477,73 g | 477,63 g | 55,31 g | 10,38 % | 9,40 % |
| P7-59 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 525,26 g | 479,24 g | 479,05 g | 46,21 g | 8,80 % | 8,09 % |
| P8-59 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 526,44 g | 478,42 g | 478,23 g | 48,21 g | 9,16 % | 8,39 % |
| P9-59 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 530,11 g | 483,46 g | 483,41 g | 46,70 g | 8,81 % | 8,10 % |
| P10-59 | WSD 50 | 12x12x5,0cm | 522,80 g | 477,32 g | 476,01 g | 46,79 g | 8,95 % | 8,21 % |

| | u | w |
|---------------------------|-----------|--------|
| DURCH- SCHNITT | 9,48 % | 8,65 % |

Anhang 18: Protokoll über die Feuchtigkeitsbestimmung von 10 Probekörpern aus Veloxplatten WSD 35 und WSD 50, Messung am 12.12.2014 (Tag 59) mittels Darrtrocknung im Trockenofen

7.3 Ergänzungen zu ExcelINX

| Task: Configure Scanning DMM Channels | | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------------|
| Task | Name | DMM Config |
| | Description | |
| | Created By | Baustofflehre Brandschutz |
| | Company | TU Wien |
| | Date Created | 21.09.2014 |
| | Date Modified | 27.10.2014 |
| | Status/Cmds | Task stopped successfully |
| Instrument | Device | MODEL_2700_at_COM1 |
| | Password | |
| | Slot 1 Module | M7700 |
| | Slot 2 Module | M7708 |
| | Slot 3 Module | |
| | Slot 4 Module | |
| | Slot 5 Module | |
| | Front Panel Lockout | On |
| Setup | Line Sync | Off |
| | Autozero | On |
| | Display Digits | 6½ |
| | DCV Input Divider | Off |
| | Open TC Detection | Off |
| | Temp Scale | °C |
| Limits | Digital Outputs | Off |
| | Pulse Output | Off |
| | Polarity | High |
| | Duration | 0,02 sec |
| | Master Latch | Off |

Anhang 19: Getroffene Einstellungen und Bezeichnungen für die Arbeitsmappe „DMM Config“
(Configure Scanning DMM Channels)

| Channel Scan List | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------|-------|-------------|-------|---------|------|-------|---|---|------------|-------|----------|-------|
| Channel | | | Measurement | | Scaling | | | | | Rep Filter | | Sampling | |
| Enb | List | Tag | Function | Range | Rel | Math | m/ref | b | U | Enb | Count | Rate | AC BW |
| On | 201 | Ofen | TEMP | K | Off | None | | | | Off | | FAST | |
| On | 202 | Ofen | TEMP | K | Off | None | | | | Off | | FAST | |
| On | 203 | Ofen | TEMP | K | Off | None | | | | Off | | FAST | |
| On | 204 | Ofen | TEMP | K | Off | None | | | | Off | | FAST | |
| On | 205 | Probe | TEMP | K | Off | None | | | | Off | | FAST | |
| On | 206 | Probe | TEMP | K | Off | None | | | | Off | | FAST | |
| On | 207 | Probe | TEMP | K | Off | None | | | | Off | | FAST | |
| On | 208 | Raum | TEMP | K | Off | None | | | | Off | | FAST | |

Anhang 20: Getroffene Einstellungen für die Arbeitsmappe „DMM Config“ (Channel Scan List)

| Task: Scan DMM Channels | | | |
|-------------------------|------------------|---------------------------|------|
| Task | Name | DMM Scan | |
| | Created By | Baustofflehre Brandschutz | |
| | Company | TU Wien | |
| | Date Created | 21.09.2014 | |
| | Date Modified | 27.10.2014 | |
| | Status/Cmds | Task stopped successfully | |
| Configuration | Worksheet | DMM Config | |
| Trigger | Model | Scan | |
| | Source | Timer | |
| | Delay | Auto | msec |
| | Timer | 10 | sec |
| | Monitor | None | |
| | Monitor Limits | None | |
| Data Location | Worksheet | Daten_log | |
| | Starting Col | A | |
| | Starting Row | 2 | |
| | Organize By | Rows | |
| | Autoincrement | Use one table | |
| | Auto Wrap | On | |
| | Format | Delimited text (tab) | |
| Data Display | Add Channel Tags | No | |
| | Add Channels | Yes | |
| | Add Units | No | |
| | Scroll Display | Yes | |
| | Limits | None | |
| | Timestamp | Relative | |
| | Update Interval | 100 | msec |

Anhang 21: Getroffene Einstellungen für die Arbeitsmappe „DMM Config“

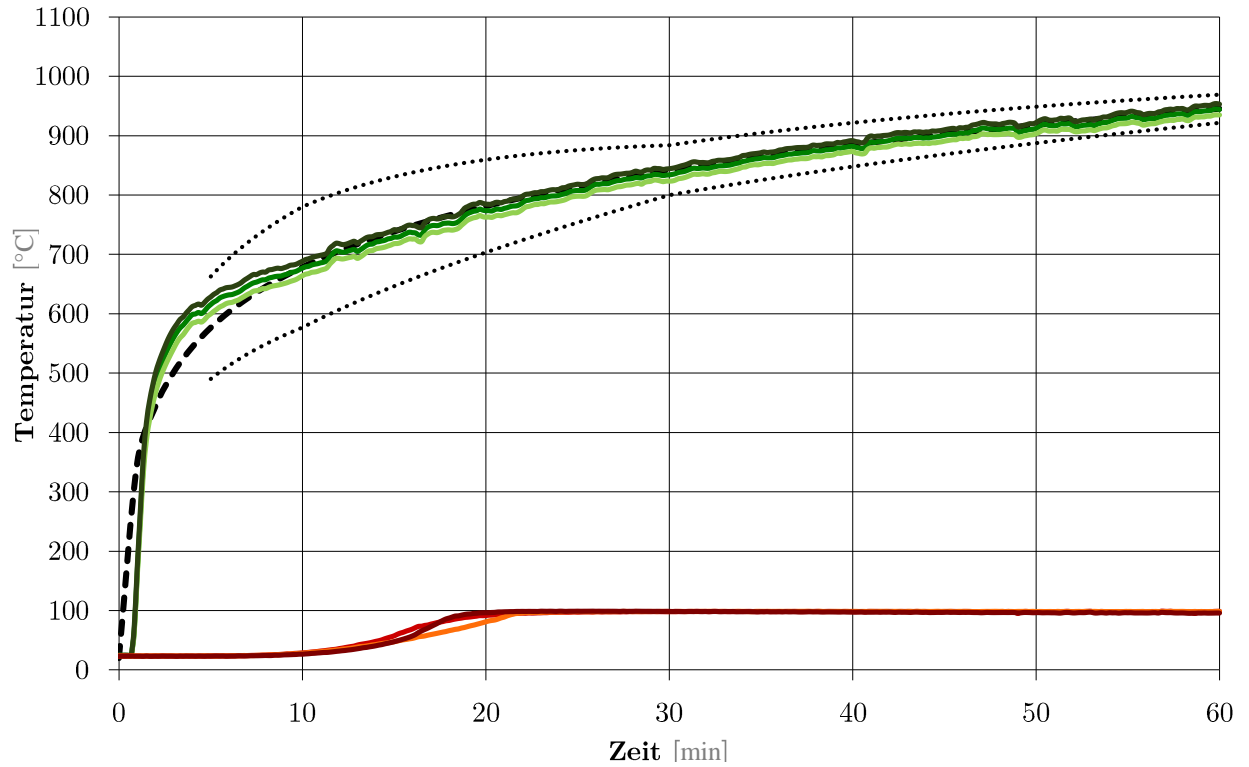
| Ausgangs temp [C°] | Zeit t [sec] | Zeit t [min] | ETK [°C] | Zeit mittel [sec] | Zeit mittel [min] | ETK Mittel [°C] | tats. Fläche Ai | ETK-oben [°C] | obere Fläche As _o | ETK-unten [°C] | untere Fläche As _u |
|--------------------|--------------|--------------|----------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|
| 20 | 0 | 0,0 | 20,0 | 5 | 0,1 | 96,5 | 16,1 | | | | |
| | 10 | 0,2 | 147,0 | 15 | 0,3 | 184,6 | 30,8 | | | | |
| | 20 | 0,3 | 214,7 | 25 | 0,4 | 239,7 | 40,0 | | | | |
| | 30 | 0,5 | 261,1 | 35 | 0,6 | 279,9 | 46,6 | | | | |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | | | | |
| | 300 | 5,0 | 576,4 | 305 | 5,0 | 576,4 | 96,1 | 662,9 | 110,5 | 489,9 | 81,7 |
| | 310 | 5,2 | 581,2 | 315 | 5,1 | 578,8 | 96,5 | 665,7 | 110,9 | 492,0 | 82,0 |
| | 320 | 5,3 | 585,9 | 325 | 5,3 | 583,5 | 97,3 | 671,1 | 111,8 | 496,0 | 82,7 |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | 1830 | 30,5 | 844,3 | 1835 | 30,0 | 841,8 | 140,3 | 883,9 | 147,3 | 799,7 | 133,3 |
| | 1840 | 30,7 | 845,1 | 1845 | 30,1 | 842,2 | 140,4 | 884,3 | 147,4 | 800,2 | 133,4 |
| | 1850 | 30,8 | 845,9 | 1855 | 30,3 | 843,0 | 140,5 | 885,0 | 147,5 | 801,1 | 133,5 |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | 3650 | 60,8 | 947,4 | 3655 | 60,0 | 945,3 | 157,6 | 969,1 | 161,5 | 921,6 | 153,6 |
| | 3660 | 61,0 | 947,8 | 3665 | 60,1 | 945,5 | 157,6 | 969,2 | 161,5 | 921,9 | 153,7 |
| | 3670 | 61,2 | 948,2 | 3675 | 60,3 | 946,0 | 157,7 | 969,6 | 161,6 | 922,3 | 153,7 |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | 5450 | 90,8 | 1007,4 | 5455 | 89,8 | 1005,6 | 167,6 | 1030,7 | 171,8 | 980,4 | 163,4 |
| | 5460 | 91,0 | 1007,6 | 5465 | 89,9 | 1005,8 | 167,6 | 1031,0 | 171,8 | 980,7 | 163,5 |
| | 5470 | 91,2 | 1007,9 | 5475 | 90,0 | 1006,0 | 167,7 | 1031,1 | 171,9 | 980,8 | 163,5 |

Anhang 22: Tabellenblatt „Daten_log“ mit Referenzwerten der Einheitstemperaturzeitkurve entsprechend ÖNORM EN 1363-1 inklusive oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze entsprechend ÖNORM EN 1363-2

7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

7.4.1 Vorversuchsreihe 1 (VV1)

7.4.1.1 Vorversuchsreihe VV1-a



Anhang 23: Temperaturverlaufdiagramm VV1-a, Versuchsdauer 60 Minuten

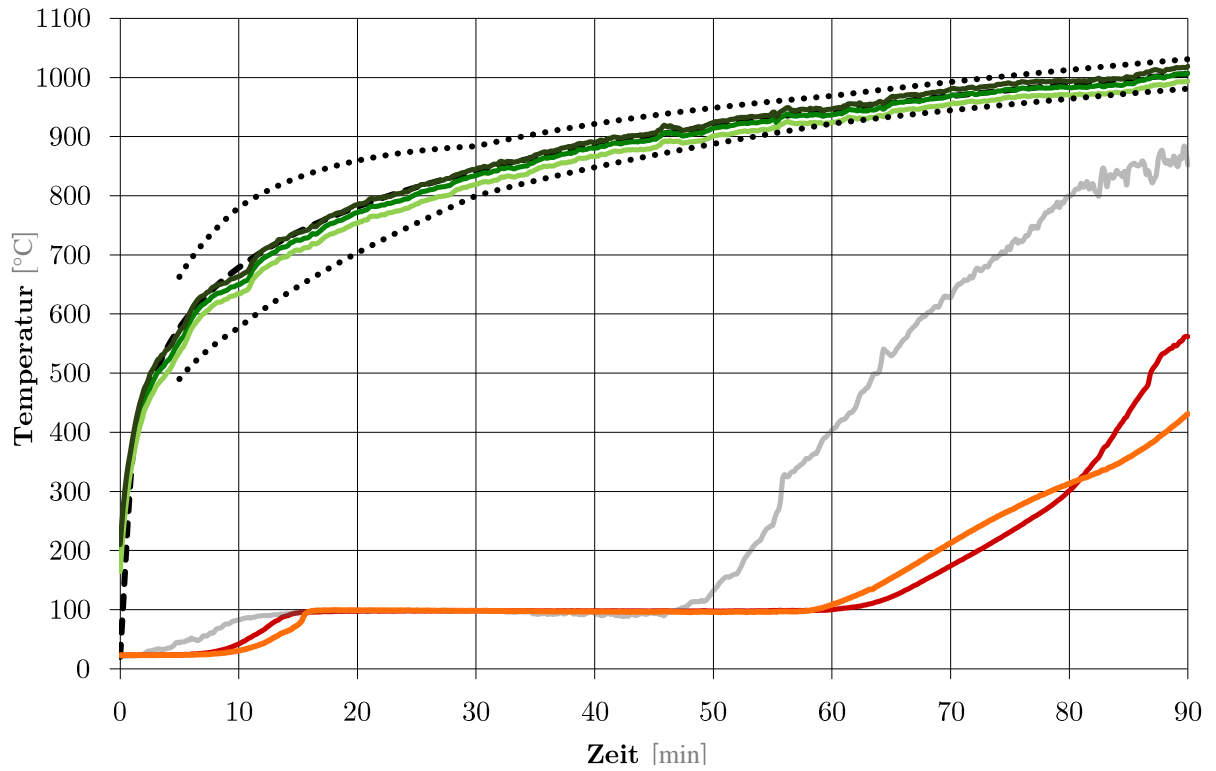
| Ofen-temperatur | | | | BT kurz | BT mittel | BT lang | Raum-temp. | Intervall | | Mittelwert | Max. wert |
|-----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|--------------|------------|------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 205 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 208 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 14 | 14 | 15 | 13 | 13 | 12 | 13 | 10 | 0 | 0,00 | 3 | 3 |
| 14 | 14 | 15 | 13 | 14 | 13 | 13 | 10 | 10 | 0,17 | 3 | 4 |
| 14 | 15 | 16 | 14 | 14 | 13 | 13 | 10 | 20 | 0,34 | 3 | 4 |
| 14 | 15 | 16 | 14 | 14 | 13 | 13 | 10 | 30 | 0,50 | 4 | 4 |
| 15 | 16 | 16 | 14 | 15 | 13 | 14 | 11 | 40 | 0,67 | 3 | 4 |
| 64 | 72 | 64 | 65 | 15 | 14 | 15 | 11 | 50 | 0,84 | 3 | 4 |
| 160 | 174 | 162 | 172 | 16 | 14 | 15 | 11 | 60 | 1,00 | 4 | 5 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 658 | 682 | 663 | 683 | 28 | 28 | 26 | 11 | 580 | 9,67 | 16 | 16 |
| 661 | 686 | 665 | 686 | 28 | 28 | 26 | 12 | 590 | 9,84 | 16 | 17 |
| 664 | 688 | 667 | 688 | 29 | 28 | 26 | 12 | 600 | 10,00 | 16 | 17 |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----|-------------|--------------|-----------|-----------|
| 667 | 691 | 668 | 690 | 29 | 29 | 27 | 11 | 610 | 10,17 | 17 | 18 |
| 668 | 693 | 669 | 690 | 30 | 29 | 27 | 11 | 620 | 10,34 | 17 | 18 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 765 | 787 | 766 | 786 | 91 | 78 | 96 | 11 | 1180 | 19,67 | 78 | 85 |
| 764 | 786 | 764 | 785 | 91 | 80 | 96 | 11 | 1190 | 19,84 | 78 | 85 |
| 763 | 785 | 763 | 784 | 92 | 81 | 96 | 11 | 1200 | 20,00 | 79 | 85 |
| 763 | 784 | 763 | 784 | 92 | 82 | 96 | 11 | 1210 | 20,17 | 79 | 85 |
| 763 | 784 | 762 | 783 | 92 | 83 | 97 | 11 | 1220 | 20,34 | 80 | 86 |
| | | | | | | | | | | | |
| 823 | 843 | 824 | 842 | 98 | 98 | 98 | 11 | 1780 | 29,67 | 87 | 88 |
| 824 | 844 | 825 | 842 | 98 | 98 | 99 | 11 | 1790 | 29,84 | 87 | 87 |
| 823 | 844 | 825 | 844 | 98 | 98 | 99 | 11 | 1800 | 30,00 | 88 | 88 |
| 824 | 845 | 825 | 845 | 98 | 98 | 98 | 11 | 1810 | 30,17 | 87 | 88 |
| 825 | 845 | 827 | 846 | 98 | 98 | 99 | 12 | 1820 | 30,34 | 87 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 872 | 890 | 872 | 888 | 98 | 98 | 97 | 11 | 2380 | 39,67 | 87 | 87 |
| 873 | 891 | 873 | 890 | 98 | 99 | 97 | 11 | 2390 | 39,84 | 87 | 87 |
| 873 | 892 | 874 | 890 | 98 | 99 | 97 | 11 | 2400 | 40,00 | 87 | 87 |
| 871 | 890 | 872 | 889 | 98 | 99 | 97 | 11 | 2410 | 40,17 | 87 | 88 |
| 870 | 889 | 871 | 888 | 98 | 98 | 97 | 11 | 2420 | 40,34 | 87 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 902 | 920 | 901 | 919 | 98 | 98 | 97 | 11 | 2980 | 49,67 | 87 | 88 |
| 902 | 920 | 902 | 919 | 98 | 99 | 96 | 11 | 2990 | 49,84 | 86 | 87 |
| 904 | 922 | 903 | 920 | 98 | 98 | 96 | 11 | 3000 | 50,00 | 87 | 88 |
| 906 | 925 | 906 | 924 | 98 | 98 | 97 | 11 | 3010 | 50,17 | 87 | 87 |
| 909 | 927 | 910 | 927 | 98 | 98 | 96 | 11 | 3020 | 50,34 | 87 | 88 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 932 | 950 | 933 | 951 | 98 | 98 | 96 | 11 | 3550 | 59,17 | 86 | 87 |
| 933 | 950 | 934 | 951 | 97 | 98 | 96 | 11 | 3560 | 59,34 | 86 | 87 |
| 933 | 951 | 935 | 951 | 98 | 98 | 96 | 12 | 3570 | 59,50 | 86 | 87 |
| 935 | 953 | 937 | 953 | 98 | 98 | 96 | 11 | 3580 | 59,67 | 87 | 88 |
| 935 | 954 | 937 | 954 | 99 | 98 | 96 | 11 | 3590 | 59,84 | 86 | 87 |
| 935 | 953 | 936 | 953 | 99 | 99 | 96 | 11 | 3600 | 60,00 | 87 | 88 |

Anhang 24: Auszug aus der Daten_log-Datei von VV1-a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 60 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min

7.4.1.2 Vorversuchsreihe VV1-b



Anhang 25: Temperaturverlaufdiagramm VV1-b, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT kurz | BT mit- tel | BT lang | Rau- mp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 47 | 42 | 36 | 41 | 22 | 23 | 23 | 11 | 0 | 0,00 | 14* | 14* |
| 210 | 252 | 229 | 249 | 21 | 23 | 23 | 11 | 10 | 0,17 | 14* | 14* |
| 247 | 289 | 261 | 284 | 22 | 23 | 23 | 11 | 20 | 0,34 | 13* | 14* |
| 278 | 319 | 291 | 317 | 22 | 23 | 23 | 10 | 30 | 0,50 | 14* | 14* |
| 304 | 343 | 315 | 342 | 22 | 23 | 23 | 10 | 40 | 0,67 | 14* | 14* |
| 328 | 362 | 336 | 362 | 22 | 23 | 23 | 11 | 50 | 0,84 | 14* | 14* |
| 347 | 378 | 355 | 383 | 22 | 23 | 23 | 11 | 60 | 1,00 | 14* | 14* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 631 | 658 | 637 | 661 | 81 | 39 | 30 | 10 | 580 | 9,67 | 25* | 30* |
| 634 | 660 | 639 | 662 | 82 | 41 | 30 | 10 | 590 | 9,84 | 25* | 31* |
| 634 | 661 | 640 | 664 | 83 | 42 | 30 | 10 | 600 | 10,00 | 26* | 32* |
| 635 | 663 | 641 | 665 | 84 | 44 | 31 | 10 | 610 | 10,17 | 28* | 34* |
| 638 | 666 | 644 | 667 | 85 | 46 | 32 | 10 | 620 | 10,34 | 29* | 36* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 752 | 780 | 763 | 783 | 98 | 97 | 99 | 10 | 1180 | 19,67 | 89* | 90* |
| 754 | 781 | 765 | 784 | 98 | 97 | 99 | 11 | 1190 | 19,84 | 89* | 90* |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 753 | 782 | 766 | 785 | 99 | 97 | 99 | 11 | 1200 | 20,00 | 89* | 90* |
| 756 | 784 | 767 | 787 | 98 | 98 | 99 | 10 | 1210 | 20,17 | 89* | 90* |
| 756 | 783 | 768 | 786 | 99 | 98 | 99 | 10 | 1220 | 20,34 | 89* | 89* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 818 | 842 | 827 | 844 | 98 | 98 | 98 | 10 | 1780 | 29,67 | 89* | 89* |
| 818 | 843 | 828 | 844 | 98 | 98 | 98 | 10 | 1790 | 29,84 | 89* | 89* |
| 819 | 844 | 829 | 845 | 98 | 98 | 99 | 10 | 1800 | 30,00 | 89* | 89* |
| 820 | 845 | 830 | 847 | 98 | 98 | 98 | 11 | 1810 | 30,17 | 89* | 89* |
| 822 | 847 | 831 | 847 | 98 | 98 | 98 | 10 | 1820 | 30,34 | 89* | 89* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 867 | 890 | 875 | 891 | 95 | 98 | 98 | 10 | 2380 | 39,67 | 88* | 88* |
| 866 | 890 | 875 | 890 | 97 | 98 | 97 | 10 | 2390 | 39,84 | 87* | 88* |
| 866 | 890 | 875 | 890 | 94 | 98 | 97 | 11 | 2400 | 40,00 | 87* | 87* |
| 867 | 891 | 875 | 891 | 92 | 98 | 97 | 10 | 2410 | 40,17 | 87* | 88* |
| 867 | 891 | 876 | 892 | 94 | 98 | 97 | 10 | 2420 | 40,34 | 87* | 88* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 898 | 920 | 905 | 921 | 123 | 98 | 96 | 13 | 2980 | 49,67 | 84* | 85* |
| 900 | 923 | 907 | 923 | 128 | 98 | 96 | 12 | 2990 | 49,84 | 84* | 85* |
| 901 | 924 | 908 | 924 | 132 | 98 | 96 | 12 | 3000 | 50,00 | 85* | 86* |
| 902 | 924 | 909 | 925 | 136 | 98 | 96 | 12 | 3010 | 50,17 | 85* | 85* |
| 902 | 925 | 909 | 925 | 139 | 98 | 96 | 12 | 3020 | 50,34 | 85* | 86* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 923 | 946 | 930 | 946 | 397 | 99 | 99 | 12 | 3580 | 59,67 | 87* | 87* |
| 923 | 946 | 930 | 946 | 399 | 100 | 99 | 12 | 3590 | 59,84 | 88* | 88* |
| 924 | 947 | 931 | 947 | 404 | 100 | 99 | 12 | 3600 | 60,00 | 88* | 88* |
| 924 | 946 | 931 | 948 | 407 | 100 | 99 | 11 | 3610 | 60,17 | 89* | 90* |
| 924 | 947 | 932 | 948 | 409 | 101 | 99 | 11 | 3620 | 60,34 | 89* | 90* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 954 | 976 | 960 | 978 | 629 | 171 | 140 | 11 | 4180 | 69,67 | 145* | 160* |
| 955 | 978 | 961 | 979 | 629 | 172 | 142 | 10 | 4190 | 69,84 | 147* | 162* |
| 955 | 979 | 962 | 980 | 628 | 174 | 144 | 11 | 4200 | 70,00 | 149* | 164* |
| 957 | 981 | 963 | 982 | 634 | 176 | 144 | 11 | 4210 | 70,17 | 150* | 165* |
| 956 | 980 | 963 | 981 | 641 | 178 | 146 | 10 | 4220 | 70,34 | 152* | 167* |
| 956 | 979 | 962 | 981 | 646 | 180 | 147 | 10 | 4230 | 70,50 | 153* | 169* |
| 957 | 980 | 962 | 980 | 651 | 182 | 149 | 10 | 4240 | 70,67 | 155* | 172* |
| 956 | 980 | 963 | 980 | 651 | 183 | 151 | 10 | 4250 | 70,84 | 157* | 173* |
| 958 | 981 | 963 | 981 | 654 | 185 | 153 | 10 | 4260 | 71,00 | 159* | 175* |
| 957 | 980 | 963 | 981 | 658 | 187 | 155 | 10 | 4270 | 71,17 | 161* | 177* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 969 | 992 | 975 | 993 | 775 | 276 | 223 | 11 | 4710 | 78,50 | 239* | 265* |
| 970 | 992 | 975 | 994 | 781 | 279 | 226 | 11 | 4720 | 78,67 | 242* | 268* |
| 970 | 993 | 976 | 995 | 782 | 281 | 229 | 11 | 4730 | 78,84 | 244* | 270* |
| 970 | 993 | 975 | 994 | 789 | 284 | 231 | 11 | 4740 | 79,00 | 247* | 273* |
| 971 | 995 | 977 | 996 | 789 | 286 | 234 | 11 | 4750 | 79,17 | 250* | 276* |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

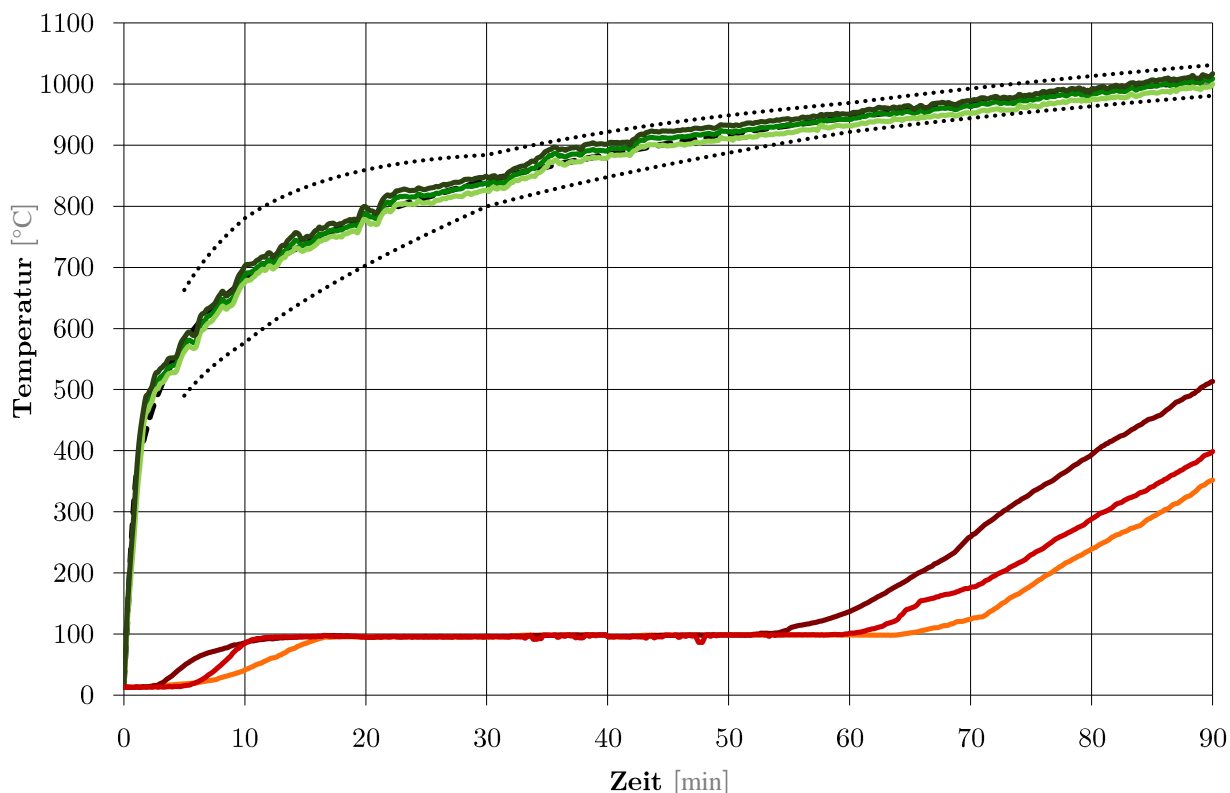
| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|-------------|----------------|------------|-----|-----------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 971 | 994 | 976 | 994 | 789 | 289 | 236 | 11 | 4760 | 79,34 | 252* | 278* |
| 971 | 994 | 976 | 994 | 787 | 292 | 239 | 10 | 4770 | 79,50 | 255* | 282* |
| 970 | 993 | 976 | 994 | 794 | 295 | 241 | 10 | 4780 | 79,67 | 258* | 284* |
| 971 | 993 | 976 | 993 | 799 | 298 | 244 | 10 | 4790 | 79,84 | 261* | 288* |
| 970 | 993 | 975 | 993 | 799 | 301 | 247 | 11 | 4800 | 80,00 | 264* | 291* |
| 970 | 993 | 975 | 993 | 801 | 304 | 250 | 10 | 4810 | 80,17 | 267* | 294* |
| 970 | 993 | 975 | 994 | 804 | 307 | 252 | 10 | 4820 | 80,34 | 270* | 297* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 993 | 1016 | 998 | 1016 | 850 | 549 | 384 | 10 | 5350 | 89,17 | 456* | 539* |
| 993 | 1016 | 998 | 1016 | 866 | 553 | 386 | 10 | 5360 | 89,34 | 460* | 543* |
| 993 | 1016 | 998 | 1017 | 863 | 555 | 388 | 10 | 5370 | 89,50 | 462* | 545* |
| 993 | 1016 | 998 | 1017 | 884 | 560 | 390 | 10 | 5380 | 89,67 | 465* | 550* |
| 993 | 1017 | 998 | 1016 | 874 | 562 | 392 | 10 | 5390 | 89,84 | 467* | 552* |
| 994 | 1018 | 999 | 1019 | 852 | 562 | 394 | 10 | 5400 | 90,00 | 468* | 552* |

| | |
|-------|---|
| * ... | Ermittlung des maximalen und mittleren Temperaturanstiegs unter Ausschluss der Messwerte aus Channel 205 (Bauteil kurz) |
|-------|---|

Anhang 26: Auszug aus der Daten_log-Datei von VV1-b mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist,

7.4.2 Vorversuchsreihe 2 (VV2)

7.4.2.1 Vorversuchsreihe VV2-a



Anhang 27: Temperaturverlaufdiagramm VV2-a, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mitte | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 14 | 15 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 10 | 0 | 0,00 | 3 | 3 |
| 74 | 78 | 79 | 83 | 13 | 13 | 13 | 10 | 10 | 0,17 | 3 | 3 |
| 131 | 146 | 138 | 154 | 13 | 13 | 14 | 10 | 20 | 0,34 | 3 | 4 |
| 172 | 194 | 181 | 207 | 13 | 13 | 13 | 10 | 30 | 0,50 | 3 | 3 |
| 214 | 241 | 221 | 253 | 13 | 13 | 13 | 10 | 40 | 0,67 | 3 | 3 |
| 254 | 281 | 262 | 295 | 13 | 13 | 13 | 10 | 50 | 0,84 | 3 | 3 |
| 303 | 332 | 314 | 347 | 13 | 14 | 13 | 10 | 60 | 1,00 | 3 | 4 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 668 | 685 | 671 | 691 | 38 | 84 | 80 | 11 | 580 | 9,67 | 56 | 73 |
| 672 | 689 | 676 | 696 | 39 | 85 | 83 | 11 | 590 | 9,84 | 58 | 74 |
| 675 | 691 | 682 | 702 | 41 | 86 | 84 | 10 | 600 | 10,00 | 60 | 75 |
| 679 | 696 | 684 | 705 | 43 | 87 | 87 | 10 | 610 | 10,17 | 62 | 77 |
| 679 | 695 | 685 | 705 | 44 | 87 | 88 | 10 | 620 | 10,34 | 63 | 78 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

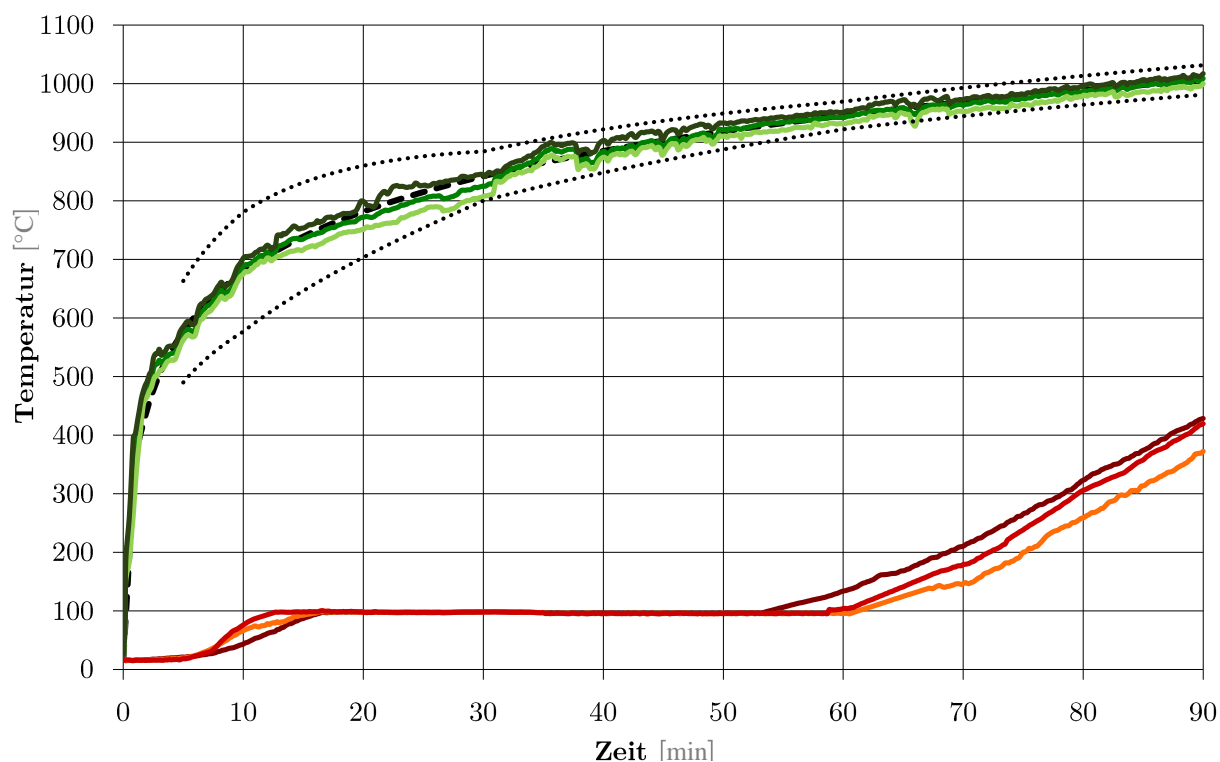
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 775 | 795 | 771 | 793 | 95 | 95 | 95 | 11 | 1180 | 19,67 | 84 | 85 |
| 779 | 798 | 778 | 799 | 96 | 95 | 95 | 11 | 1190 | 19,84 | 85 | 85 |
| 778 | 796 | 779 | 799 | 95 | 95 | 95 | 11 | 1200 | 20,00 | 84 | 85 |
| 776 | 794 | 775 | 796 | 95 | 95 | 95 | 11 | 1210 | 20,17 | 84 | 84 |
| 775 | 793 | 771 | 792 | 95 | 95 | 95 | 11 | 1220 | 20,34 | 84 | 84 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 828 | 846 | 825 | 845 | 95 | 95 | 95 | 11 | 1780 | 29,67 | 84 | 85 |
| 830 | 848 | 826 | 845 | 96 | 95 | 95 | 11 | 1790 | 29,84 | 84 | 85 |
| 831 | 849 | 826 | 844 | 96 | 96 | 96 | 11 | 1800 | 30,00 | 85 | 85 |
| 828 | 846 | 824 | 841 | 95 | 96 | 95 | 11 | 1810 | 30,17 | 84 | 85 |
| 831 | 848 | 828 | 846 | 96 | 96 | 96 | 11 | 1820 | 30,34 | 85 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 886 | 902 | 879 | 897 | 98 | 99 | 98 | 11 | 2380 | 39,67 | 88 | 88 |
| 886 | 901 | 878 | 896 | 98 | 98 | 99 | 11 | 2390 | 39,84 | 88 | 88 |
| 886 | 902 | 880 | 897 | 96 | 96 | 96 | 10 | 2400 | 40,00 | 85 | 86 |
| 887 | 904 | 883 | 901 | 95 | 96 | 95 | 11 | 2410 | 40,17 | 85 | 85 |
| 888 | 905 | 885 | 903 | 96 | 96 | 96 | 11 | 2420 | 40,34 | 85 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 918 | 933 | 911 | 929 | 98 | 99 | 98 | 11 | 2980 | 49,67 | 88 | 88 |
| 918 | 933 | 910 | 929 | 98 | 98 | 99 | 11 | 2990 | 49,84 | 88 | 88 |
| 917 | 933 | 910 | 928 | 99 | 98 | 99 | 11 | 3000 | 50,00 | 88 | 88 |
| 916 | 933 | 911 | 929 | 99 | 98 | 99 | 11 | 3010 | 50,17 | 88 | 88 |
| 916 | 931 | 908 | 926 | 99 | 98 | 99 | 11 | 3020 | 50,34 | 88 | 88 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 938 | 951 | 932 | 948 | 98 | 134 | 100 | 11 | 3580 | 59,67 | 100 | 123 |
| 938 | 951 | 931 | 948 | 98 | 136 | 100 | 11 | 3590 | 59,84 | 100 | 125 |
| 937 | 951 | 932 | 948 | 99 | 137 | 101 | 11 | 3600 | 60,00 | 101 | 126 |
| 938 | 952 | 931 | 948 | 98 | 139 | 102 | 11 | 3610 | 60,17 | 102 | 127 |
| 940 | 954 | 933 | 950 | 98 | 140 | 102 | 11 | 3620 | 60,34 | 102 | 129 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 948 | 958 | 944 | 958 | 103 | 196 | 145 | 11 | 3920 | 65,34 | 137 | 185 |
| 949 | 961 | 944 | 960 | 103 | 198 | 147 | 11 | 3930 | 65,50 | 138 | 187 |
| 950 | 963 | 943 | 960 | 104 | 200 | 150 | 11 | 3940 | 65,67 | 140 | 189 |
| 952 | 965 | 946 | 965 | 105 | 201 | 154 | 11 | 3950 | 65,84 | 142 | 190 |
| 951 | 964 | 945 | 964 | 106 | 203 | 155 | 11 | 3960 | 66,00 | 143 | 192 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 962 | 972 | 953 | 970 | 123 | 254 | 174 | 11 | 4180 | 69,67 | 173 | 243 |
| 960 | 973 | 953 | 970 | 124 | 258 | 175 | 11 | 4190 | 69,84 | 174 | 247 |
| 959 | 972 | 952 | 968 | 124 | 259 | 176 | 11 | 4200 | 70,00 | 175 | 248 |
| 961 | 974 | 953 | 970 | 126 | 263 | 177 | 11 | 4210 | 70,17 | 177 | 252 |
| 961 | 974 | 952 | 971 | 127 | 264 | 177 | 11 | 4220 | 70,34 | 178 | 253 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 965 | 977 | 957 | 975 | 128 | 276 | 184 | 11 | 4260 | 71,00 | 185 | 265 |
| 963 | 977 | 957 | 974 | 130 | 279 | 186 | 11 | 4270 | 71,17 | 187 | 268 |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 963 | 975 | 956 | 973 | 132 | 281 | 188 | 11 | 4280 | 71,34 | 190 | 270 |
| 963 | 976 | 956 | 973 | 135 | 283 | 189 | 11 | 4290 | 71,50 | 192 | 272 |
| 965 | 978 | 958 | 975 | 137 | 285 | 192 | 11 | 4300 | 71,67 | 194 | 274 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 976 | 986 | 965 | 984 | 190 | 340 | 238 | 11 | 4550 | 75,84 | 245 | 329 |
| 977 | 988 | 968 | 986 | 193 | 343 | 240 | 11 | 4560 | 76,00 | 247 | 332 |
| 975 | 987 | 967 | 985 | 195 | 345 | 243 | 11 | 4570 | 76,17 | 250 | 334 |
| 975 | 986 | 967 | 984 | 197 | 347 | 245 | 11 | 4580 | 76,34 | 252 | 335 |
| 976 | 988 | 969 | 987 | 198 | 348 | 248 | 11 | 4590 | 76,50 | 253 | 337 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 980 | 990 | 973 | 988 | 235 | 389 | 284 | 11 | 4780 | 79,67 | 292 | 378 |
| 977 | 986 | 973 | 985 | 237 | 391 | 286 | 11 | 4790 | 79,84 | 294 | 380 |
| 982 | 992 | 976 | 991 | 239 | 394 | 289 | 11 | 4800 | 80,00 | 296 | 383 |
| 982 | 992 | 976 | 991 | 241 | 396 | 290 | 11 | 4810 | 80,17 | 298 | 385 |
| 980 | 992 | 974 | 990 | 242 | 399 | 292 | 11 | 4820 | 80,34 | 300 | 388 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1003 | 1013 | 995 | 1015 | 343 | 505 | 390 | 11 | 5350 | 89,17 | 401 | 494 |
| 1003 | 1014 | 995 | 1014 | 344 | 506 | 392 | 11 | 5360 | 89,34 | 403 | 495 |
| 1004 | 1013 | 995 | 1013 | 347 | 509 | 393 | 11 | 5370 | 89,50 | 405 | 498 |
| 1001 | 1012 | 995 | 1011 | 349 | 510 | 395 | 11 | 5380 | 89,67 | 407 | 499 |
| 1002 | 1014 | 996 | 1013 | 351 | 512 | 396 | 11 | 5390 | 89,84 | 408 | 501 |
| 1003 | 1015 | 1000 | 1017 | 352 | 513 | 399 | 11 | 5400 | 90,00 | 410 | 502 |

Anhang 28: Auszug aus der Daten_log-Datei von VV2-a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.4.2.2 Vorversuchsreihe VV2-b



Anhang 29: Temperaturverlaufdiagramm VV2-b, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mitte | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 20 | 22 | 19 | 22 | 15 | 15 | 15 | 13 | 0 | 0,00 | 3 | 3 |
| 78 | 82 | 82 | 85 | 16 | 16 | 16 | 13 | 10 | 0,17 | 3 | 3 |
| 184 | 158 | 150 | 166 | 15 | 15 | 16 | 13 | 20 | 0,34 | 2 | 3 |
| 260 | 184 | 206 | 193 | 15 | 16 | 16 | 13 | 30 | 0,50 | 2 | 3 |
| 326 | 226 | 253 | 233 | 15 | 15 | 15 | 13 | 40 | 0,67 | 2 | 2 |
| 396 | 266 | 293 | 274 | 15 | 15 | 15 | 12 | 50 | 0,84 | 4 | 4 |
| 402 | 315 | 344 | 326 | 16 | 16 | 15 | 12 | 60 | 1,00 | 4 | 4 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 668 | 685 | 671 | 691 | 41 | 63 | 71 | 12 | 580 | 9,67 | 47 | 59 |
| 672 | 689 | 676 | 696 | 42 | 64 | 74 | 12 | 590 | 9,84 | 48 | 61 |
| 675 | 691 | 682 | 702 | 43 | 66 | 76 | 12 | 600 | 10,00 | 50 | 64 |
| 679 | 696 | 684 | 705 | 45 | 68 | 78 | 12 | 610 | 10,17 | 52 | 66 |
| 679 | 695 | 685 | 705 | 46 | 69 | 80 | 12 | 620 | 10,34 | 54 | 69 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 752 | 782 | 749 | 793 | 98 | 98 | 98 | 12 | 1180 | 19,67 | 86 | 86 |
| 751 | 784 | 750 | 799 | 98 | 98 | 98 | 12 | 1190 | 19,84 | 86 | 86 |
| 753 | 785 | 751 | 799 | 98 | 98 | 97 | 12 | 1200 | 20,00 | 86 | 86 |
| 755 | 786 | 754 | 796 | 97 | 97 | 97 | 12 | 1210 | 20,17 | 85 | 85 |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 757 | 787 | 756 | 792 | 98 | 97 | 97 | 12 | 1220 | 20,34 | 85 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 807 | 836 | 805 | 845 | 98 | 98 | 98 | 13 | 1780 | 29,67 | 85 | 85 |
| 808 | 838 | 806 | 845 | 98 | 98 | 98 | 12 | 1790 | 29,84 | 86 | 86 |
| 809 | 839 | 807 | 844 | 98 | 98 | 98 | 12 | 1800 | 30,00 | 86 | 86 |
| 810 | 839 | 808 | 841 | 98 | 98 | 98 | 13 | 1810 | 30,17 | 85 | 85 |
| 811 | 840 | 809 | 846 | 98 | 98 | 98 | 12 | 1820 | 30,34 | 86 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 877 | 899 | 870 | 873 | 96 | 95 | 95 | 13 | 2380 | 39,67 | 83 | 83 |
| 879 | 902 | 873 | 877 | 96 | 95 | 95 | 12 | 2390 | 39,84 | 83 | 84 |
| 882 | 903 | 874 | 878 | 96 | 96 | 96 | 12 | 2400 | 40,00 | 83 | 84 |
| 880 | 901 | 872 | 876 | 96 | 95 | 95 | 13 | 2410 | 40,17 | 82 | 83 |
| 876 | 896 | 868 | 872 | 95 | 96 | 96 | 13 | 2420 | 40,34 | 83 | 83 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 914 | 933 | 911 | 929 | 96 | 95 | 95 | 13 | 2980 | 49,67 | 83 | 83 |
| 914 | 933 | 910 | 929 | 96 | 96 | 95 | 13 | 2990 | 49,84 | 83 | 83 |
| 913 | 933 | 910 | 928 | 95 | 96 | 95 | 13 | 3000 | 50,00 | 83 | 83 |
| 915 | 933 | 911 | 929 | 95 | 96 | 96 | 13 | 3010 | 50,17 | 83 | 83 |
| 915 | 931 | 908 | 926 | 96 | 95 | 95 | 12 | 3020 | 50,34 | 83 | 84 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 938 | 951 | 932 | 948 | 131 | 96 | 102 | 13 | 3580 | 59,67 | 97 | 119 |
| 938 | 951 | 931 | 948 | 133 | 95 | 103 | 12 | 3590 | 59,84 | 98 | 120 |
| 937 | 951 | 932 | 948 | 134 | 96 | 104 | 13 | 3600 | 60,00 | 98 | 120 |
| 938 | 952 | 931 | 948 | 134 | 96 | 104 | 13 | 3610 | 60,17 | 98 | 121 |
| 940 | 954 | 933 | 950 | 135 | 96 | 104 | 13 | 3620 | 60,34 | 98 | 122 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 950 | 955 | 937 | 960 | 174 | 129 | 147 | 13 | 3940 | 65,67 | 137 | 161 |
| 952 | 949 | 931 | 965 | 176 | 130 | 149 | 13 | 3950 | 65,84 | 139 | 163 |
| 951 | 945 | 927 | 964 | 177 | 131 | 150 | 13 | 3960 | 66,00 | 140 | 165 |
| 949 | 957 | 937 | 959 | 178 | 132 | 151 | 13 | 3970 | 66,17 | 141 | 165 |
| 950 | 963 | 943 | 959 | 180 | 133 | 152 | 12 | 3980 | 66,34 | 143 | 168 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 962 | 972 | 953 | 970 | 209 | 146 | 177 | 13 | 4180 | 69,67 | 164 | 196 |
| 960 | 973 | 953 | 970 | 209 | 145 | 177 | 13 | 4190 | 69,84 | 164 | 197 |
| 959 | 972 | 952 | 968 | 210 | 146 | 179 | 13 | 4200 | 70,00 | 165 | 197 |
| 961 | 974 | 953 | 970 | 212 | 148 | 179 | 13 | 4210 | 70,17 | 167 | 199 |
| 961 | 974 | 952 | 971 | 215 | 147 | 180 | 13 | 4220 | 70,34 | 168 | 202 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 975 | 986 | 967 | 984 | 281 | 214 | 255 | 14 | 4580 | 76,34 | 237 | 267 |
| 976 | 988 | 969 | 987 | 281 | 217 | 258 | 13 | 4590 | 76,50 | 239 | 268 |
| 977 | 988 | 968 | 986 | 282 | 221 | 260 | 13 | 4600 | 76,67 | 241 | 269 |
| 977 | 988 | 968 | 985 | 284 | 225 | 262 | 13 | 4610 | 76,84 | 244 | 271 |
| 976 | 989 | 968 | 986 | 287 | 228 | 265 | 13 | 4620 | 77,00 | 247 | 274 |
| 978 | 991 | 970 | 988 | 288 | 231 | 267 | 13 | 4630 | 77,17 | 249 | 275 |

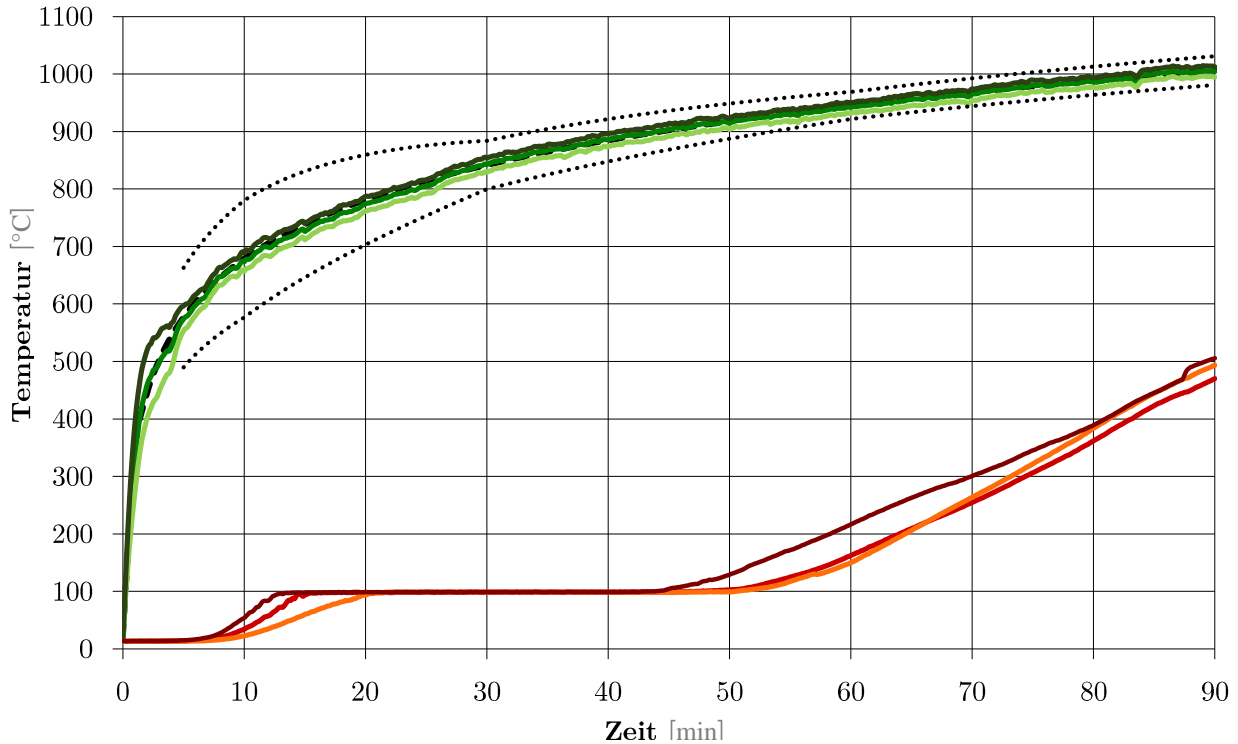
7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 978 | 991 | 969 | 988 | 289 | 233 | 269 | 13 | 4640 | 77,34 | 250 | 275 |
| 979 | 991 | 970 | 989 | 290 | 235 | 272 | 13 | 4650 | 77,50 | 252 | 276 |
| 979 | 991 | 971 | 990 | 292 | 236 | 275 | 13 | 4660 | 77,67 | 254 | 279 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 980 | 994 | 978 | 988 | 318 | 255 | 300 | 13 | 4780 | 79,67 | 278 | 305 |
| 977 | 995 | 979 | 985 | 321 | 258 | 303 | 12 | 4790 | 79,84 | 282 | 309 |
| 982 | 995 | 980 | 991 | 323 | 259 | 304 | 13 | 4800 | 80,00 | 283 | 310 |
| 982 | 998 | 980 | 991 | 324 | 260 | 306 | 13 | 4810 | 80,17 | 284 | 311 |
| 980 | 998 | 978 | 990 | 327 | 263 | 307 | 13 | 4820 | 80,34 | 287 | 315 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1003 | 1013 | 995 | 1015 | 419 | 362 | 408 | 13 | 5350 | 89,17 | 384 | 406 |
| 1003 | 1014 | 995 | 1014 | 422 | 368 | 411 | 13 | 5360 | 89,34 | 388 | 409 |
| 1004 | 1013 | 995 | 1013 | 424 | 368 | 413 | 13 | 5370 | 89,50 | 389 | 411 |
| 1001 | 1012 | 995 | 1011 | 426 | 369 | 416 | 13 | 5380 | 89,67 | 391 | 413 |
| 1002 | 1014 | 996 | 1013 | 427 | 369 | 418 | 13 | 5390 | 89,84 | 392 | 414 |
| 1003 | 1015 | 1000 | 1017 | 428 | 372 | 419 | 13 | 5400 | 90,00 | 394 | 415 |

Anhang 30: Auszug aus der Daten_log-Datei von VV2-b mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.4.3 Vorversuchsreihe 3 (VV3)

7.4.3.1 Vorversuchsreihe VV3-a



Anhang 31: Temperaturverlaufdiagramm VV3-a, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mitte | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 14 | 14 | 13 | 12 | 13 | 13 | 14 | 13 | 0 | 0,00 | 0 | 1 |
| 72 | 77 | 90 | 92 | 13 | 13 | 13 | 13 | 10 | 0,17 | 0 | 0 |
| 123 | 137 | 162 | 172 | 13 | 13 | 13 | 13 | 20 | 0,34 | 0 | 0 |
| 167 | 188 | 218 | 240 | 13 | 13 | 13 | 13 | 30 | 0,50 | 0 | 0 |
| 207 | 231 | 270 | 300 | 13 | 13 | 14 | 13 | 40 | 0,67 | 0 | 0 |
| 241 | 269 | 319 | 351 | 13 | 13 | 14 | 13 | 50 | 0,84 | 0 | 0 |
| 274 | 303 | 358 | 393 | 14 | 13 | 14 | 13 | 60 | 1,00 | 0 | 1 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 655 | 671 | 669 | 686 | 31 | 21 | 50 | 13 | 580 | 9,67 | 21 | 37 |
| 659 | 676 | 673 | 691 | 33 | 22 | 52 | 13 | 590 | 9,84 | 23 | 39 |
| 657 | 674 | 673 | 690 | 34 | 23 | 54 | 13 | 600 | 10,00 | 24 | 41 |
| 662 | 678 | 676 | 694 | 36 | 24 | 57 | 13 | 610 | 10,17 | 26 | 44 |
| 662 | 679 | 676 | 693 | 38 | 25 | 61 | 13 | 620 | 10,34 | 28 | 48 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 757 | 773 | 767 | 783 | 98 | 92 | 98 | 13 | 1180 | 19,67 | 83 | 85 |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

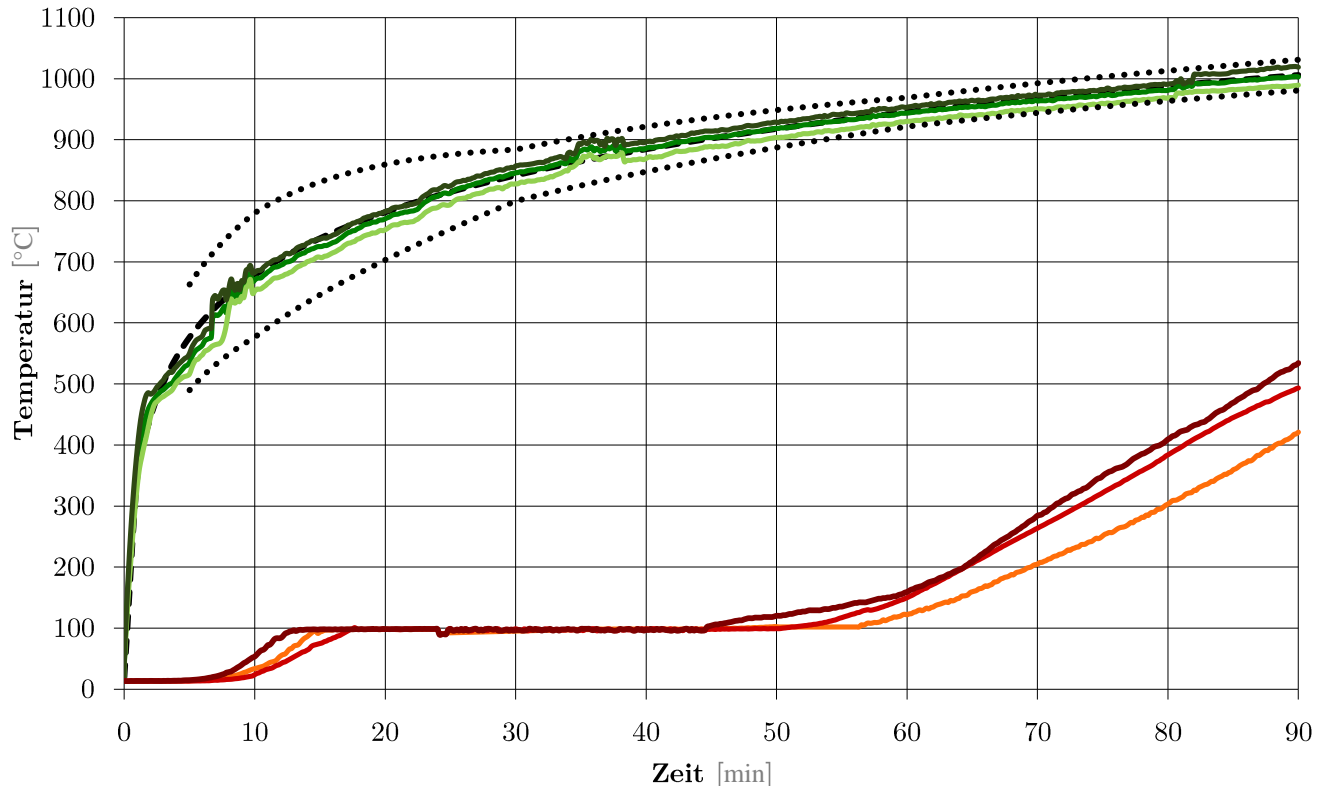
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 760 | 776 | 769 | 785 | 98 | 93 | 98 | 13 | 1190 | 19,84 | 84 | 85 |
| 762 | 778 | 771 | 787 | 98 | 94 | 99 | 13 | 1200 | 20,00 | 84 | 86 |
| 762 | 779 | 772 | 787 | 98 | 95 | 99 | 13 | 1210 | 20,17 | 84 | 86 |
| 764 | 780 | 772 | 787 | 98 | 96 | 99 | 13 | 1220 | 20,34 | 85 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 828 | 844 | 841 | 853 | 99 | 99 | 99 | 13 | 1780 | 29,67 | 86 | 86 |
| 830 | 847 | 843 | 855 | 99 | 99 | 99 | 13 | 1790 | 29,84 | 86 | 86 |
| 829 | 845 | 841 | 854 | 99 | 99 | 99 | 13 | 1800 | 30,00 | 86 | 86 |
| 831 | 848 | 843 | 855 | 99 | 99 | 99 | 13 | 1810 | 30,17 | 86 | 86 |
| 832 | 849 | 845 | 856 | 99 | 99 | 99 | 13 | 1820 | 30,34 | 86 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 875 | 891 | 885 | 896 | 99 | 98 | 99 | 13 | 2380 | 39,67 | 86 | 86 |
| 873 | 889 | 885 | 896 | 99 | 98 | 99 | 13 | 2390 | 39,84 | 86 | 86 |
| 874 | 889 | 885 | 896 | 99 | 99 | 99 | 13 | 2400 | 40,00 | 86 | 86 |
| 875 | 890 | 886 | 897 | 99 | 98 | 99 | 13 | 2410 | 40,17 | 86 | 86 |
| 876 | 892 | 886 | 897 | 99 | 99 | 99 | 13 | 2420 | 40,34 | 86 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 906 | 921 | 915 | 925 | 102 | 99 | 127 | 13 | 2980 | 49,67 | 96 | 114 |
| 906 | 921 | 913 | 924 | 103 | 99 | 128 | 13 | 2990 | 49,84 | 97 | 115 |
| 904 | 919 | 912 | 923 | 102 | 99 | 129 | 13 | 3000 | 50,00 | 97 | 116 |
| 906 | 921 | 913 | 925 | 103 | 99 | 131 | 13 | 3010 | 50,17 | 98 | 118 |
| 906 | 921 | 915 | 926 | 103 | 100 | 132 | 13 | 3020 | 50,34 | 98 | 119 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 929 | 944 | 936 | 948 | 147 | 137 | 200 | 13 | 3500 | 58,34 | 148 | 187 |
| 928 | 943 | 937 | 948 | 149 | 138 | 202 | 13 | 3510 | 58,50 | 150 | 189 |
| 927 | 942 | 937 | 948 | 150 | 139 | 204 | 13 | 3520 | 58,67 | 151 | 191 |
| 930 | 944 | 939 | 951 | 152 | 140 | 206 | 13 | 3530 | 58,84 | 153 | 193 |
| 930 | 945 | 938 | 949 | 153 | 142 | 207 | 13 | 3540 | 59,00 | 154 | 194 |
| 930 | 945 | 938 | 949 | 155 | 143 | 209 | 13 | 3550 | 59,17 | 156 | 196 |
| 930 | 945 | 938 | 949 | 156 | 144 | 210 | 13 | 3560 | 59,34 | 157 | 197 |
| 930 | 945 | 939 | 949 | 158 | 146 | 212 | 13 | 3570 | 59,50 | 159 | 199 |
| 932 | 947 | 940 | 951 | 160 | 147 | 213 | 13 | 3580 | 59,67 | 160 | 200 |
| 932 | 947 | 940 | 950 | 161 | 148 | 215 | 13 | 3590 | 59,84 | 162 | 202 |
| 932 | 948 | 939 | 950 | 162 | 150 | 217 | 13 | 3600 | 60,00 | 163 | 204 |
| 933 | 949 | 939 | 950 | 164 | 152 | 218 | 13 | 3610 | 60,17 | 165 | 205 |
| 933 | 948 | 940 | 951 | 166 | 153 | 220 | 13 | 3620 | 60,34 | 167 | 207 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 950 | 965 | 958 | 969 | 230 | 234 | 281 | 14 | 4040 | 67,34 | 234 | 267 |
| 950 | 966 | 958 | 968 | 232 | 236 | 283 | 14 | 4050 | 67,50 | 236 | 269 |
| 950 | 965 | 957 | 968 | 233 | 238 | 284 | 14 | 4060 | 67,67 | 237 | 270 |
| 952 | 967 | 959 | 971 | 235 | 240 | 285 | 14 | 4070 | 67,84 | 239 | 271 |
| 951 | 966 | 959 | 970 | 236 | 241 | 286 | 14 | 4080 | 68,00 | 241 | 272 |
| 951 | 967 | 959 | 970 | 238 | 243 | 287 | 14 | 4090 | 68,17 | 242 | 273 |
| 952 | 969 | 960 | 971 | 239 | 245 | 288 | 14 | 4100 | 68,34 | 243 | 274 |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 951 | 966 | 959 | 971 | 240 | 247 | 289 | 14 | 4110 | 68,50 | 245 | 275 |
| 952 | 967 | 959 | 971 | 242 | 249 | 290 | 14 | 4120 | 68,67 | 246 | 276 |
| 953 | 968 | 960 | 972 | 244 | 251 | 291 | 14 | 4130 | 68,84 | 248 | 277 |
| 951 | 967 | 961 | 971 | 245 | 253 | 293 | 14 | 4140 | 69,00 | 250 | 279 |
| 951 | 967 | 961 | 972 | 247 | 255 | 294 | 14 | 4150 | 69,17 | 251 | 280 |
| 951 | 967 | 961 | 971 | 248 | 256 | 295 | 14 | 4160 | 69,34 | 253 | 281 |
| 950 | 965 | 961 | 971 | 250 | 258 | 297 | 14 | 4170 | 69,50 | 254 | 283 |
| 948 | 963 | 960 | 969 | 252 | 260 | 298 | 14 | 4180 | 69,67 | 256 | 284 |
| 951 | 965 | 961 | 972 | 253 | 262 | 299 | 14 | 4190 | 69,84 | 257 | 285 |
| 954 | 970 | 963 | 974 | 255 | 264 | 301 | 14 | 4200 | 70,00 | 259 | 287 |
| 954 | 970 | 963 | 974 | 256 | 266 | 302 | 14 | 4210 | 70,17 | 261 | 288 |
| 955 | 970 | 964 | 975 | 258 | 268 | 304 | 14 | 4220 | 70,34 | 262 | 290 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 977 | 992 | 984 | 995 | 358 | 379 | 386 | 14 | 4780 | 79,67 | 360 | 372 |
| 977 | 992 | 983 | 994 | 360 | 382 | 387 | 14 | 4790 | 79,84 | 362 | 373 |
| 977 | 992 | 982 | 994 | 362 | 384 | 389 | 14 | 4800 | 80,00 | 364 | 375 |
| 976 | 991 | 982 | 994 | 364 | 386 | 391 | 14 | 4810 | 80,17 | 366 | 377 |
| 976 | 991 | 983 | 994 | 366 | 388 | 393 | 14 | 4820 | 80,34 | 368 | 379 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 996 | 1011 | 1002 | 1014 | 462 | 486 | 500 | 14 | 5350 | 89,17 | 468 | 486 |
| 995 | 1010 | 1002 | 1014 | 463 | 487 | 501 | 14 | 5360 | 89,34 | 470 | 487 |
| 996 | 1011 | 1002 | 1014 | 465 | 489 | 502 | 14 | 5370 | 89,50 | 471 | 488 |
| 996 | 1011 | 1002 | 1014 | 467 | 490 | 504 | 14 | 5380 | 89,67 | 473 | 490 |
| 995 | 1011 | 1002 | 1014 | 469 | 492 | 504 | 14 | 5390 | 89,84 | 474 | 490 |
| 995 | 1010 | 1001 | 1013 | 470 | 493 | 506 | 14 | 5400 | 90,00 | 476 | 492 |

Anhang 32: Auszug aus der Daten_log-Datei von VV3-a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.4.3.2 Vorversuchsreihe VV3-b



Anhang 33: Temperaturverlaufdiagramm VV3-b, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mitte | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 18 | 19 | 18 | 19 | 17 | 16 | 16 | 14 | 0 | 0,00 | 2 | 3 |
| 40 | 43 | 42 | 44 | 17 | 16 | 16 | 14 | 10 | 0,17 | 2 | 3 |
| 105 | 127 | 106 | 127 | 17 | 16 | 16 | 14 | 20 | 0,34 | 3 | 3 |
| 164 | 199 | 163 | 194 | 17 | 16 | 16 | 14 | 30 | 0,50 | 3 | 3 |
| 215 | 260 | 210 | 254 | 18 | 17 | 17 | 14 | 40 | 0,67 | 3 | 4 |
| 263 | 311 | 256 | 304 | 18 | 17 | 17 | 14 | 50 | 0,84 | 3 | 4 |
| 302 | 356 | 298 | 346 | 18 | 17 | 17 | 14 | 60 | 1,00 | 3 | 4 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 670 | 687 | 671 | 698 | 21 | 31 | 50 | 14 | 580 | 9,67 | 21 | 36 |
| 649 | 676 | 664 | 682 | 22 | 33 | 52 | 14 | 590 | 9,84 | 22 | 38 |
| 652 | 679 | 667 | 683 | 24 | 34 | 54 | 14 | 600 | 10,00 | 24 | 40 |
| 655 | 682 | 670 | 685 | 26 | 36 | 57 | 14 | 610 | 10,17 | 26 | 43 |
| 655 | 682 | 670 | 686 | 27 | 38 | 61 | 14 | 620 | 10,34 | 28 | 47 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 750 | 778 | 764 | 779 | 98 | 98 | 98 | 15 | 1180 | 19,67 | 83 | 84 |
| 752 | 779 | 764 | 779 | 98 | 98 | 98 | 15 | 1190 | 19,84 | 83 | 84 |
| 751 | 778 | 765 | 781 | 98 | 98 | 99 | 15 | 1200 | 20,00 | 84 | 84 |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 753 | 780 | 767 | 783 | 98 | 98 | 99 | 15 | 1210 | 20,17 | 84 | 84 |
| 755 | 783 | 768 | 783 | 98 | 98 | 99 | 15 | 1220 | 20,34 | 84 | 84 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 826 | 853 | 839 | 853 | 95 | 99 | 98 | 15 | 1780 | 29,67 | 84 | 86 |
| 828 | 855 | 841 | 855 | 95 | 98 | 97 | 14 | 1790 | 29,84 | 84 | 85 |
| 827 | 854 | 842 | 854 | 95 | 98 | 97 | 14 | 1800 | 30,00 | 84 | 85 |
| 828 | 855 | 844 | 857 | 95 | 97 | 98 | 15 | 1810 | 30,17 | 84 | 85 |
| 828 | 854 | 844 | 858 | 95 | 97 | 96 | 14 | 1820 | 30,34 | 83 | 84 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 868 | 894 | 882 | 896 | 99 | 99 | 96 | 14 | 2380 | 39,67 | 85 | 86 |
| 868 | 893 | 882 | 895 | 99 | 96 | 98 | 14 | 2390 | 39,84 | 85 | 86 |
| 869 | 895 | 883 | 897 | 99 | 97 | 96 | 14 | 2400 | 40,00 | 84 | 86 |
| 871 | 897 | 884 | 897 | 98 | 99 | 99 | 14 | 2410 | 40,17 | 86 | 86 |
| 872 | 897 | 884 | 898 | 98 | 97 | 96 | 14 | 2420 | 40,34 | 84 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 903 | 926 | 914 | 928 | 102 | 99 | 122 | 14 | 2980 | 49,67 | 95 | 109 |
| 903 | 927 | 915 | 929 | 103 | 99 | 122 | 14 | 2990 | 49,84 | 95 | 109 |
| 904 | 927 | 916 | 929 | 102 | 99 | 122 | 14 | 3000 | 50,00 | 95 | 109 |
| 903 | 927 | 915 | 928 | 102 | 99 | 123 | 14 | 3010 | 50,17 | 95 | 110 |
| 904 | 928 | 916 | 930 | 102 | 100 | 124 | 14 | 3020 | 50,34 | 96 | 111 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 929 | 952 | 938 | 954 | 122 | 147 | 152 | 14 | 3580 | 59,67 | 127 | 139 |
| 930 | 952 | 939 | 953 | 121 | 148 | 154 | 14 | 3590 | 59,84 | 128 | 141 |
| 930 | 953 | 938 | 953 | 122 | 150 | 155 | 14 | 3600 | 60,00 | 129 | 142 |
| 930 | 953 | 939 | 954 | 123 | 152 | 157 | 13 | 3610 | 60,17 | 131 | 144 |
| 930 | 953 | 940 | 954 | 125 | 153 | 159 | 14 | 3620 | 60,34 | 133 | 146 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 950 | 972 | 957 | 972 | 202 | 260 | 276 | 14 | 4180 | 69,67 | 232 | 262 |
| 951 | 973 | 960 | 974 | 204 | 262 | 278 | 14 | 4190 | 69,84 | 234 | 264 |
| 950 | 972 | 958 | 973 | 205 | 264 | 280 | 14 | 4200 | 70,00 | 236 | 266 |
| 951 | 973 | 959 | 973 | 207 | 266 | 281 | 14 | 4210 | 70,17 | 237 | 267 |
| 951 | 973 | 959 | 973 | 208 | 268 | 282 | 14 | 4220 | 70,34 | 239 | 268 |
| 950 | 973 | 960 | 973 | 212 | 269 | 284 | 14 | 4230 | 70,50 | 241 | 270 |
| 950 | 973 | 960 | 973 | 212 | 271 | 286 | 14 | 4240 | 70,67 | 242 | 272 |
| 951 | 973 | 960 | 975 | 214 | 273 | 289 | 14 | 4250 | 70,84 | 245 | 275 |
| 951 | 973 | 960 | 974 | 214 | 275 | 292 | 14 | 4260 | 71,00 | 246 | 278 |
| 951 | 973 | 958 | 973 | 217 | 277 | 293 | 14 | 4270 | 71,17 | 249 | 279 |
| 952 | 974 | 959 | 975 | 218 | 279 | 295 | 14 | 4280 | 71,34 | 250 | 281 |
| 953 | 976 | 962 | 977 | 221 | 280 | 298 | 14 | 4290 | 71,50 | 252 | 284 |
| 954 | 977 | 962 | 976 | 221 | 282 | 299 | 14 | 4300 | 71,67 | 254 | 285 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 969 | 991 | 974 | 988 | 299 | 379 | 401 | 14 | 4780 | 79,67 | 346 | 387 |
| 968 | 991 | 974 | 989 | 300 | 382 | 403 | 14 | 4790 | 79,84 | 348 | 389 |
| 968 | 991 | 974 | 990 | 304 | 384 | 406 | 14 | 4800 | 80,00 | 351 | 392 |

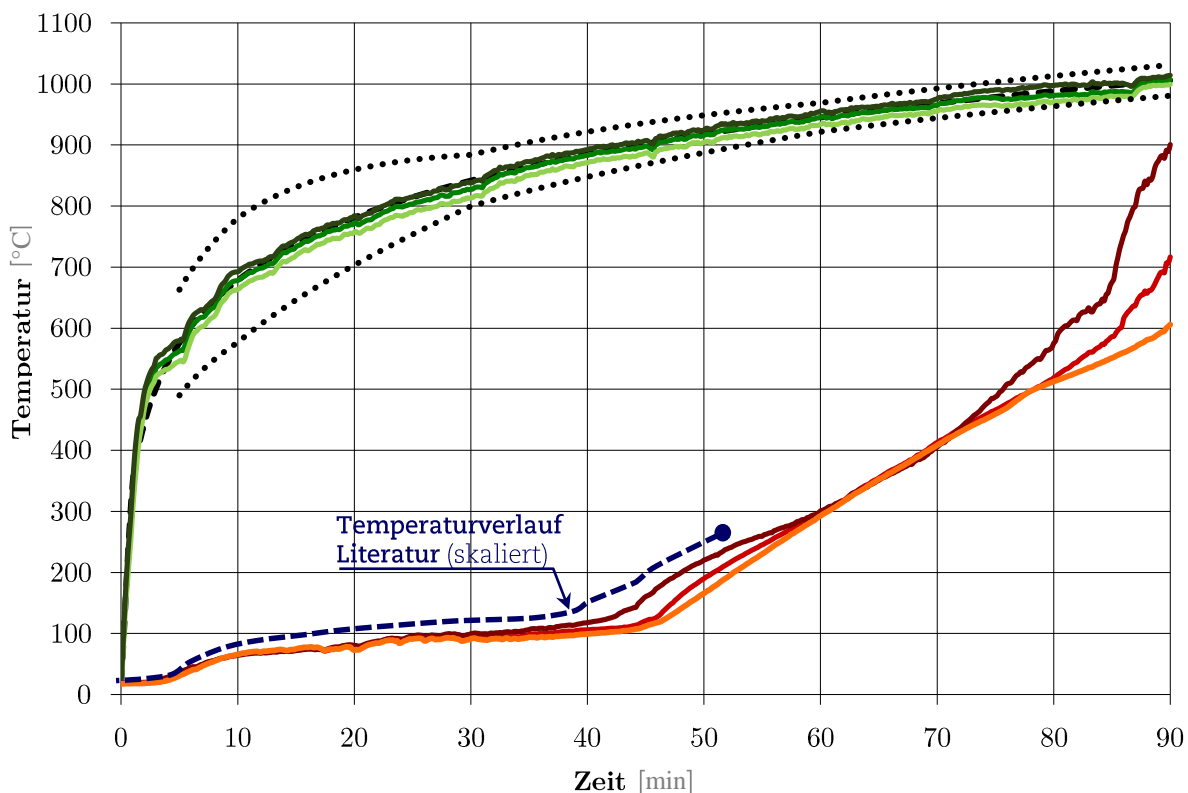
7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 969 | 992 | 976 | 991 | 305 | 386 | 408 | 14 | 4810 | 80,17 | 352 | 394 |
| 969 | 991 | 976 | 992 | 309 | 388 | 409 | 14 | 4820 | 80,34 | 355 | 395 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 987 | 1018 | 991 | 1012 | 410 | 486 | 521 | 15 | 5350 | 89,17 | 458 | 507 |
| 988 | 1019 | 991 | 1012 | 411 | 487 | 522 | 15 | 5360 | 89,34 | 460 | 508 |
| 988 | 1020 | 992 | 1013 | 413 | 489 | 523 | 15 | 5370 | 89,50 | 461 | 509 |
| 989 | 1020 | 992 | 1013 | 415 | 490 | 526 | 15 | 5380 | 89,67 | 463 | 512 |
| 989 | 1020 | 992 | 1013 | 419 | 492 | 528 | 15 | 5390 | 89,84 | 466 | 514 |
| 990 | 1019 | 992 | 1011 | 420 | 493 | 531 | 15 | 5400 | 90,00 | 468 | 517 |

Anhang 34: Auszug aus der Daten_log-Datei von VV3-b mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.4.4 Vorversuchsreihe 4 (RV)

7.4.4.1 Vorversuchsreihe RV-a



Anhang 35: Temperaturverlaufdiagramm aus RV-a (Referenzversuch mit 2x1.5cm Gipsfaserfeuerschutzplatten) und Darstellung des Vergleichsverlaufs aus bereits abgeschlossenen Forschungsarbeiten [12], Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT kurz | BT mittel | BT lang | Raumtemp. | Intervalle | | Mittelwert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|------------|------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 13 | 15 | 14 | 13 | 16 | 15 | 14 | 10 | 0 | 0,00 | 9 | 10 |
| 66 | 72 | 77 | 80 | 18 | 19 | 18 | 10 | 10 | 0,17 | 9 | 10 |
| 133 | 144 | 139 | 150 | 19 | 19 | 18 | 10 | 20 | 0,34 | 9 | 10 |
| 172 | 194 | 181 | 207 | 19 | 19 | 18 | 10 | 30 | 0,50 | 9 | 10 |
| 214 | 241 | 221 | 253 | 19 | 19 | 18 | 10 | 40 | 0,67 | 9 | 10 |
| 254 | 281 | 262 | 295 | 19 | 19 | 18 | 10 | 50 | 0,84 | 9 | 10 |
| 303 | 332 | 314 | 347 | 19 | 19 | 18 | 10 | 60 | 1,00 | 9 | 10 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 662 | 691 | 668 | 688 | 64 | 63 | 64 | 11 | 580 | 9,67 | 54 | 55 |
| 662 | 692 | 668 | 688 | 65 | 64 | 65 | 10 | 590 | 9,84 | 55 | 56 |
| 664 | 692 | 669 | 688 | 65 | 64 | 66 | 10 | 600 | 10,00 | 56 | 56 |
| 665 | 694 | 670 | 690 | 66 | 65 | 67 | 11 | 610 | 10,17 | 56 | 57 |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

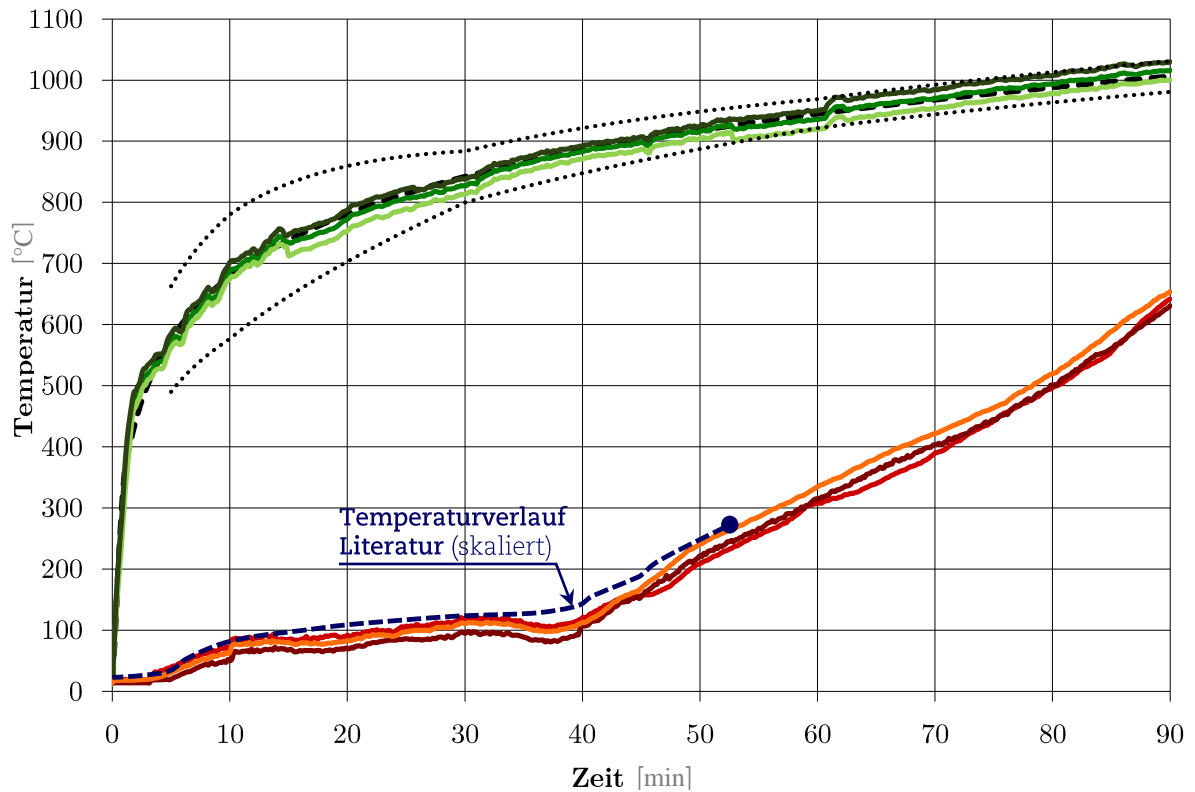
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 668 | 697 | 672 | 692 | 66 | 65 | 67 | 11 | 620 | 10,34 | 57 | 58 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 756 | 779 | 764 | 781 | 80 | 82 | 78 | 10 | 1180 | 19,67 | 70 | 72 |
| 755 | 778 | 764 | 781 | 78 | 81 | 74 | 11 | 1190 | 19,84 | 69 | 72 |
| 757 | 781 | 767 | 784 | 76 | 81 | 73 | 10 | 1200 | 20,00 | 67 | 71 |
| 758 | 782 | 767 | 783 | 76 | 80 | 74 | 10 | 1210 | 20,17 | 67 | 71 |
| 756 | 779 | 764 | 779 | 76 | 79 | 73 | 10 | 1220 | 20,34 | 67 | 70 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 813 | 836 | 822 | 839 | 92 | 98 | 90 | 10 | 1780 | 29,67 | 84 | 89 |
| 813 | 835 | 821 | 838 | 92 | 98 | 90 | 10 | 1790 | 29,84 | 84 | 89 |
| 814 | 836 | 822 | 838 | 94 | 100 | 92 | 10 | 1800 | 30,00 | 86 | 90 |
| 814 | 837 | 822 | 839 | 94 | 100 | 92 | 10 | 1810 | 30,17 | 86 | 91 |
| 816 | 839 | 824 | 841 | 95 | 101 | 93 | 10 | 1820 | 30,34 | 87 | 91 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 870 | 891 | 876 | 891 | 106 | 117 | 99 | 10 | 2380 | 39,67 | 98 | 108 |
| 871 | 891 | 877 | 892 | 106 | 117 | 99 | 10 | 2390 | 39,84 | 98 | 108 |
| 871 | 891 | 877 | 892 | 106 | 118 | 99 | 10 | 2400 | 40,00 | 98 | 108 |
| 872 | 893 | 878 | 894 | 106 | 119 | 99 | 10 | 2410 | 40,17 | 98 | 109 |
| 873 | 894 | 878 | 894 | 107 | 119 | 100 | 10 | 2420 | 40,34 | 99 | 109 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 895 | 916 | 901 | 917 | 145 | 188 | 128 | 10 | 2820 | 47,00 | 144 | 178 |
| 896 | 916 | 901 | 917 | 148 | 190 | 130 | 10 | 2830 | 47,17 | 146 | 180 |
| 896 | 917 | 904 | 919 | 150 | 191 | 132 | 10 | 2840 | 47,34 | 148 | 182 |
| 897 | 918 | 904 | 919 | 154 | 194 | 134 | 10 | 2850 | 47,50 | 151 | 184 |
| 898 | 919 | 905 | 920 | 157 | 195 | 136 | 10 | 2860 | 47,67 | 153 | 186 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 922 | 942 | 929 | 943 | 256 | 268 | 244 | 10 | 3360 | 56,00 | 247 | 259 |
| 923 | 943 | 930 | 945 | 258 | 269 | 246 | 10 | 3370 | 56,17 | 249 | 260 |
| 923 | 943 | 930 | 945 | 259 | 271 | 248 | 10 | 3380 | 56,34 | 250 | 261 |
| 922 | 942 | 928 | 943 | 261 | 272 | 250 | 10 | 3390 | 56,50 | 251 | 263 |
| 923 | 944 | 930 | 945 | 263 | 273 | 251 | 10 | 3400 | 56,67 | 253 | 264 |
| 925 | 945 | 930 | 945 | 264 | 274 | 254 | 10 | 3410 | 56,84 | 254 | 264 |
| 924 | 944 | 929 | 944 | 266 | 275 | 256 | 10 | 3420 | 57,00 | 256 | 266 |
| 926 | 945 | 932 | 947 | 267 | 276 | 258 | 10 | 3430 | 57,17 | 257 | 266 |
| 927 | 946 | 932 | 947 | 269 | 277 | 260 | 10 | 3440 | 57,34 | 259 | 267 |
| 927 | 946 | 933 | 947 | 271 | 278 | 263 | 10 | 3450 | 57,50 | 261 | 269 |
| 927 | 947 | 932 | 947 | 273 | 279 | 264 | 10 | 3460 | 57,67 | 263 | 270 |
| 925 | 945 | 932 | 946 | 275 | 281 | 266 | 10 | 3470 | 57,84 | 265 | 272 |
| 926 | 946 | 932 | 946 | 277 | 283 | 268 | 10 | 3480 | 58,00 | 267 | 274 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 932 | 952 | 939 | 954 | 293 | 295 | 289 | 10 | 3580 | 59,67 | 283 | 285 |
| 932 | 953 | 939 | 954 | 296 | 298 | 291 | 10 | 3590 | 59,84 | 286 | 289 |
| 934 | 953 | 940 | 956 | 298 | 301 | 293 | 11 | 3600 | 60,00 | 288 | 292 |
| 935 | 954 | 941 | 956 | 299 | 302 | 295 | 10 | 3610 | 60,17 | 290 | 293 |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 935 | 954 | 940 | 956 | 302 | 303 | 297 | 11 | 3620 | 60,34 | 291 | 294 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 952 | 971 | 955 | 969 | 395 | 387 | 393 | 11 | 4120 | 68,67 | 382 | 385 |
| 952 | 971 | 954 | 968 | 397 | 388 | 395 | 10 | 4130 | 68,84 | 384 | 387 |
| 952 | 971 | 955 | 969 | 399 | 391 | 397 | 10 | 4140 | 69,00 | 386 | 389 |
| 951 | 971 | 954 | 968 | 401 | 393 | 399 | 10 | 4150 | 69,17 | 388 | 391 |
| 951 | 971 | 954 | 968 | 404 | 396 | 401 | 10 | 4160 | 69,34 | 391 | 395 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 954 | 973 | 957 | 971 | 409 | 401 | 404 | 10 | 4180 | 69,67 | 395 | 399 |
| 956 | 975 | 958 | 973 | 411 | 404 | 406 | 10 | 4190 | 69,84 | 397 | 401 |
| 955 | 976 | 957 | 972 | 413 | 405 | 408 | 10 | 4200 | 70,00 | 399 | 403 |
| 957 | 978 | 959 | 975 | 415 | 408 | 410 | 10 | 4210 | 70,17 | 401 | 405 |
| 958 | 978 | 961 | 977 | 417 | 411 | 412 | 10 | 4220 | 70,34 | 403 | 407 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 969 | 974 | 980 | 996 | 515 | 566 | 510 | 10 | 4780 | 79,67 | 521 | 556 |
| 969 | 974 | 982 | 998 | 516 | 568 | 511 | 10 | 4790 | 79,84 | 522 | 559 |
| 971 | 974 | 981 | 997 | 519 | 575 | 513 | 10 | 4800 | 80,00 | 526 | 566 |
| 971 | 975 | 982 | 998 | 521 | 580 | 514 | 10 | 4810 | 80,17 | 528 | 570 |
| 972 | 975 | 982 | 998 | 524 | 590 | 515 | 10 | 4820 | 80,34 | 533 | 580 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 999 | 998 | 1009 | 1011 | 691 | 881 | 593 | 10 | 5350 | 89,17 | 712 | 871 |
| 998 | 998 | 1010 | 1011 | 692 | 883 | 594 | 9 | 5360 | 89,34 | 713 | 873 |
| 999 | 998 | 1011 | 1011 | 691 | 878 | 595 | 9 | 5370 | 89,50 | 712 | 869 |
| 1001 | 998 | 1012 | 1013 | 707 | 891 | 600 | 10 | 5380 | 89,67 | 723 | 882 |
| 1001 | 998 | 1013 | 1014 | 707 | 889 | 603 | 9 | 5390 | 89,84 | 723 | 880 |
| 1001 | 999 | 1014 | 1014 | 717 | 901 | 606 | 10 | 5400 | 90,00 | 731 | 891 |

Anhang 36: Auszug aus der Daten_log-Datei von VV4-a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.4.4.2 Vorversuchsreihe RV-b



Anhang 37: Temperaturverlaufdiagramm aus RV4-b (Referenzversuch mit 2x1.5cm Gipsfaserfeuerschutzplatten) und Darstellung des Vergleichsverlaufs aus bereits abgeschlossenen Forschungsarbeiten [12], Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT kurz | BT mittel | BT lang | Raum temp. | Intervalle | | Mittelwert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|--------------|------------|------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 12 | 13 | 13 | 14 | 15 | 14 | 14 | 11 | 0 | 0,00 | 5 | 6 |
| 77 | 82 | 79 | 83 | 18 | 14 | 18 | 11 | 10 | 0,17 | 8 | 9 |
| 132 | 146 | 138 | 154 | 19 | 14 | 18 | 11 | 20 | 0,34 | 8 | 10 |
| 175 | 194 | 181 | 207 | 19 | 14 | 18 | 11 | 30 | 0,50 | 7 | 9 |
| 212 | 241 | 221 | 253 | 19 | 14 | 18 | 11 | 40 | 0,67 | 8 | 9 |
| 255 | 281 | 262 | 295 | 20 | 14 | 18 | 11 | 50 | 0,84 | 8 | 10 |
| 303 | 332 | 314 | 347 | 20 | 14 | 18 | 11 | 60 | 1,00 | 8 | 10 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 668 | 685 | 671 | 691 | 69 | 48 | 61 | 10 | 580 | 9,67 | 50 | 60 |
| 672 | 689 | 676 | 696 | 73 | 48 | 64 | 10 | 590 | 9,84 | 52 | 64 |
| 675 | 691 | 682 | 702 | 75 | 53 | 65 | 11 | 600 | 10,00 | 55 | 65 |
| 679 | 696 | 684 | 705 | 83 | 54 | 75 | 11 | 610 | 10,17 | 61 | 73 |
| 679 | 695 | 685 | 705 | 85 | 63 | 76 | 10 | 620 | 10,34 | 65 | 76 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 751 | 783 | 758 | 785 | 96 | 77 | 89 | 11 | 1180 | 19,67 | 78 | 86 |
| 751 | 786 | 760 | 786 | 95 | 78 | 89 | 11 | 1190 | 19,84 | 78 | 86 |
| 753 | 788 | 761 | 787 | 98 | 76 | 90 | 10 | 1200 | 20,00 | 78 | 88 |
| 756 | 791 | 764 | 791 | 97 | 79 | 90 | 10 | 1210 | 20,17 | 79 | 87 |
| 760 | 795 | 768 | 793 | 98 | 78 | 91 | 11 | 1220 | 20,34 | 80 | 89 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 813 | 836 | 822 | 839 | 127 | 103 | 119 | 11 | 1780 | 29,67 | 107 | 118 |
| 813 | 835 | 821 | 838 | 127 | 101 | 118 | 11 | 1790 | 29,84 | 106 | 117 |
| 814 | 836 | 822 | 838 | 128 | 104 | 120 | 11 | 1800 | 30,00 | 108 | 118 |
| 814 | 837 | 822 | 839 | 128 | 104 | 120 | 11 | 1810 | 30,17 | 108 | 118 |
| 816 | 839 | 824 | 841 | 125 | 104 | 119 | 11 | 1820 | 30,34 | 106 | 115 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 879 | 899 | 884 | 899 | 153 | 136 | 145 | 10 | 2550 | 42,50 | 135 | 143 |
| 879 | 900 | 884 | 899 | 155 | 139 | 147 | 10 | 2560 | 42,67 | 137 | 145 |
| 879 | 900 | 885 | 901 | 156 | 141 | 150 | 10 | 2570 | 42,84 | 139 | 146 |
| 880 | 901 | 886 | 901 | 157 | 143 | 152 | 11 | 2580 | 43,00 | 141 | 147 |
| 881 | 902 | 886 | 902 | 158 | 146 | 154 | 10 | 2590 | 43,17 | 143 | 148 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 902 | 923 | 908 | 924 | 212 | 208 | 230 | 10 | 2980 | 49,67 | 207 | 220 |
| 903 | 923 | 908 | 924 | 214 | 214 | 232 | 11 | 2990 | 49,84 | 210 | 222 |
| 904 | 924 | 909 | 925 | 216 | 215 | 234 | 10 | 3000 | 50,00 | 212 | 224 |
| 905 | 926 | 911 | 927 | 217 | 213 | 235 | 11 | 3010 | 50,17 | 212 | 225 |
| 906 | 927 | 912 | 927 | 218 | 218 | 237 | 10 | 3020 | 50,34 | 215 | 227 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 907 | 938 | 913 | 936 | 251 | 252 | 272 | 11 | 3260 | 54,34 | 249 | 262 |
| 908 | 939 | 914 | 935 | 252 | 252 | 273 | 10 | 3270 | 54,50 | 249 | 263 |
| 908 | 940 | 915 | 935 | 252 | 253 | 274 | 10 | 3280 | 54,67 | 250 | 264 |
| 908 | 939 | 914 | 935 | 254 | 255 | 276 | 10 | 3290 | 54,84 | 252 | 266 |
| 908 | 939 | 914 | 935 | 256 | 259 | 277 | 11 | 3300 | 55,00 | 255 | 268 |
| 909 | 940 | 915 | 936 | 258 | 261 | 279 | 10 | 3310 | 55,17 | 256 | 269 |
| 907 | 940 | 915 | 935 | 259 | 263 | 281 | 10 | 3320 | 55,34 | 258 | 271 |
| 908 | 939 | 915 | 935 | 260 | 263 | 283 | 11 | 3330 | 55,50 | 259 | 273 |
| 908 | 940 | 916 | 936 | 261 | 262 | 284 | 11 | 3340 | 55,67 | 260 | 275 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 919 | 949 | 925 | 947 | 303 | 300 | 319 | 11 | 3580 | 59,67 | 298 | 310 |
| 920 | 950 | 926 | 948 | 303 | 302 | 320 | 11 | 3590 | 59,84 | 299 | 311 |
| 920 | 950 | 926 | 947 | 305 | 302 | 322 | 11 | 3600 | 60,00 | 300 | 313 |
| 920 | 951 | 927 | 947 | 307 | 302 | 323 | 11 | 3610 | 60,17 | 301 | 314 |
| 920 | 952 | 928 | 948 | 307 | 302 | 324 | 11 | 3620 | 60,34 | 301 | 314 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 953 | 983 | 959 | 980 | 381 | 382 | 403 | 10 | 4180 | 69,67 | 378 | 393 |
| 953 | 984 | 959 | 980 | 383 | 386 | 405 | 10 | 4190 | 69,84 | 381 | 395 |
| 954 | 985 | 962 | 981 | 385 | 388 | 406 | 10 | 4200 | 70,00 | 383 | 396 |
| 954 | 984 | 961 | 982 | 387 | 385 | 407 | 10 | 4210 | 70,17 | 383 | 397 |

7 Anhang - 7.4 Ergebnisse der durchgeführten Vorversuchsreihen

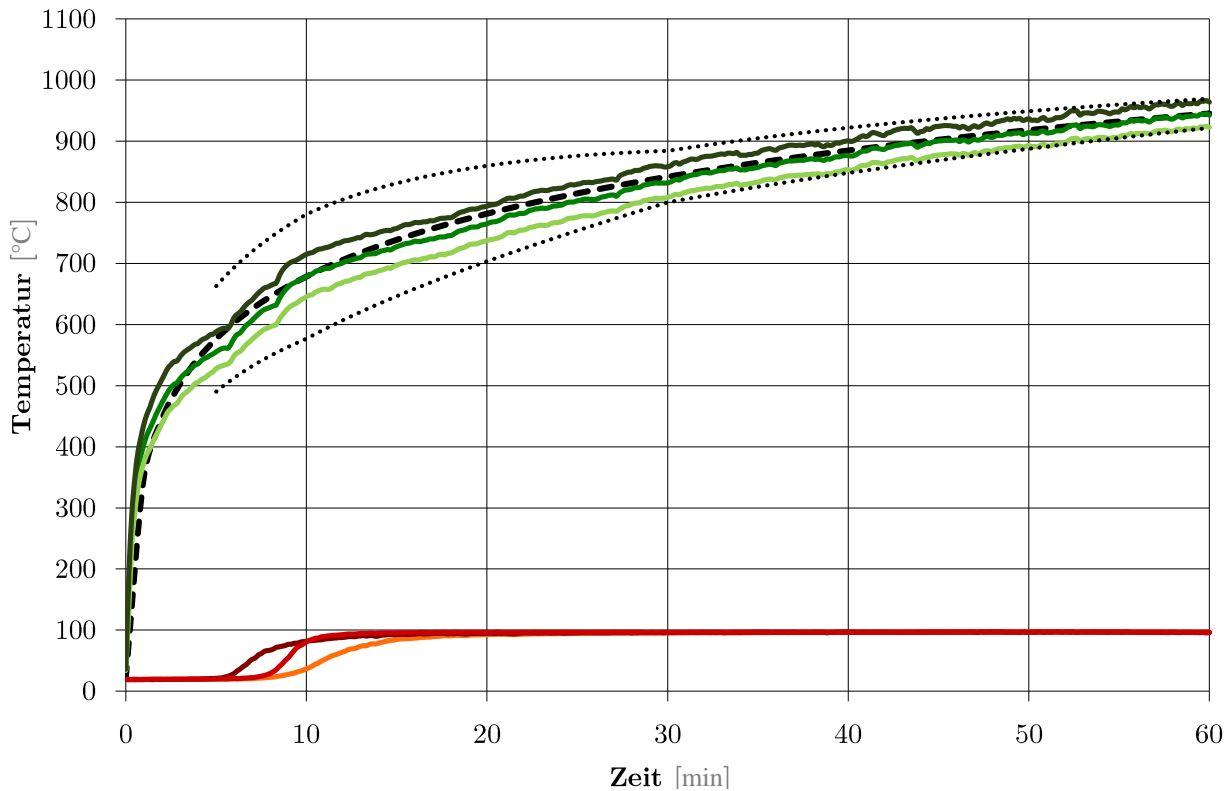
| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 955 | 985 | 962 | 983 | 388 | 388 | 408 | 10 | 4220 | 70,34 | 385 | 398 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 977 | 1007 | 984 | 1004 | 497 | 485 | 505 | 10 | 4780 | 79,67 | 486 | 495 |
| 977 | 1007 | 985 | 1005 | 500 | 487 | 507 | 10 | 4790 | 79,84 | 488 | 497 |
| 979 | 1007 | 984 | 1005 | 503 | 490 | 510 | 10 | 4800 | 80,00 | 491 | 500 |
| 978 | 1008 | 985 | 1004 | 504 | 494 | 512 | 10 | 4810 | 80,17 | 493 | 502 |
| 978 | 1008 | 985 | 1005 | 505 | 494 | 514 | 10 | 4820 | 80,34 | 494 | 504 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1000 | 1028 | 1006 | 1027 | 626 | 597 | 612 | 10 | 5350 | 89,17 | 602 | 616 |
| 1000 | 1028 | 1006 | 1027 | 628 | 598 | 614 | 11 | 5360 | 89,34 | 604 | 618 |
| 999 | 1028 | 1006 | 1026 | 631 | 601 | 616 | 11 | 5370 | 89,50 | 606 | 621 |
| 1000 | 1029 | 1006 | 1026 | 634 | 604 | 619 | 10 | 5380 | 89,67 | 609 | 624 |
| 1000 | 1029 | 1006 | 1026 | 636 | 606 | 620 | 11 | 5390 | 89,84 | 611 | 626 |
| 1000 | 1030 | 1007 | 1026 | 638 | 608 | 623 | 10 | 5400 | 90,00 | 613 | 628 |

Anhang 38: Auszug aus der Daten_log-Datei von VV4-b mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

7.5.1 Hauptversuchsreihe 1 (HV1) - Idealisierter Verbund

7.5.1.1 Hauptversuchsreihe HV1-60a – WSD 50 lose



Anhang 39: Temperaturverlaufdiagramm HV1-60a – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50, unverklebt, Versuchsdauer 60 Minuten

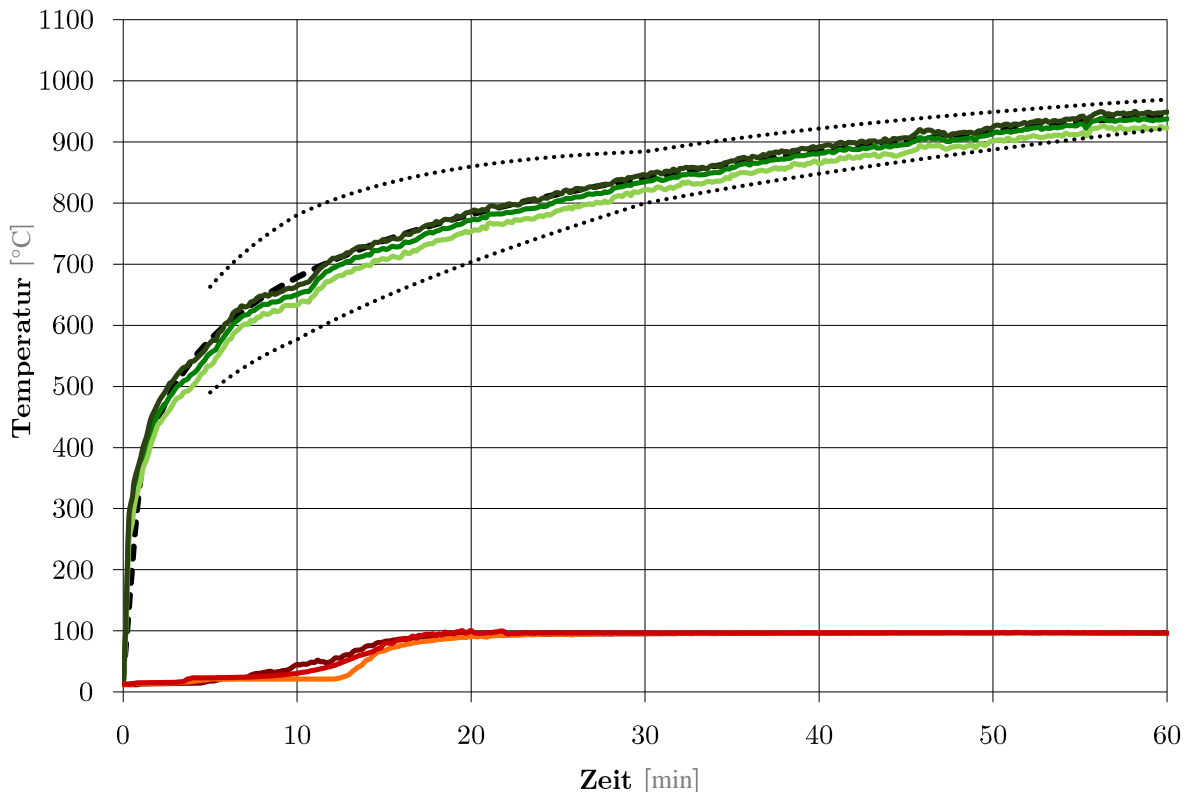
| Ofentemperatur | | | | BT kurz | BT mittel | BT lang | Raumtemp. | Intervall | | Mittelwert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 16 | 17 | 17 | 17 | 14 | 14 | 14 | 10 | 0 | 0,00 | 4 | 4 |
| 133 | 187 | 162 | 153 | 14 | 14 | 14 | 10 | 10 | 0,17 | 4 | 4 |
| 241 | 289 | 257 | 288 | 14 | 14 | 15 | 10 | 20 | 0,34 | 4 | 5 |
| 292 | 345 | 305 | 348 | 14 | 14 | 14 | 10 | 30 | 0,50 | 4 | 4 |
| 331 | 388 | 338 | 390 | 15 | 14 | 14 | 11 | 40 | 0,67 | 3 | 4 |
| 356 | 412 | 357 | 415 | 15 | 14 | 15 | 10 | 50 | 0,84 | 5 | 5 |
| 375 | 429 | 374 | 437 | 15 | 14 | 15 | 11 | 60 | 1,00 | 4 | 4 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 655 | 691 | 640 | 709 | 33 | 80 | 75 | 11 | 580 | 9,67 | 52 | 70 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|-----------|-----------|
| 656 | 692 | 642 | 712 | 35 | 81 | 78 | 10 | 590 | 9,84 | 54 | 71 |
| 659 | 695 | 645 | 715 | 37 | 81 | 81 | 10 | 600 | 10,00 | 56 | 71 |
| 662 | 698 | 648 | 717 | 39 | 83 | 83 | 10 | 610 | 10,17 | 58 | 73 |
| 664 | 700 | 649 | 718 | 41 | 83 | 85 | 10 | 620 | 10,34 | 60 | 75 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 745 | 779 | 735 | 792 | 92 | 95 | 96 | 11 | 1180 | 19,67 | 83 | 85 |
| 746 | 779 | 736 | 793 | 93 | 95 | 96 | 11 | 1190 | 19,84 | 84 | 85 |
| 747 | 781 | 737 | 794 | 93 | 95 | 96 | 11 | 1200 | 20,00 | 84 | 85 |
| 749 | 784 | 739 | 795 | 93 | 95 | 96 | 11 | 1210 | 20,17 | 84 | 85 |
| 751 | 785 | 739 | 796 | 93 | 95 | 96 | 11 | 1220 | 20,34 | 83 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 814 | 846 | 807 | 859 | 95 | 96 | 96 | 11 | 1780 | 29,67 | 85 | 85 |
| 815 | 846 | 807 | 858 | 95 | 96 | 97 | 11 | 1790 | 29,84 | 85 | 86 |
| 816 | 845 | 808 | 858 | 95 | 96 | 96 | 12 | 1800 | 30,00 | 84 | 85 |
| 817 | 847 | 809 | 860 | 95 | 96 | 97 | 12 | 1810 | 30,17 | 84 | 85 |
| 818 | 849 | 812 | 863 | 95 | 96 | 96 | 12 | 1820 | 30,34 | 84 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 861 | 892 | 852 | 899 | 96 | 97 | 97 | 11 | 2380 | 39,67 | 86 | 86 |
| 861 | 891 | 853 | 900 | 96 | 97 | 97 | 12 | 2390 | 39,84 | 85 | 85 |
| 861 | 891 | 853 | 900 | 96 | 97 | 96 | 11 | 2400 | 40,00 | 85 | 86 |
| 860 | 890 | 852 | 899 | 97 | 96 | 97 | 12 | 2410 | 40,17 | 85 | 85 |
| 861 | 890 | 854 | 901 | 97 | 97 | 97 | 11 | 2420 | 40,34 | 86 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 896 | 923 | 890 | 934 | 97 | 97 | 97 | 12 | 2980 | 49,67 | 85 | 86 |
| 897 | 925 | 891 | 935 | 98 | 97 | 97 | 11 | 2990 | 49,84 | 86 | 86 |
| 900 | 927 | 893 | 937 | 97 | 96 | 97 | 11 | 3000 | 50,00 | 86 | 87 |
| 900 | 927 | 891 | 934 | 97 | 97 | 97 | 11 | 3010 | 50,17 | 86 | 86 |
| 900 | 927 | 891 | 934 | 97 | 97 | 97 | 11 | 3020 | 50,34 | 86 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 928 | 954 | 921 | 963 | 97 | 96 | 96 | 12 | 3550 | 59,17 | 84 | 85 |
| 928 | 954 | 921 | 961 | 97 | 96 | 96 | 12 | 3560 | 59,34 | 85 | 85 |
| 930 | 957 | 923 | 965 | 97 | 96 | 96 | 11 | 3570 | 59,50 | 85 | 86 |
| 930 | 956 | 923 | 965 | 97 | 96 | 96 | 11 | 3580 | 59,67 | 85 | 85 |
| 931 | 957 | 924 | 966 | 97 | 95 | 97 | 11 | 3590 | 59,84 | 85 | 85 |
| 928 | 955 | 923 | 964 | 97 | 96 | 96 | 11 | 3600 | 60,00 | 85 | 86 |

Anhang 40: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV1-60a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 60 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min

7.5.1.2 Hauptversuchsreihe HV1-60b – WSD 50 lose



Anhang 41: Temperaturverlaufdiagramm HV1-60b – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50, unverklebt, Versuchsdauer 60 Minuten

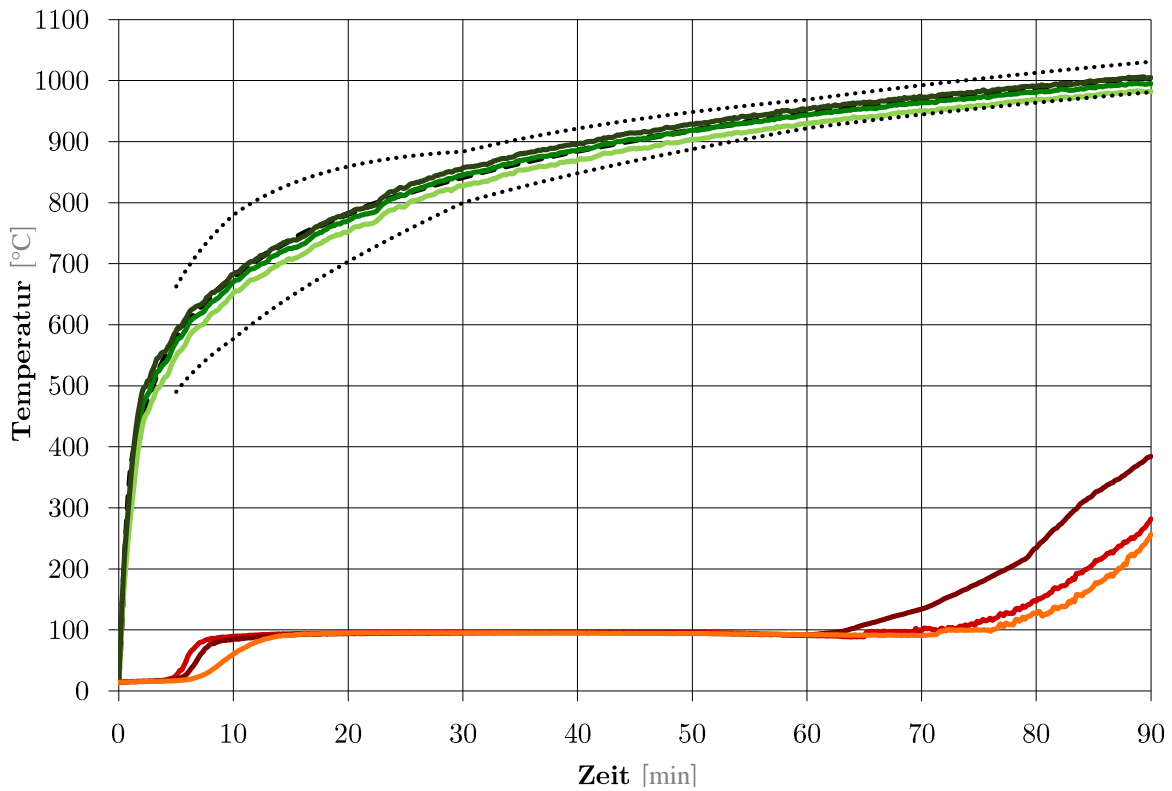
| Ofentemperatur | | | | BT kurz | BT mittel | BT lang | Raumtemp. | Intervall | | Mittelwert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|------------|------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 16 | 16 | 17 | 15 | 12 | 13 | 13 | 10 | 0 | 0,00 | 2 | 3 |
| 99 | 102 | 109 | 96 | 12 | 13 | 13 | 10 | 10 | 0,17 | 2 | 3 |
| 245 | 287 | 261 | 284 | 12 | 13 | 13 | 10 | 20 | 0,34 | 3 | 3 |
| 277 | 319 | 291 | 318 | 12 | 13 | 14 | 9 | 30 | 0,50 | 4 | 5 |
| 302 | 344 | 314 | 342 | 12 | 14 | 14 | 9 | 40 | 0,67 | 5 | 5 |
| 327 | 364 | 334 | 360 | 12 | 14 | 15 | 10 | 50 | 0,84 | 4 | 5 |
| 347 | 380 | 353 | 384 | 13 | 14 | 15 | 9 | 60 | 1,00 | 5 | 6 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 632 | 657 | 637 | 660 | 39 | 21 | 30 | 9 | 580 | 9,67 | 21 | 30 |
| 633 | 661 | 641 | 661 | 43 | 21 | 30 | 9 | 590 | 9,84 | 22 | 34 |
| 633 | 663 | 640 | 665 | 45 | 21 | 30 | 9 | 600 | 10,00 | 23 | 36 |
| 637 | 662 | 643 | 667 | 44 | 21 | 31 | 9 | 610 | 10,17 | 23 | 35 |
| 640 | 664 | 645 | 667 | 46 | 21 | 32 | 9 | 620 | 10,34 | 24 | 37 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 754 | 779 | 764 | 784 | 92 | 89 | 96 | 10 | 1180 | 19,67 | 82 | 86 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------------|--------------|-----------|-----------|
| 752 | 783 | 766 | 784 | 93 | 90 | 98 | 11 | 1190 | 19,84 | 83 | 87 |
| 753 | 781 | 767 | 786 | 93 | 91 | 101 | 11 | 1200 | 20,00 | 84 | 90 |
| 756 | 783 | 769 | 789 | 93 | 91 | 97 | 11 | 1210 | 20,17 | 82 | 86 |
| 756 | 781 | 767 | 787 | 93 | 90 | 96 | 11 | 1220 | 20,34 | 83 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 818 | 842 | 826 | 845 | 95 | 96 | 96 | 11 | 1780 | 29,67 | 86 | 87 |
| 817 | 841 | 827 | 844 | 95 | 96 | 97 | 12 | 1790 | 29,84 | 86 | 86 |
| 818 | 845 | 829 | 846 | 95 | 96 | 96 | 11 | 1800 | 30,00 | 85 | 86 |
| 818 | 845 | 829 | 849 | 95 | 96 | 97 | 11 | 1810 | 30,17 | 86 | 86 |
| 820 | 847 | 829 | 847 | 95 | 96 | 96 | 11 | 1820 | 30,34 | 85 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 869 | 890 | 877 | 892 | 96 | 97 | 97 | 11 | 2380 | 39,67 | 86 | 86 |
| 864 | 891 | 875 | 889 | 96 | 97 | 97 | 11 | 2390 | 39,84 | 86 | 86 |
| 868 | 892 | 873 | 888 | 96 | 97 | 96 | 11 | 2400 | 40,00 | 86 | 86 |
| 865 | 890 | 876 | 892 | 97 | 96 | 97 | 11 | 2410 | 40,17 | 86 | 86 |
| 866 | 891 | 874 | 894 | 97 | 97 | 97 | 11 | 2420 | 40,34 | 86 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 900 | 918 | 906 | 921 | 97 | 97 | 97 | 11 | 2980 | 49,67 | 86 | 86 |
| 900 | 925 | 907 | 923 | 98 | 97 | 97 | 11 | 2990 | 49,84 | 86 | 86 |
| 899 | 925 | 908 | 925 | 97 | 96 | 97 | 11 | 3000 | 50,00 | 86 | 86 |
| 903 | 924 | 911 | 923 | 97 | 97 | 97 | 11 | 3010 | 50,17 | 86 | 86 |
| 901 | 925 | 907 | 925 | 97 | 97 | 97 | 11 | 3020 | 50,34 | 86 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 923 | 944 | 931 | 946 | 97 | 96 | 96 | 12 | 3550 | 59,17 | 84 | 85 |
| 924 | 943 | 927 | 946 | 97 | 96 | 96 | 12 | 3560 | 59,34 | 85 | 85 |
| 921 | 945 | 931 | 946 | 97 | 96 | 96 | 11 | 3570 | 59,50 | 85 | 86 |
| 923 | 948 | 928 | 946 | 97 | 96 | 96 | 11 | 3580 | 59,67 | 85 | 85 |
| 922 | 945 | 928 | 948 | 97 | 95 | 97 | 11 | 3590 | 59,84 | 85 | 85 |
| 922 | 946 | 933 | 949 | 97 | 96 | 96 | 11 | 3600 | 60,00 | 85 | 86 |

Anhang 42: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV1-60b mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 60 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min

7.5.1.3 Hauptversuchsreihe HV1-90a – WSD 50 lose



Anhang 43: Temperaturverlaufdiagramm HV1-90a – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50, unverklebt, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mitte | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 11 | 11 | 13 | 12 | 9 | 10 | 10 | 6 | 0 | 0,00 | 4 | 4 |
| 77 | 82 | 87 | 84 | 9 | 10 | 10 | 6 | 10 | 0,17 | 4 | 4 |
| 133 | 145 | 160 | 158 | 9 | 10 | 10 | 6 | 20 | 0,34 | 4 | 4 |
| 178 | 194 | 222 | 221 | 9 | 10 | 10 | 6 | 30 | 0,50 | 4 | 4 |
| 214 | 232 | 260 | 261 | 10 | 10 | 10 | 6 | 40 | 0,67 | 4 | 4 |
| 250 | 273 | 296 | 298 | 10 | 11 | 10 | 6 | 50 | 0,84 | 4 | 5 |
| 281 | 305 | 329 | 337 | 10 | 11 | 11 | 6 | 60 | 1,00 | 5 | 5 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 645 | 672 | 660 | 677 | 89 | 83 | 56 | 7 | 580 | 9,67 | 69 | 82 |
| 649 | 676 | 664 | 682 | 89 | 84 | 58 | 7 | 590 | 9,84 | 70 | 82 |
| 652 | 679 | 667 | 683 | 89 | 85 | 60 | 7 | 600 | 10,00 | 71 | 82 |
| 655 | 682 | 670 | 685 | 90 | 85 | 62 | 7 | 610 | 10,17 | 72 | 83 |
| 655 | 682 | 670 | 686 | 90 | 85 | 65 | 7 | 620 | 10,34 | 73 | 83 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 752 | 779 | 764 | 779 | 95 | 94 | 95 | 7 | 1180 | 19,67 | 88 | 88 |
| 751 | 778 | 765 | 781 | 95 | 94 | 95 | 7 | 1190 | 19,84 | 87 | 88 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

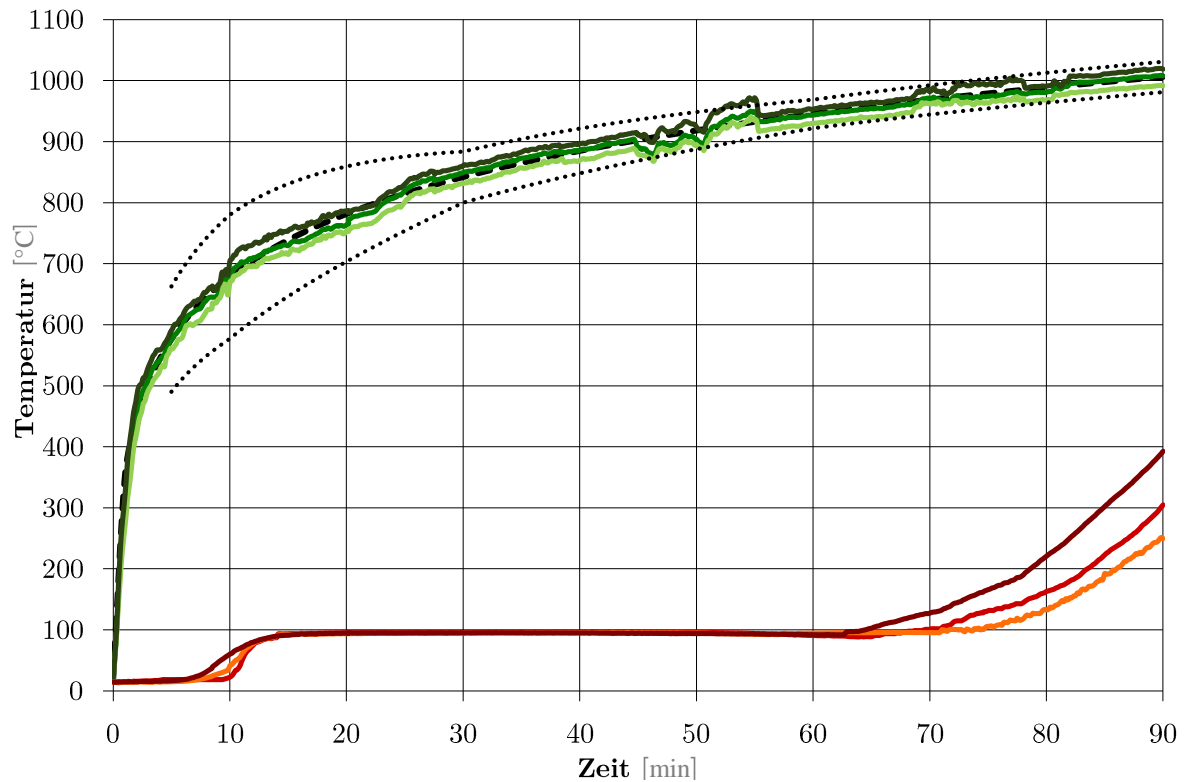
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|-------------|--------------|------------|------------|
| 753 | 780 | 767 | 783 | 95 | 94 | 95 | 7 | 1200 | 20,00 | 87 | 88 |
| 755 | 783 | 768 | 783 | 95 | 94 | 95 | 7 | 1210 | 20,17 | 88 | 88 |
| 757 | 784 | 769 | 784 | 95 | 94 | 95 | 7 | 1220 | 20,34 | 88 | 88 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 828 | 855 | 841 | 855 | 95 | 95 | 95 | 7 | 1780 | 29,67 | 88 | 88 |
| 827 | 854 | 842 | 854 | 96 | 95 | 95 | 7 | 1790 | 29,84 | 88 | 89 |
| 828 | 855 | 844 | 857 | 96 | 95 | 95 | 7 | 1800 | 30,00 | 88 | 89 |
| 828 | 854 | 844 | 858 | 96 | 95 | 95 | 7 | 1810 | 30,17 | 88 | 89 |
| 830 | 857 | 845 | 859 | 96 | 95 | 95 | 7 | 1820 | 30,34 | 88 | 89 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 868 | 894 | 882 | 896 | 96 | 95 | 95 | 7 | 2380 | 39,67 | 88 | 89 |
| 868 | 893 | 882 | 895 | 96 | 95 | 95 | 7 | 2390 | 39,84 | 88 | 89 |
| 869 | 895 | 883 | 897 | 96 | 95 | 95 | 7 | 2400 | 40,00 | 88 | 89 |
| 871 | 897 | 884 | 897 | 96 | 95 | 95 | 7 | 2410 | 40,17 | 88 | 89 |
| 872 | 897 | 884 | 898 | 96 | 95 | 95 | 7 | 2420 | 40,34 | 88 | 89 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 903 | 926 | 914 | 928 | 96 | 95 | 94 | 7 | 2980 | 49,67 | 88 | 89 |
| 903 | 927 | 915 | 929 | 96 | 95 | 94 | 7 | 2990 | 49,84 | 88 | 89 |
| 904 | 927 | 916 | 929 | 96 | 95 | 94 | 7 | 3000 | 50,00 | 88 | 89 |
| 903 | 927 | 915 | 928 | 96 | 95 | 94 | 7 | 3010 | 50,17 | 88 | 89 |
| 904 | 928 | 916 | 930 | 96 | 95 | 94 | 7 | 3020 | 50,34 | 88 | 89 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 929 | 952 | 938 | 954 | 91 | 92 | 92 | 7 | 3580 | 59,67 | 85 | 85 |
| 930 | 952 | 939 | 953 | 91 | 92 | 92 | 7 | 3590 | 59,84 | 85 | 85 |
| 930 | 953 | 938 | 953 | 91 | 92 | 92 | 7 | 3600 | 60,00 | 85 | 85 |
| 930 | 953 | 939 | 954 | 91 | 92 | 92 | 7 | 3610 | 60,17 | 85 | 85 |
| 930 | 953 | 940 | 954 | 91 | 92 | 92 | 7 | 3620 | 60,34 | 85 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 950 | 972 | 957 | 972 | 98 | 132 | 91 | 7 | 4180 | 69,67 | 100 | 125 |
| 951 | 973 | 960 | 974 | 100 | 133 | 91 | 7 | 4190 | 69,84 | 101 | 126 |
| 950 | 972 | 958 | 973 | 99 | 134 | 91 | 7 | 4200 | 70,00 | 101 | 127 |
| 951 | 973 | 959 | 973 | 103 | 135 | 91 | 7 | 4210 | 70,17 | 103 | 128 |
| 951 | 973 | 959 | 973 | 103 | 136 | 91 | 7 | 4220 | 70,34 | 103 | 129 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 969 | 991 | 974 | 988 | 146 | 229 | 127 | 7 | 4780 | 79,67 | 161 | 222 |
| 968 | 991 | 974 | 989 | 148 | 233 | 128 | 7 | 4790 | 79,84 | 162 | 226 |
| 968 | 991 | 974 | 990 | 147 | 234 | 126 | 7 | 4800 | 80,00 | 162 | 227 |
| 969 | 992 | 976 | 991 | 150 | 238 | 130 | 7 | 4810 | 80,17 | 166 | 231 |
| 969 | 991 | 976 | 992 | 151 | 242 | 129 | 7 | 4820 | 80,34 | 167 | 235 |
| 969 | 991 | 977 | 993 | 153 | 244 | 123 | 7 | 4830 | 80,50 | 166 | 237 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 972 | 994 | 980 | 994 | 169 | 272 | 136 | 7 | 4920 | 82,00 | 186 | 265 |
| 973 | 995 | 981 | 996 | 172 | 273 | 138 | 7 | 4930 | 82,17 | 187 | 266 |
| 973 | 995 | 980 | 995 | 172 | 277 | 139 | 7 | 4940 | 82,34 | 189 | 270 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-----|-------------|--------------|------------|------------|
| 973 | 995 | 979 | 995 | 173 | 280 | 138 | 7 | 4950 | 82,50 | 190 | 273 |
| 973 | 995 | 979 | 994 | 175 | 284 | 140 | 7 | 4960 | 82,67 | 193 | 277 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 979 | 1000 | 985 | 1001 | 228 | 340 | 191 | 7 | 5190 | 86,50 | 246 | 333 |
| 979 | 1001 | 986 | 1002 | 226 | 341 | 188 | 7 | 5200 | 86,67 | 245 | 334 |
| 979 | 1002 | 986 | 1002 | 231 | 344 | 194 | 7 | 5210 | 86,84 | 249 | 337 |
| 979 | 1002 | 986 | 1002 | 233 | 346 | 195 | 7 | 5220 | 87,00 | 251 | 339 |
| 980 | 1002 | 986 | 1001 | 237 | 347 | 201 | 7 | 5230 | 87,17 | 255 | 340 |
| 980 | 1002 | 987 | 1003 | 237 | 349 | 201 | 8 | 5240 | 87,34 | 254 | 341 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 982 | 1005 | 988 | 1004 | 263 | 374 | 235 | 8 | 5350 | 89,17 | 283 | 366 |
| 982 | 1005 | 988 | 1004 | 266 | 376 | 238 | 8 | 5360 | 89,34 | 285 | 368 |
| 981 | 1003 | 987 | 1004 | 268 | 379 | 241 | 8 | 5370 | 89,50 | 288 | 371 |
| 982 | 1003 | 988 | 1004 | 273 | 382 | 247 | 8 | 5380 | 89,67 | 293 | 374 |
| 982 | 1004 | 989 | 1005 | 277 | 383 | 251 | 8 | 5390 | 89,84 | 295 | 375 |
| 982 | 1003 | 990 | 1005 | 282 | 384 | 256 | 8 | 5400 | 90,00 | 299 | 376 |

Anhang 44: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV1-90a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.1.4 Hauptversuchsreihe HV1-90b – WSD 50 lose



Anhang 45: Temperaturverlaufdiagramm HV1-90b – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50, unverklebt, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mitte | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 16 | 16 | 18 | 17 | 14 | 15 | 14 | 9 | 0 | 0,00 | 5 | 6 |
| 83 | 86 | 92 | 89 | 14 | 15 | 14 | 9 | 10 | 0,17 | 6 | 6 |
| 139 | 150 | 166 | 163 | 15 | 15 | 15 | 9 | 20 | 0,34 | 6 | 6 |
| 182 | 198 | 227 | 225 | 15 | 15 | 15 | 9 | 30 | 0,50 | 6 | 6 |
| 219 | 237 | 265 | 265 | 15 | 15 | 15 | 9 | 40 | 0,67 | 6 | 6 |
| 256 | 278 | 300 | 304 | 15 | 15 | 15 | 9 | 50 | 0,84 | 6 | 6 |
| 286 | 311 | 335 | 341 | 15 | 15 | 15 | 9 | 60 | 1,00 | 6 | 6 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 665 | 690 | 671 | 690 | 20 | 33 | 56 | 9 | 580 | 9,67 | 27 | 47 |
| 649 | 676 | 664 | 682 | 21 | 34 | 58 | 9 | 590 | 9,84 | 29 | 49 |
| 678 | 705 | 670 | 678 | 23 | 41 | 60 | 9 | 600 | 10,00 | 32 | 51 |
| 678 | 708 | 672 | 683 | 25 | 44 | 62 | 9 | 610 | 10,17 | 35 | 53 |
| 685 | 714 | 679 | 689 | 29 | 47 | 65 | 9 | 620 | 10,34 | 38 | 56 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 752 | 785 | 749 | 760 | 95 | 94 | 95 | 9 | 1180 | 19,67 | 86 | 86 |
| 753 | 786 | 749 | 757 | 95 | 94 | 95 | 9 | 1190 | 19,84 | 85 | 86 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

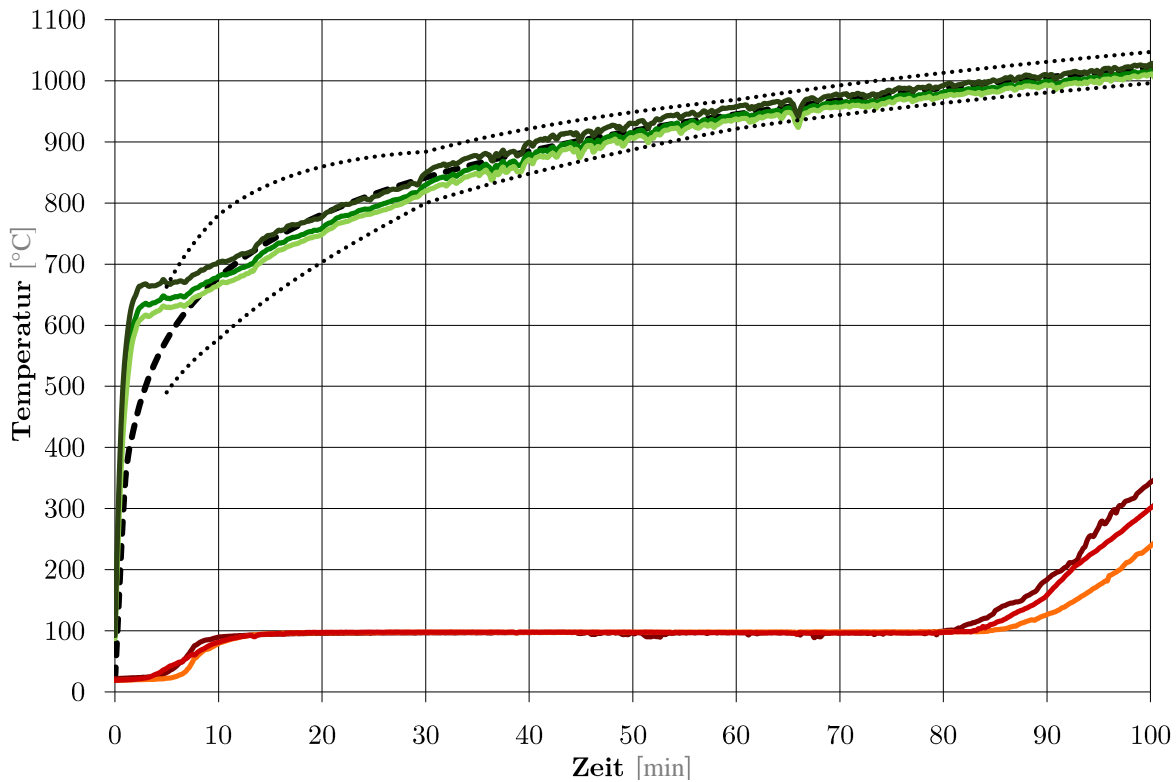
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 757 | 786 | 755 | 760 | 95 | 94 | 95 | 9 | 1200 | 20,00 | 85 | 86 |
| 753 | 787 | 757 | 766 | 95 | 94 | 95 | 9 | 1210 | 20,17 | 86 | 86 |
| 755 | 783 | 768 | 783 | 95 | 94 | 95 | 9 | 1220 | 20,34 | 86 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 831 | 858 | 845 | 859 | 95 | 95 | 95 | 9 | 1780 | 29,67 | 86 | 86 |
| 831 | 857 | 847 | 859 | 96 | 95 | 95 | 9 | 1790 | 29,84 | 86 | 87 |
| 832 | 860 | 847 | 862 | 96 | 95 | 95 | 9 | 1800 | 30,00 | 86 | 87 |
| 833 | 858 | 849 | 862 | 96 | 95 | 95 | 9 | 1810 | 30,17 | 86 | 87 |
| 833 | 861 | 850 | 862 | 96 | 95 | 95 | 9 | 1820 | 30,34 | 86 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 868 | 894 | 882 | 896 | 96 | 95 | 95 | 9 | 2380 | 39,67 | 86 | 87 |
| 868 | 893 | 882 | 895 | 96 | 95 | 95 | 9 | 2390 | 39,84 | 86 | 87 |
| 869 | 895 | 883 | 897 | 96 | 95 | 95 | 9 | 2400 | 40,00 | 86 | 87 |
| 871 | 897 | 884 | 897 | 96 | 95 | 95 | 9 | 2410 | 40,17 | 86 | 87 |
| 872 | 897 | 884 | 898 | 96 | 95 | 95 | 9 | 2420 | 40,34 | 86 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 902 | 929 | 897 | 903 | 96 | 95 | 94 | 9 | 2980 | 49,67 | 86 | 87 |
| 899 | 928 | 894 | 899 | 96 | 95 | 94 | 9 | 2990 | 49,84 | 86 | 87 |
| 895 | 924 | 896 | 901 | 96 | 95 | 94 | 9 | 3000 | 50,00 | 86 | 87 |
| 892 | 920 | 890 | 896 | 96 | 95 | 94 | 9 | 3010 | 50,17 | 86 | 87 |
| 891 | 918 | 891 | 895 | 96 | 95 | 94 | 9 | 3020 | 50,34 | 86 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 929 | 952 | 938 | 954 | 91 | 95 | 92 | 9 | 3580 | 59,67 | 84 | 86 |
| 930 | 952 | 939 | 953 | 91 | 95 | 92 | 9 | 3590 | 59,84 | 84 | 86 |
| 930 | 953 | 938 | 953 | 91 | 95 | 92 | 9 | 3600 | 60,00 | 84 | 86 |
| 930 | 953 | 939 | 954 | 91 | 95 | 92 | 9 | 3610 | 60,17 | 83 | 86 |
| 930 | 953 | 940 | 954 | 91 | 95 | 92 | 9 | 3620 | 60,34 | 83 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 965 | 985 | 963 | 968 | 101 | 95 | 127 | 9 | 4180 | 69,67 | 99 | 118 |
| 962 | 987 | 966 | 970 | 101 | 95 | 127 | 9 | 4190 | 69,84 | 99 | 118 |
| 962 | 982 | 965 | 971 | 101 | 95 | 127 | 9 | 4200 | 70,00 | 99 | 118 |
| 962 | 984 | 966 | 968 | 102 | 95 | 129 | 9 | 4210 | 70,17 | 100 | 120 |
| 964 | 988 | 968 | 972 | 102 | 95 | 129 | 9 | 4220 | 70,34 | 100 | 120 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 966 | 988 | 972 | 987 | 147 | 121 | 193 | 9 | 4690 | 78,17 | 145 | 184 |
| 965 | 988 | 973 | 987 | 149 | 124 | 196 | 9 | 4700 | 78,34 | 147 | 187 |
| 966 | 988 | 975 | 989 | 150 | 123 | 198 | 9 | 4710 | 78,50 | 148 | 189 |
| 966 | 988 | 975 | 990 | 152 | 123 | 201 | 9 | 4720 | 78,67 | 150 | 192 |
| 966 | 988 | 976 | 990 | 153 | 127 | 203 | 9 | 4730 | 78,84 | 152 | 194 |
| 966 | 988 | 972 | 987 | 147 | 121 | 193 | 9 | 4690 | 78,17 | 145 | 184 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 969 | 991 | 974 | 988 | 160 | 132 | 216 | 9 | 4780 | 79,67 | 160 | 207 |
| 968 | 991 | 974 | 989 | 161 | 133 | 218 | 9 | 4790 | 79,84 | 162 | 209 |
| 968 | 991 | 974 | 990 | 163 | 133 | 221 | 9 | 4800 | 80,00 | 163 | 212 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 969 | 992 | 976 | 991 | 164 | 133 | 223 | 9 | 4810 | 80,17 | 164 | 214 |
| 969 | 991 | 976 | 992 | 165 | 137 | 226 | 9 | 4820 | 80,34 | 167 | 217 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 997 | 1008 | 982 | 1002 | 198 | 165 | 274 | 9 | 5000 | 83,34 | 203 | 265 |
| 996 | 1008 | 982 | 1003 | 200 | 168 | 276 | 9 | 5010 | 83,50 | 206 | 267 |
| 998 | 1008 | 982 | 1002 | 202 | 172 | 279 | 9 | 5020 | 83,67 | 209 | 270 |
| 1000 | 1007 | 981 | 1002 | 204 | 171 | 282 | 9 | 5030 | 83,84 | 210 | 273 |
| 1000 | 1007 | 982 | 1002 | 207 | 173 | 285 | 9 | 5040 | 84,00 | 212 | 276 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 999 | 1014 | 987 | 1007 | 239 | 203 | 322 | 9 | 5170 | 86,17 | 245 | 313 |
| 1000 | 1014 | 987 | 1008 | 241 | 204 | 324 | 9 | 5180 | 86,34 | 247 | 315 |
| 1002 | 1014 | 987 | 1007 | 243 | 207 | 327 | 9 | 5190 | 86,50 | 250 | 318 |
| 1003 | 1014 | 987 | 1008 | 246 | 212 | 330 | 9 | 5200 | 86,67 | 253 | 321 |
| 1003 | 1013 | 986 | 1007 | 248 | 212 | 333 | 9 | 5210 | 86,84 | 255 | 324 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1008 | 1018 | 991 | 1012 | 287 | 242 | 375 | 10 | 5350 | 89,17 | 291 | 365 |
| 1008 | 1019 | 991 | 1012 | 290 | 243 | 378 | 9 | 5360 | 89,34 | 295 | 369 |
| 1007 | 1020 | 992 | 1013 | 293 | 244 | 382 | 10 | 5370 | 89,50 | 296 | 372 |
| 1008 | 1020 | 992 | 1013 | 297 | 248 | 385 | 10 | 5380 | 89,67 | 300 | 375 |
| 1009 | 1020 | 992 | 1013 | 301 | 251 | 389 | 10 | 5390 | 89,84 | 304 | 379 |
| 1009 | 1019 | 992 | 1011 | 305 | 250 | 393 | 10 | 5400 | 90,00 | 306 | 383 |

Anhang 46: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV1-90b mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.1.5 Hauptversuchsreihe HV1-100a (feucht)



Anhang 47: Temperaturverlaufdiagramm HV1-100a – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50, unverklebt, Versuchsdauer 100 Minuten, Feuchtegehalt Holzleichtbeton rd. 11.60%, Feuchtegehalt BSP rd. 16.9%

| Ofentemperatur | | | | BT mitte | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 11 | 10 | 8 | 0 | 0,00 | 2 | 3 |
| 79 | 92 | 87 | 73 | 22 | 19 | 19 | 8 | 10 | 0,17 | 12 | 14 |
| 266 | 276 | 279 | 250 | 22 | 19 | 19 | 8 | 20 | 0,34 | 12 | 14 |
| 360 | 394 | 352 | 324 | 22 | 19 | 20 | 8 | 30 | 0,50 | 12 | 14 |
| 426 | 465 | 413 | 386 | 22 | 19 | 19 | 8 | 40 | 0,67 | 12 | 14 |
| 476 | 517 | 460 | 435 | 22 | 19 | 20 | 8 | 50 | 0,84 | 12 | 14 |
| 511 | 552 | 492 | 470 | 23 | 19 | 20 | 8 | 60 | 1,00 | 13 | 15 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 675 | 700 | 663 | 669 | 88 | 76 | 80 | 7 | 580 | 9,67 | 74 | 81 |
| 676 | 700 | 664 | 671 | 89 | 77 | 81 | 7 | 590 | 9,84 | 75 | 82 |
| 678 | 703 | 666 | 673 | 90 | 79 | 81 | 7 | 600 | 10,00 | 76 | 83 |
| 679 | 704 | 668 | 674 | 90 | 81 | 82 | 7 | 610 | 10,17 | 77 | 83 |
| 680 | 705 | 671 | 676 | 90 | 81 | 83 | 7 | 620 | 10,34 | 78 | 83 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 752 | 774 | 746 | 752 | 96 | 97 | 97 | 7 | 1180 | 19,67 | 90 | 90 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|-------------|--------------|------------|------------|
| 753 | 775 | 747 | 753 | 96 | 97 | 97 | 7 | 1190 | 19,84 | 90 | 90 |
| 754 | 777 | 749 | 755 | 96 | 97 | 97 | 7 | 1200 | 20,00 | 90 | 90 |
| 757 | 780 | 751 | 757 | 96 | 97 | 97 | 7 | 1210 | 20,17 | 90 | 90 |
| 760 | 783 | 753 | 759 | 96 | 97 | 98 | 7 | 1220 | 20,34 | 90 | 91 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 821 | 844 | 817 | 822 | 97 | 98 | 98 | 7 | 1780 | 29,67 | 90 | 91 |
| 824 | 847 | 818 | 823 | 97 | 98 | 98 | 7 | 1790 | 29,84 | 91 | 91 |
| 826 | 849 | 819 | 825 | 97 | 98 | 98 | 7 | 1800 | 30,00 | 90 | 91 |
| 828 | 851 | 820 | 825 | 97 | 98 | 98 | 7 | 1810 | 30,17 | 90 | 91 |
| 830 | 852 | 822 | 827 | 97 | 98 | 98 | 7 | 1820 | 30,34 | 90 | 91 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 874 | 896 | 867 | 870 | 97 | 98 | 98 | 7 | 2380 | 39,67 | 91 | 91 |
| 876 | 898 | 869 | 874 | 97 | 97 | 98 | 7 | 2390 | 39,84 | 90 | 91 |
| 878 | 899 | 871 | 874 | 97 | 98 | 98 | 7 | 2400 | 40,00 | 91 | 91 |
| 876 | 897 | 869 | 873 | 97 | 98 | 98 | 7 | 2410 | 40,17 | 91 | 91 |
| 873 | 893 | 864 | 869 | 97 | 98 | 98 | 7 | 2420 | 40,34 | 91 | 91 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 911 | 931 | 906 | 911 | 95 | 98 | 98 | 7 | 2980 | 49,67 | 90 | 91 |
| 911 | 930 | 907 | 912 | 96 | 98 | 98 | 7 | 2990 | 49,84 | 90 | 91 |
| 910 | 930 | 906 | 912 | 97 | 98 | 98 | 7 | 3000 | 50,00 | 90 | 91 |
| 911 | 930 | 906 | 910 | 95 | 98 | 98 | 7 | 3010 | 50,17 | 90 | 91 |
| 911 | 929 | 909 | 914 | 97 | 98 | 97 | 7 | 3020 | 50,34 | 90 | 91 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 937 | 957 | 936 | 941 | 97 | 98 | 97 | 7 | 3580 | 59,67 | 90 | 91 |
| 937 | 956 | 937 | 944 | 97 | 98 | 97 | 7 | 3590 | 59,84 | 90 | 91 |
| 939 | 958 | 938 | 944 | 97 | 98 | 97 | 7 | 3600 | 60,00 | 90 | 91 |
| 939 | 958 | 936 | 941 | 97 | 98 | 97 | 7 | 3610 | 60,17 | 90 | 91 |
| 940 | 959 | 937 | 943 | 97 | 98 | 97 | 7 | 3620 | 60,34 | 90 | 91 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 960 | 978 | 957 | 962 | 97 | 98 | 97 | 7 | 4180 | 69,67 | 90 | 91 |
| 958 | 976 | 956 | 963 | 96 | 98 | 97 | 7 | 4190 | 69,84 | 90 | 91 |
| 957 | 976 | 957 | 963 | 96 | 98 | 96 | 7 | 4200 | 70,00 | 90 | 91 |
| 959 | 977 | 957 | 964 | 97 | 98 | 96 | 7 | 4210 | 70,17 | 90 | 91 |
| 960 | 978 | 958 | 963 | 97 | 98 | 96 | 7 | 4220 | 70,34 | 90 | 91 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 974 | 990 | 974 | 977 | 99 | 98 | 97 | 7 | 4780 | 79,67 | 91 | 92 |
| 975 | 992 | 976 | 981 | 99 | 98 | 97 | 7 | 4790 | 79,84 | 91 | 92 |
| 974 | 992 | 976 | 983 | 100 | 98 | 98 | 7 | 4800 | 80,00 | 91 | 93 |
| 976 | 994 | 976 | 984 | 100 | 98 | 97 | 7 | 4810 | 80,17 | 92 | 93 |
| 977 | 994 | 975 | 980 | 101 | 98 | 98 | 7 | 4820 | 80,34 | 92 | 94 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 989 | 1005 | 992 | 994 | 166 | 119 | 146 | 8 | 5340 | 89,00 | 136 | 158 |
| 988 | 1004 | 991 | 996 | 171 | 120 | 148 | 8 | 5350 | 89,17 | 138 | 163 |
| 990 | 1006 | 992 | 998 | 174 | 122 | 150 | 8 | 5360 | 89,34 | 141 | 166 |

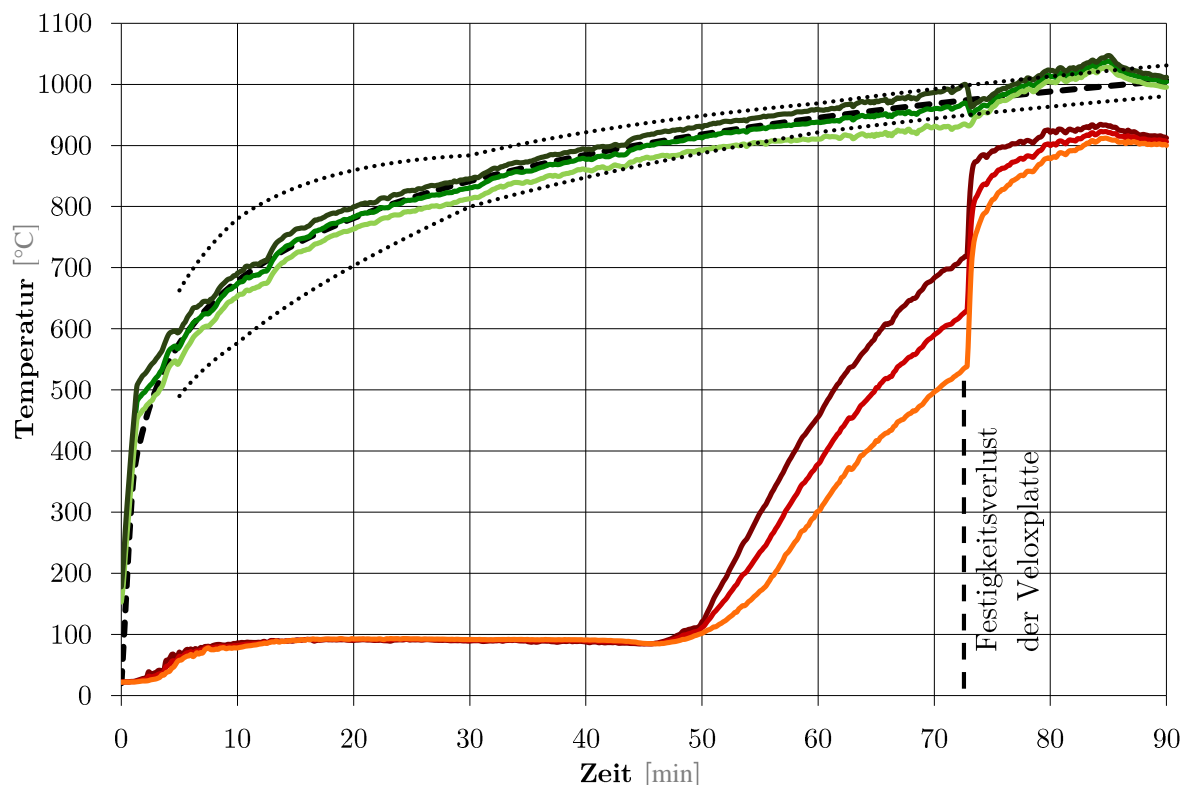
7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----|-------------|---------------|------------|------------|
| 990 | 1008 | 993 | 999 | 178 | 123 | 151 | 8 | 5370 | 89,50 | 143 | 170 |
| 992 | 1010 | 993 | 998 | 180 | 124 | 153 | 8 | 5380 | 89,67 | 144 | 172 |
| 993 | 1010 | 994 | 999 | 182 | 125 | 155 | 8 | 5390 | 89,84 | 146 | 174 |
| 993 | 1009 | 995 | 1001 | 184 | 127 | 158 | 8 | 5400 | 90,00 | 148 | 176 |
| 992 | 1009 | 993 | 999 | 187 | 128 | 162 | 8 | 5410 | 90,17 | 151 | 179 |
| 993 | 1010 | 994 | 1000 | 189 | 129 | 165 | 8 | 5420 | 90,34 | 153 | 181 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1001 | 1017 | 1002 | 1005 | 280 | 178 | 238 | 8 | 5720 | 95,33 | 224 | 272 |
| 1002 | 1020 | 1003 | 1008 | 276 | 180 | 241 | 8 | 5730 | 95,50 | 224 | 268 |
| 1002 | 1020 | 1003 | 1009 | 276 | 182 | 243 | 8 | 5740 | 95,67 | 226 | 268 |
| 1003 | 1020 | 1003 | 1009 | 280 | 182 | 246 | 8 | 5750 | 95,83 | 228 | 272 |
| 1003 | 1020 | 1004 | 1010 | 284 | 190 | 248 | 8 | 5760 | 96,00 | 233 | 276 |
| 999 | 1015 | 1001 | 1005 | 291 | 191 | 249 | 8 | 5770 | 96,17 | 236 | 283 |
| 1003 | 1019 | 1004 | 1009 | 295 | 193 | 252 | 8 | 5780 | 96,33 | 239 | 287 |
| 1004 | 1022 | 1005 | 1010 | 298 | 195 | 254 | 8 | 5790 | 96,50 | 241 | 290 |
| 1004 | 1021 | 1005 | 1010 | 293 | 196 | 256 | 8 | 5800 | 96,67 | 240 | 285 |
| 1003 | 1019 | 1004 | 1010 | 300 | 198 | 258 | 8 | 5810 | 96,83 | 244 | 292 |
| 1002 | 1018 | 1002 | 1007 | 305 | 200 | 260 | 8 | 5820 | 97,00 | 247 | 297 |
| 1002 | 1020 | 1005 | 1012 | 305 | 202 | 262 | 8 | 5830 | 97,17 | 248 | 297 |
| 1001 | 1019 | 1005 | 1012 | 306 | 206 | 264 | 8 | 5840 | 97,33 | 251 | 298 |
| 1004 | 1022 | 1006 | 1013 | 311 | 208 | 267 | 8 | 5850 | 97,50 | 254 | 303 |
| 1005 | 1022 | 1006 | 1012 | 312 | 212 | 269 | 8 | 5860 | 97,67 | 256 | 304 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1009 | 1025 | 1009 | 1013 | 331 | 227 | 289 | 8 | 5950 | 99,16 | 275 | 323 |
| 1009 | 1024 | 1010 | 1015 | 334 | 230 | 292 | 8 | 5960 | 99,33 | 277 | 326 |
| 1010 | 1025 | 1010 | 1013 | 336 | 232 | 294 | 8 | 5970 | 99,50 | 279 | 328 |
| 1008 | 1021 | 1008 | 1012 | 338 | 234 | 296 | 8 | 5980 | 99,66 | 281 | 330 |
| 1010 | 1026 | 1012 | 1016 | 340 | 236 | 299 | 8 | 5990 | 99,83 | 284 | 332 |
| 1011 | 1027 | 1012 | 1018 | 343 | 239 | 301 | 8 | 6000 | 100,00 | 286 | 335 |

Anhang 48: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV1-100a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 100 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.2 Hauptversuchsreihe 2 (HV2) - Plattenstöße

7.5.2.1 Hauptversuchsreihe HV2-90a – WSD 50 lose, Fuge



Anhang 49: Temperaturverlaufdiagramm HV2-90a – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 35 einlagig mit Fuge, unverklebt, Messung im Fugenbereich, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mit- tel | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|----------------|------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 22 | 23 | 24 | 23 | 18 | 18 | 19 | 14 | 0 | 0,00 | 4 | 5 |
| 182 | 185 | 201 | 215 | 18 | 18 | 20 | 13 | 10 | 0,17 | 5 | 7 |
| 226 | 237 | 246 | 269 | 18 | 18 | 20 | 13 | 20 | 0,34 | 5 | 7 |
| 267 | 285 | 285 | 314 | 18 | 19 | 20 | 14 | 30 | 0,50 | 5 | 6 |
| 304 | 330 | 323 | 355 | 18 | 19 | 20 | 15 | 40 | 0,67 | 4 | 5 |
| 345 | 376 | 363 | 397 | 18 | 19 | 20 | 14 | 50 | 0,84 | 5 | 6 |
| 382 | 419 | 400 | 435 | 19 | 20 | 20 | 14 | 60 | 1,00 | 5 | 6 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 649 | 682 | 658 | 687 | 85 | 82 | 78 | 14 | 580 | 9,67 | 67 | 71 |
| 650 | 683 | 660 | 687 | 85 | 82 | 78 | 14 | 590 | 9,84 | 68 | 71 |
| 654 | 688 | 663 | 691 | 86 | 82 | 78 | 14 | 600 | 10,00 | 68 | 72 |
| 656 | 690 | 665 | 693 | 86 | 82 | 79 | 15 | 610 | 10,17 | 68 | 71 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

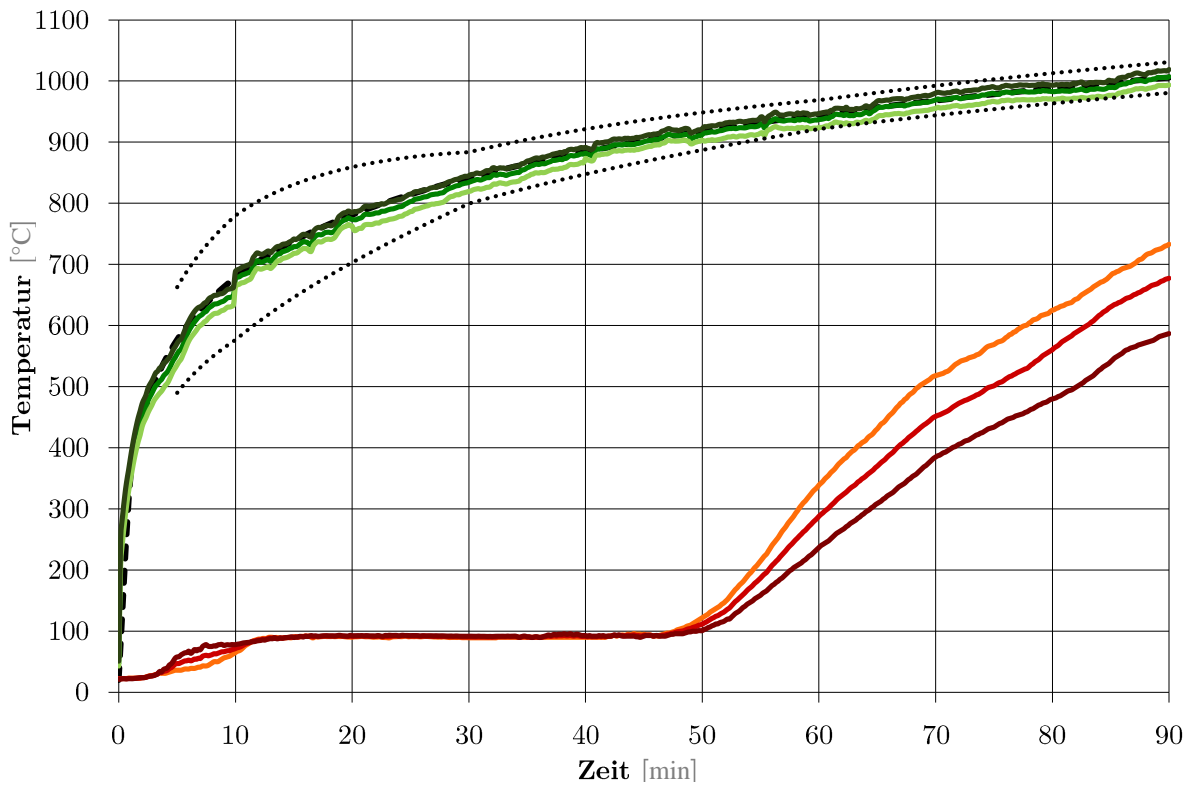
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 657 | 690 | 667 | 695 | 87 | 83 | 79 | 14 | 620 | 10,34 | 69 | 73 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 761 | 796 | 768 | 796 | 90 | 91 | 92 | 12 | 1180 | 19,67 | 79 | 80 |
| 762 | 796 | 769 | 797 | 90 | 92 | 93 | 13 | 1190 | 19,84 | 78 | 80 |
| 763 | 798 | 771 | 800 | 90 | 91 | 93 | 13 | 1200 | 20,00 | 78 | 80 |
| 764 | 799 | 772 | 800 | 91 | 92 | 93 | 13 | 1210 | 20,17 | 78 | 79 |
| 767 | 802 | 773 | 802 | 91 | 92 | 93 | 13 | 1220 | 20,34 | 78 | 79 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 812 | 845 | 817 | 844 | 89 | 91 | 92 | 13 | 1780 | 29,67 | 77 | 78 |
| 812 | 845 | 817 | 844 | 89 | 90 | 92 | 13 | 1790 | 29,84 | 77 | 78 |
| 813 | 846 | 819 | 846 | 89 | 90 | 92 | 13 | 1800 | 30,00 | 77 | 78 |
| 814 | 845 | 819 | 846 | 90 | 91 | 92 | 14 | 1810 | 30,17 | 77 | 78 |
| 815 | 846 | 820 | 847 | 90 | 91 | 92 | 13 | 1820 | 30,34 | 78 | 79 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 861 | 893 | 867 | 894 | 88 | 90 | 91 | 14 | 2380 | 39,67 | 76 | 78 |
| 861 | 893 | 867 | 894 | 88 | 90 | 91 | 14 | 2390 | 39,84 | 76 | 77 |
| 860 | 891 | 865 | 893 | 88 | 89 | 91 | 12 | 2400 | 40,00 | 77 | 79 |
| 860 | 891 | 866 | 894 | 87 | 89 | 91 | 13 | 2410 | 40,17 | 76 | 78 |
| 859 | 891 | 866 | 894 | 87 | 89 | 91 | 13 | 2420 | 40,34 | 75 | 78 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 892 | 928 | 901 | 931 | 112 | 106 | 100 | 13 | 2980 | 49,67 | 93 | 99 |
| 893 | 929 | 902 | 931 | 115 | 108 | 101 | 12 | 2990 | 49,84 | 96 | 103 |
| 892 | 927 | 900 | 930 | 121 | 111 | 102 | 13 | 3000 | 50,00 | 99 | 108 |
| 893 | 930 | 902 | 932 | 124 | 114 | 104 | 13 | 3010 | 50,17 | 101 | 111 |
| 894 | 931 | 903 | 932 | 131 | 118 | 105 | 12 | 3020 | 50,34 | 106 | 118 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 902 | 939 | 913 | 941 | 248 | 197 | 147 | 12 | 3210 | 53,50 | 186 | 236 |
| 902 | 939 | 913 | 942 | 252 | 200 | 147 | 13 | 3220 | 53,67 | 187 | 239 |
| 898 | 936 | 912 | 940 | 256 | 203 | 150 | 13 | 3230 | 53,84 | 189 | 242 |
| 901 | 939 | 914 | 943 | 261 | 207 | 153 | 12 | 3240 | 54,00 | 195 | 249 |
| 903 | 942 | 914 | 944 | 268 | 212 | 156 | 13 | 3250 | 54,17 | 199 | 255 |
| 904 | 943 | 915 | 944 | 274 | 216 | 159 | 12 | 3260 | 54,34 | 204 | 262 |
| 905 | 942 | 916 | 945 | 280 | 221 | 162 | 12 | 3270 | 54,50 | 209 | 268 |
| 904 | 943 | 915 | 945 | 287 | 226 | 165 | 12 | 3280 | 54,67 | 214 | 275 |
| 904 | 944 | 914 | 945 | 293 | 230 | 168 | 12 | 3290 | 54,84 | 219 | 281 |
| 905 | 943 | 915 | 946 | 299 | 235 | 171 | 12 | 3300 | 55,00 | 223 | 287 |
| 905 | 945 | 916 | 947 | 303 | 238 | 173 | 13 | 3310 | 55,17 | 225 | 290 |
| 904 | 946 | 917 | 948 | 309 | 242 | 176 | 13 | 3320 | 55,34 | 229 | 295 |
| 902 | 944 | 917 | 947 | 313 | 246 | 179 | 13 | 3330 | 55,50 | 233 | 299 |
| 905 | 947 | 918 | 948 | 319 | 252 | 184 | 14 | 3340 | 55,67 | 238 | 305 |
| 906 | 948 | 919 | 948 | 325 | 257 | 189 | 14 | 3350 | 55,84 | 243 | 311 |
| 908 | 947 | 919 | 948 | 332 | 263 | 194 | 13 | 3360 | 56,00 | 250 | 319 |
| 907 | 947 | 919 | 948 | 337 | 267 | 197 | 13 | 3370 | 56,17 | 254 | 324 |
| 907 | 948 | 919 | 949 | 343 | 273 | 202 | 13 | 3380 | 56,34 | 260 | 330 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 910 | 955 | 927 | 958 | 447 | 370 | 292 | 13 | 3580 | 59,67 | 356 | 434 |
| 910 | 954 | 928 | 959 | 452 | 375 | 299 | 13 | 3590 | 59,84 | 363 | 439 |
| 911 | 954 | 928 | 959 | 456 | 379 | 301 | 12 | 3600 | 60,00 | 367 | 444 |
| 910 | 953 | 928 | 958 | 460 | 382 | 304 | 12 | 3610 | 60,17 | 370 | 448 |
| 912 | 954 | 928 | 958 | 467 | 388 | 310 | 12 | 3620 | 60,34 | 376 | 454 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 929 | 968 | 953 | 986 | 677 | 584 | 491 | 11 | 4180 | 69,67 | 573 | 666 |
| 929 | 967 | 953 | 986 | 680 | 587 | 494 | 12 | 4190 | 69,84 | 575 | 668 |
| 931 | 968 | 955 | 987 | 683 | 590 | 497 | 12 | 4200 | 70,00 | 578 | 671 |
| 931 | 969 | 955 | 987 | 686 | 592 | 499 | 12 | 4210 | 70,17 | 580 | 674 |
| 929 | 968 | 956 | 988 | 688 | 595 | 501 | 12 | 4220 | 70,34 | 583 | 676 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1004 | 1022 | 1007 | 1022 | 925 | 902 | 878 | 10 | 4780 | 79,67 | 892 | 915 |
| 1006 | 1024 | 1007 | 1023 | 925 | 903 | 880 | 10 | 4790 | 79,84 | 892 | 915 |
| 1005 | 1022 | 1004 | 1020 | 921 | 900 | 878 | 11 | 4800 | 80,00 | 889 | 911 |
| 1005 | 1023 | 1004 | 1020 | 924 | 902 | 880 | 11 | 4810 | 80,17 | 891 | 913 |
| 1004 | 1021 | 1003 | 1020 | 923 | 902 | 882 | 10 | 4820 | 80,34 | 892 | 913 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 998 | 1014 | 1002 | 1014 | 915 | 908 | 901 | 10 | 5350 | 89,17 | 899 | 905 |
| 997 | 1014 | 1001 | 1013 | 915 | 909 | 903 | 10 | 5360 | 89,34 | 899 | 906 |
| 996 | 1012 | 1000 | 1013 | 916 | 909 | 902 | 10 | 5370 | 89,50 | 899 | 906 |
| 996 | 1011 | 999 | 1012 | 914 | 907 | 901 | 10 | 5380 | 89,67 | 897 | 904 |
| 995 | 1011 | 998 | 1011 | 914 | 908 | 902 | 10 | 5390 | 89,84 | 898 | 904 |
| 995 | 1011 | 998 | 1012 | 912 | 906 | 900 | 10 | 5400 | 90,00 | 897 | 903 |

Anhang 50: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV2-90a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.2.2 Hauptversuchsreihe HV2-90b – WSD 50 lose, Fuge



Anhang 51: Temperaturverlaufdiagramm HV2-90b – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50 einlagig mit Fuge, unverklebt, Messung im Fugenbereich, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mit- tel | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|----------------|------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 18 | 20 | 19 | 19 | 17 | 18 | 17 | 13 | 0 | 0,00 | 4 | 5 |
| 121 | 132 | 119 | 117 | 17 | 18 | 17 | 13 | 10 | 0,17 | 4 | 5 |
| 247 | 289 | 261 | 284 | 17 | 19 | 17 | 13 | 20 | 0,34 | 4 | 6 |
| 278 | 319 | 291 | 317 | 17 | 19 | 17 | 14 | 30 | 0,50 | 3 | 5 |
| 304 | 343 | 315 | 342 | 17 | 19 | 18 | 15 | 40 | 0,67 | 3 | 4 |
| 328 | 362 | 336 | 362 | 17 | 19 | 18 | 14 | 50 | 0,84 | 4 | 5 |
| 347 | 378 | 355 | 383 | 18 | 19 | 18 | 14 | 60 | 1,00 | 4 | 5 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 631 | 658 | 637 | 661 | 64 | 71 | 78 | 14 | 580 | 9,67 | 57 | 64 |
| 634 | 660 | 639 | 662 | 65 | 72 | 78 | 14 | 590 | 9,84 | 58 | 64 |
| 664 | 688 | 667 | 688 | 67 | 73 | 78 | 14 | 600 | 10,00 | 58 | 64 |
| 667 | 691 | 668 | 690 | 68 | 73 | 79 | 15 | 610 | 10,17 | 59 | 64 |
| 668 | 693 | 669 | 690 | 69 | 74 | 79 | 14 | 620 | 10,34 | 61 | 66 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

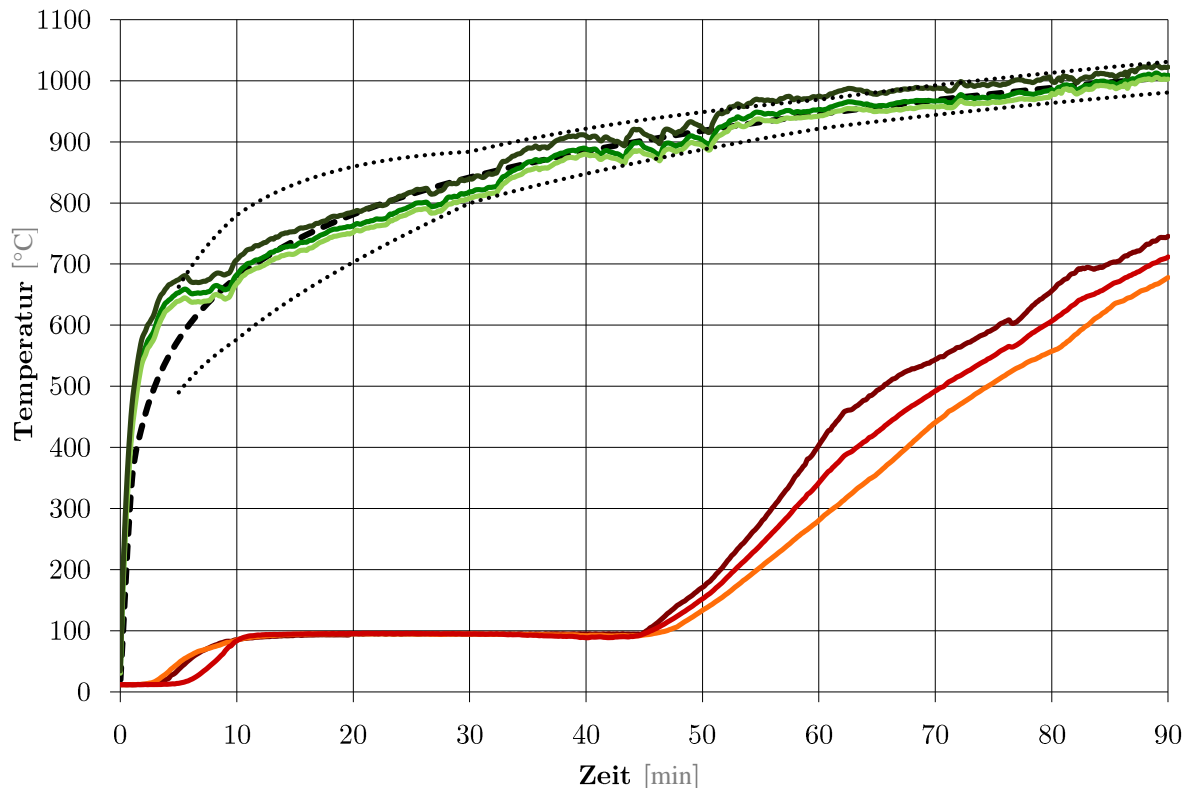
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 765 | 787 | 766 | 786 | 90 | 91 | 92 | 12 | 1180 | 19,67 | 79 | 80 |
| 764 | 786 | 764 | 785 | 90 | 92 | 93 | 13 | 1190 | 19,84 | 78 | 80 |
| 763 | 785 | 763 | 784 | 90 | 91 | 93 | 13 | 1200 | 20,00 | 78 | 80 |
| 756 | 784 | 767 | 787 | 91 | 92 | 93 | 13 | 1210 | 20,17 | 78 | 79 |
| 756 | 783 | 768 | 786 | 91 | 92 | 93 | 13 | 1220 | 20,34 | 78 | 79 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 818 | 842 | 827 | 844 | 89 | 91 | 92 | 13 | 1780 | 29,67 | 77 | 78 |
| 818 | 843 | 828 | 844 | 89 | 91 | 92 | 13 | 1790 | 29,84 | 77 | 78 |
| 819 | 844 | 829 | 845 | 89 | 90 | 92 | 13 | 1800 | 30,00 | 77 | 78 |
| 820 | 845 | 830 | 847 | 89 | 91 | 92 | 14 | 1810 | 30,17 | 77 | 78 |
| 822 | 847 | 831 | 847 | 89 | 90 | 92 | 13 | 1820 | 30,34 | 77 | 79 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 867 | 890 | 875 | 891 | 90 | 89 | 88 | 14 | 2380 | 39,67 | 75 | 76 |
| 866 | 890 | 875 | 890 | 90 | 89 | 89 | 14 | 2390 | 39,84 | 76 | 76 |
| 873 | 892 | 874 | 890 | 90 | 89 | 88 | 12 | 2400 | 40,00 | 76 | 78 |
| 871 | 890 | 872 | 889 | 90 | 89 | 89 | 13 | 2410 | 40,17 | 76 | 77 |
| 870 | 889 | 871 | 888 | 90 | 89 | 88 | 13 | 2420 | 40,34 | 76 | 77 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 902 | 920 | 901 | 919 | 116 | 113 | 110 | 13 | 2980 | 49,67 | 100 | 103 |
| 902 | 920 | 902 | 919 | 118 | 114 | 111 | 12 | 2990 | 49,84 | 102 | 106 |
| 904 | 922 | 903 | 920 | 119 | 115 | 111 | 13 | 3000 | 50,00 | 102 | 106 |
| 902 | 924 | 909 | 925 | 120 | 116 | 112 | 13 | 3010 | 50,17 | 103 | 107 |
| 902 | 925 | 909 | 925 | 122 | 118 | 114 | 12 | 3020 | 50,34 | 106 | 110 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 908 | 932 | 916 | 933 | 157 | 142 | 127 | 13 | 3140 | 52,34 | 129 | 144 |
| 909 | 932 | 916 | 932 | 161 | 145 | 129 | 12 | 3150 | 52,50 | 133 | 149 |
| 910 | 933 | 917 | 933 | 165 | 148 | 132 | 13 | 3160 | 52,67 | 135 | 152 |
| 909 | 931 | 916 | 932 | 169 | 152 | 135 | 12 | 3170 | 52,84 | 140 | 157 |
| 909 | 932 | 917 | 933 | 172 | 154 | 137 | 12 | 3180 | 53,00 | 142 | 160 |
| 910 | 933 | 917 | 934 | 176 | 158 | 140 | 12 | 3190 | 53,17 | 146 | 164 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 922 | 944 | 930 | 945 | 272 | 236 | 201 | 12 | 3430 | 57,17 | 225 | 260 |
| 923 | 945 | 930 | 946 | 276 | 240 | 204 | 13 | 3440 | 57,34 | 227 | 263 |
| 922 | 945 | 930 | 946 | 280 | 243 | 206 | 12 | 3450 | 57,50 | 231 | 268 |
| 923 | 945 | 930 | 946 | 285 | 247 | 209 | 13 | 3460 | 57,67 | 234 | 272 |
| 922 | 945 | 929 | 946 | 290 | 250 | 211 | 12 | 3470 | 57,84 | 239 | 278 |
| 922 | 944 | 930 | 946 | 294 | 254 | 214 | 12 | 3480 | 58,00 | 242 | 282 |
| 924 | 946 | 932 | 948 | 298 | 257 | 217 | 12 | 3490 | 58,17 | 245 | 286 |
| 923 | 945 | 930 | 946 | 303 | 261 | 220 | 12 | 3500 | 58,34 | 249 | 291 |
| 924 | 946 | 931 | 947 | 306 | 264 | 223 | 11 | 3510 | 58,50 | 253 | 295 |
| 923 | 946 | 932 | 948 | 309 | 267 | 225 | 12 | 3520 | 58,67 | 255 | 297 |
| 923 | 945 | 930 | 947 | 313 | 270 | 227 | 12 | 3530 | 58,84 | 258 | 301 |
| 924 | 946 | 931 | 947 | 317 | 273 | 229 | 13 | 3540 | 59,00 | 260 | 304 |
| 922 | 944 | 929 | 944 | 321 | 276 | 231 | 13 | 3550 | 59,17 | 263 | 308 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 922 | 944 | 929 | 945 | 324 | 278 | 233 | 13 | 3560 | 59,34 | 265 | 311 |
| 923 | 945 | 929 | 945 | 327 | 281 | 236 | 13 | 3570 | 59,50 | 268 | 314 |
| 923 | 946 | 930 | 946 | 330 | 284 | 238 | 13 | 3580 | 59,67 | 271 | 317 |
| 923 | 946 | 930 | 946 | 333 | 287 | 241 | 13 | 3590 | 59,84 | 274 | 320 |
| 924 | 947 | 931 | 947 | 336 | 290 | 244 | 12 | 3600 | 60,00 | 278 | 324 |
| 924 | 946 | 931 | 948 | 340 | 293 | 246 | 12 | 3610 | 60,17 | 281 | 328 |
| 924 | 947 | 932 | 948 | 344 | 296 | 249 | 12 | 3620 | 60,34 | 284 | 332 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 954 | 976 | 960 | 978 | 507 | 447 | 388 | 11 | 4180 | 69,67 | 436 | 496 |
| 955 | 978 | 961 | 979 | 510 | 450 | 390 | 12 | 4190 | 69,84 | 438 | 498 |
| 955 | 979 | 962 | 980 | 512 | 452 | 392 | 12 | 4200 | 70,00 | 440 | 500 |
| 957 | 981 | 963 | 982 | 514 | 453 | 393 | 12 | 4210 | 70,17 | 441 | 502 |
| 956 | 980 | 963 | 981 | 517 | 455 | 394 | 12 | 4220 | 70,34 | 443 | 505 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 970 | 993 | 976 | 994 | 631 | 567 | 484 | 10 | 4780 | 79,67 | 551 | 621 |
| 971 | 993 | 976 | 993 | 632 | 569 | 485 | 10 | 4790 | 79,84 | 551 | 622 |
| 970 | 993 | 975 | 993 | 634 | 571 | 487 | 11 | 4800 | 80,00 | 553 | 623 |
| 970 | 993 | 975 | 993 | 636 | 573 | 489 | 11 | 4810 | 80,17 | 555 | 625 |
| 970 | 993 | 975 | 994 | 637 | 575 | 491 | 10 | 4820 | 80,34 | 558 | 627 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 993 | 1016 | 998 | 1016 | 733 | 679 | 595 | 10 | 5350 | 89,17 | 659 | 723 |
| 993 | 1016 | 998 | 1016 | 734 | 681 | 597 | 10 | 5360 | 89,34 | 661 | 724 |
| 993 | 1016 | 998 | 1017 | 735 | 683 | 598 | 10 | 5370 | 89,50 | 662 | 725 |
| 993 | 1016 | 998 | 1017 | 736 | 684 | 600 | 10 | 5380 | 89,67 | 663 | 726 |
| 993 | 1017 | 998 | 1016 | 737 | 686 | 601 | 10 | 5390 | 89,84 | 665 | 727 |
| 994 | 1018 | 999 | 1019 | 738 | 688 | 602 | 10 | 5400 | 90,00 | 666 | 728 |

Anhang 52: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV2-90b mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.2.3 Hauptversuchsreihe HV2-90c – WSD 35 lose, Fuge



Anhang 53: Temperaturverlaufdiagramm HV2-90c – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50 einlagig mit Fuge, unverklebt, Messung im Fugenbereich, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mittel | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|----------------|------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 205 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 208 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 13 | 14 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 0 | 0,00 | 0 | 1 |
| 89 | 95 | 90 | 79 | 12 | 12 | 12 | 11 | 10 | 0,17 | 1 | 1 |
| 218 | 248 | 227 | 217 | 12 | 12 | 12 | 11 | 20 | 0,34 | 1 | 1 |
| 284 | 321 | 290 | 282 | 12 | 12 | 12 | 11 | 30 | 0,50 | 1 | 1 |
| 340 | 380 | 344 | 338 | 11 | 12 | 12 | 11 | 40 | 0,67 | 1 | 1 |
| 387 | 429 | 390 | 387 | 12 | 12 | 12 | 11 | 50 | 0,84 | 1 | 1 |
| 427 | 470 | 430 | 431 | 11 | 12 | 12 | 10 | 60 | 1,00 | 1 | 2 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 664 | 698 | 658 | 670 | 84 | 82 | 79 | 11 | 580 | 9,67 | 70 | 73 |
| 670 | 704 | 664 | 676 | 85 | 84 | 82 | 11 | 590 | 9,84 | 72 | 74 |
| 675 | 707 | 668 | 680 | 85 | 84 | 83 | 11 | 600 | 10,00 | 73 | 74 |
| 679 | 710 | 671 | 683 | 86 | 86 | 85 | 11 | 610 | 10,17 | 75 | 75 |
| 683 | 714 | 676 | 688 | 86 | 86 | 87 | 11 | 620 | 10,34 | 76 | 76 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 752 | 783 | 749 | 759 | 93 | 95 | 96 | 11 | 1180 | 19,67 | 84 | 85 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

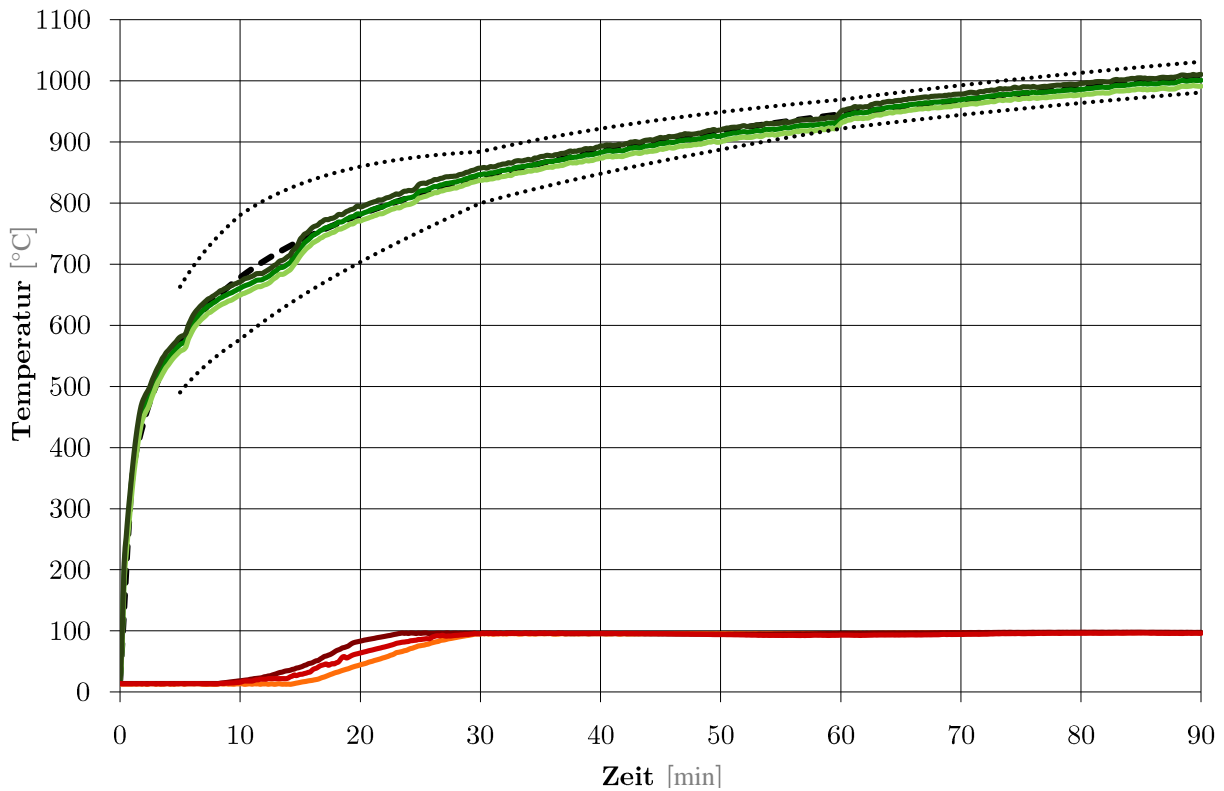
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 752 | 784 | 750 | 759 | 95 | 95 | 95 | 12 | 1190 | 19,84 | 83 | 84 |
| 754 | 785 | 752 | 760 | 95 | 95 | 95 | 12 | 1200 | 20,00 | 83 | 83 |
| 755 | 786 | 755 | 764 | 95 | 95 | 95 | 11 | 1210 | 20,17 | 84 | 84 |
| 757 | 788 | 756 | 765 | 95 | 95 | 95 | 11 | 1220 | 20,34 | 84 | 84 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 807 | 837 | 806 | 812 | 95 | 94 | 95 | 12 | 1780 | 29,67 | 83 | 83 |
| 808 | 838 | 806 | 813 | 95 | 94 | 95 | 12 | 1790 | 29,84 | 83 | 83 |
| 810 | 840 | 808 | 815 | 95 | 94 | 95 | 12 | 1800 | 30,00 | 83 | 83 |
| 810 | 839 | 808 | 815 | 94 | 94 | 95 | 12 | 1810 | 30,17 | 83 | 83 |
| 812 | 840 | 810 | 816 | 95 | 95 | 95 | 11 | 1820 | 30,34 | 84 | 84 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 881 | 912 | 879 | 885 | 95 | 92 | 89 | 11 | 2380 | 39,67 | 81 | 84 |
| 881 | 911 | 880 | 887 | 95 | 92 | 89 | 12 | 2390 | 39,84 | 80 | 83 |
| 881 | 910 | 879 | 885 | 95 | 92 | 89 | 11 | 2400 | 40,00 | 80 | 83 |
| 879 | 908 | 879 | 883 | 95 | 92 | 89 | 11 | 2410 | 40,17 | 81 | 84 |
| 877 | 907 | 878 | 882 | 95 | 92 | 89 | 11 | 2420 | 40,34 | 81 | 84 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 900 | 929 | 897 | 903 | 164 | 127 | 145 | 11 | 2970 | 49,50 | 134 | 153 |
| 899 | 927 | 896 | 902 | 167 | 129 | 148 | 11 | 2980 | 49,67 | 137 | 156 |
| 897 | 926 | 896 | 901 | 169 | 131 | 150 | 11 | 2990 | 49,84 | 139 | 158 |
| 894 | 922 | 893 | 898 | 171 | 133 | 152 | 11 | 3000 | 50,00 | 141 | 160 |
| 891 | 920 | 891 | 896 | 173 | 135 | 154 | 11 | 3010 | 50,17 | 143 | 162 |
| 889 | 918 | 890 | 895 | 177 | 137 | 157 | 11 | 3020 | 50,34 | 146 | 166 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 941 | 969 | 937 | 946 | 272 | 202 | 237 | 11 | 3290 | 54,84 | 226 | 261 |
| 940 | 969 | 937 | 945 | 276 | 204 | 240 | 11 | 3300 | 55,00 | 229 | 265 |
| 939 | 969 | 936 | 943 | 281 | 207 | 244 | 11 | 3310 | 55,17 | 233 | 270 |
| 938 | 967 | 935 | 941 | 284 | 210 | 247 | 11 | 3320 | 55,34 | 236 | 272 |
| 939 | 968 | 935 | 942 | 288 | 212 | 250 | 11 | 3330 | 55,50 | 239 | 277 |
| 941 | 968 | 935 | 942 | 292 | 215 | 253 | 11 | 3340 | 55,67 | 242 | 281 |
| 940 | 967 | 934 | 943 | 296 | 217 | 257 | 11 | 3350 | 55,84 | 246 | 285 |
| 940 | 968 | 934 | 943 | 301 | 219 | 261 | 11 | 3360 | 56,00 | 250 | 290 |
| 939 | 967 | 934 | 942 | 304 | 222 | 263 | 11 | 3370 | 56,17 | 252 | 293 |
| 938 | 966 | 933 | 941 | 309 | 224 | 267 | 11 | 3380 | 56,34 | 256 | 298 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 945 | 974 | 941 | 948 | 394 | 275 | 335 | 11 | 3580 | 59,67 | 324 | 383 |
| 945 | 973 | 942 | 949 | 399 | 278 | 338 | 11 | 3590 | 59,84 | 327 | 388 |
| 946 | 975 | 942 | 949 | 404 | 281 | 342 | 11 | 3600 | 60,00 | 331 | 393 |
| 945 | 974 | 943 | 949 | 409 | 283 | 346 | 11 | 3610 | 60,17 | 335 | 397 |
| 944 | 973 | 943 | 948 | 413 | 286 | 350 | 11 | 3620 | 60,34 | 339 | 402 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 960 | 988 | 958 | 964 | 541 | 436 | 488 | 12 | 4180 | 69,67 | 476 | 529 |
| 960 | 987 | 957 | 963 | 542 | 439 | 490 | 11 | 4190 | 69,84 | 479 | 530 |
| 959 | 988 | 957 | 963 | 544 | 441 | 492 | 12 | 4200 | 70,00 | 481 | 532 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 960 | 988 | 957 | 963 | 545 | 443 | 494 | 11 | 4210 | 70,17 | 483 | 534 |
| 960 | 988 | 957 | 963 | 547 | 445 | 496 | 12 | 4220 | 70,34 | 485 | 536 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 976 | 1005 | 973 | 980 | 651 | 554 | 603 | 11 | 4780 | 79,67 | 591 | 640 |
| 977 | 1006 | 973 | 981 | 653 | 556 | 605 | 12 | 4790 | 79,84 | 593 | 641 |
| 980 | 1000 | 979 | 984 | 656 | 557 | 607 | 12 | 4800 | 80,00 | 595 | 644 |
| 978 | 998 | 978 | 982 | 659 | 559 | 609 | 12 | 4810 | 80,17 | 597 | 647 |
| 978 | 998 | 978 | 982 | 662 | 560 | 611 | 11 | 4820 | 80,34 | 600 | 651 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1004 | 1025 | 1005 | 1011 | 741 | 668 | 705 | 11 | 5350 | 89,17 | 693 | 730 |
| 1002 | 1022 | 1003 | 1009 | 743 | 670 | 707 | 11 | 5360 | 89,34 | 696 | 732 |
| 1002 | 1021 | 1003 | 1008 | 743 | 672 | 708 | 12 | 5370 | 89,50 | 696 | 732 |
| 1003 | 1022 | 1004 | 1009 | 743 | 674 | 709 | 12 | 5380 | 89,67 | 697 | 732 |
| 1002 | 1022 | 1002 | 1008 | 743 | 676 | 710 | 12 | 5390 | 89,84 | 698 | 732 |
| 1003 | 1022 | 1003 | 1009 | 745 | 678 | 712 | 12 | 5400 | 90,00 | 700 | 733 |

Anhang 54: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV2-90c mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.2.4 Hauptversuchsreihe HV2-90d – 2x WSD 35 lose, Fuge



Anhang 55: Temperaturverlaufdiagramm HV2-90c – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 35 zweilagig inkl. versetzter Fuge, unverklebt, Messung im Fugenbereich der unteren Platte, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT kurz | BT mitte | BT lang | Raum-temp. | Intervall | | Mittelwert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|--------------|------------|------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 208 | Chn 209 | Chn 212 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 16 | 15 | 16 | 16 | 13 | 14 | 14 | 12 | 0 | 0,00 | 2 | 2 |
| 78 | 87 | 76 | 92 | 13 | 14 | 14 | 11 | 10 | 0,17 | 3 | 3 |
| 188 | 210 | 182 | 207 | 13 | 14 | 14 | 10 | 20 | 0,34 | 3 | 4 |
| 228 | 252 | 224 | 252 | 13 | 14 | 14 | 10 | 30 | 0,50 | 3 | 4 |
| 264 | 289 | 262 | 293 | 13 | 14 | 14 | 10 | 40 | 0,67 | 3 | 4 |
| 298 | 322 | 296 | 327 | 13 | 14 | 14 | 10 | 50 | 0,84 | 3 | 4 |
| 331 | 355 | 330 | 361 | 13 | 14 | 14 | 10 | 60 | 1,00 | 3 | 4 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 647 | 668 | 646 | 668 | 13 | 18 | 16 | 11 | 580 | 9,67 | 5 | 7 |
| 649 | 670 | 648 | 670 | 13 | 18 | 16 | 10 | 590 | 9,84 | 5 | 8 |
| 651 | 671 | 649 | 671 | 14 | 18 | 16 | 11 | 600 | 10,00 | 5 | 8 |
| 653 | 673 | 651 | 673 | 14 | 19 | 17 | 11 | 610 | 10,17 | 6 | 8 |
| 655 | 676 | 652 | 674 | 13 | 19 | 18 | 11 | 620 | 10,34 | 6 | 9 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|-----------|-----------|
| 772 | 794 | 770 | 790 | 43 | 82 | 62 | 11 | 1180 | 19,67 | 52 | 71 |
| 773 | 795 | 771 | 790 | 43 | 83 | 63 | 10 | 1190 | 19,84 | 53 | 72 |
| 773 | 794 | 770 | 790 | 45 | 83 | 64 | 10 | 1200 | 20,00 | 54 | 73 |
| 773 | 794 | 772 | 791 | 45 | 84 | 65 | 10 | 1210 | 20,17 | 54 | 74 |
| 775 | 796 | 773 | 793 | 46 | 85 | 66 | 11 | 1220 | 20,34 | 55 | 74 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 836 | 856 | 836 | 853 | 95 | 96 | 95 | 10 | 1780 | 29,67 | 85 | 85 |
| 838 | 857 | 837 | 854 | 95 | 96 | 95 | 11 | 1790 | 29,84 | 85 | 85 |
| 838 | 857 | 837 | 854 | 95 | 96 | 95 | 10 | 1800 | 30,00 | 85 | 85 |
| 839 | 858 | 837 | 854 | 96 | 97 | 96 | 10 | 1810 | 30,17 | 86 | 86 |
| 839 | 858 | 838 | 855 | 95 | 96 | 96 | 10 | 1820 | 30,34 | 85 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 873 | 891 | 872 | 889 | 92 | 96 | 96 | 10 | 2380 | 39,67 | 84 | 86 |
| 872 | 891 | 872 | 890 | 93 | 96 | 96 | 10 | 2390 | 39,84 | 85 | 86 |
| 874 | 894 | 874 | 892 | 93 | 96 | 96 | 10 | 2400 | 40,00 | 84 | 86 |
| 875 | 893 | 874 | 892 | 93 | 95 | 96 | 10 | 2410 | 40,17 | 85 | 86 |
| 875 | 894 | 875 | 893 | 93 | 95 | 96 | 10 | 2420 | 40,34 | 85 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 900 | 918 | 899 | 917 | 96 | 95 | 94 | 10 | 2980 | 49,67 | 84 | 85 |
| 901 | 919 | 899 | 917 | 96 | 95 | 94 | 10 | 2990 | 49,84 | 84 | 85 |
| 902 | 919 | 900 | 917 | 96 | 95 | 94 | 10 | 3000 | 50,00 | 84 | 85 |
| 902 | 921 | 901 | 919 | 96 | 95 | 94 | 10 | 3010 | 50,17 | 84 | 85 |
| 903 | 922 | 902 | 919 | 95 | 95 | 94 | 10 | 3020 | 50,34 | 84 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 924 | 942 | 924 | 941 | 96 | 96 | 93 | 10 | 3580 | 59,67 | 84 | 85 |
| 927 | 946 | 927 | 944 | 96 | 96 | 93 | 10 | 3590 | 59,84 | 85 | 86 |
| 930 | 949 | 930 | 947 | 96 | 96 | 93 | 10 | 3600 | 60,00 | 85 | 86 |
| 932 | 952 | 932 | 950 | 96 | 96 | 93 | 10 | 3610 | 60,17 | 85 | 86 |
| 933 | 952 | 934 | 951 | 96 | 96 | 93 | 10 | 3620 | 60,34 | 85 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 960 | 978 | 959 | 976 | 97 | 97 | 94 | 10 | 4180 | 69,67 | 86 | 87 |
| 959 | 978 | 960 | 977 | 97 | 97 | 94 | 10 | 4190 | 69,84 | 86 | 87 |
| 960 | 978 | 960 | 977 | 97 | 97 | 94 | 10 | 4200 | 70,00 | 86 | 87 |
| 961 | 978 | 961 | 978 | 97 | 97 | 94 | 10 | 4210 | 70,17 | 86 | 87 |
| 961 | 979 | 961 | 978 | 97 | 97 | 94 | 10 | 4220 | 70,34 | 86 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 976 | 994 | 976 | 993 | 97 | 98 | 96 | 10 | 4780 | 79,67 | 87 | 88 |
| 977 | 995 | 977 | 994 | 97 | 98 | 96 | 10 | 4790 | 79,84 | 87 | 88 |
| 977 | 996 | 977 | 995 | 97 | 98 | 96 | 10 | 4800 | 80,00 | 87 | 88 |
| 977 | 996 | 977 | 994 | 97 | 98 | 96 | 10 | 4810 | 80,17 | 87 | 88 |
| 978 | 996 | 978 | 994 | 97 | 98 | 96 | 10 | 4820 | 80,34 | 87 | 88 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 991 | 1009 | 992 | 1009 | 97 | 98 | 96 | 10 | 5350 | 89,17 | 87 | 88 |
| 992 | 1010 | 992 | 1009 | 97 | 98 | 96 | 10 | 5360 | 89,34 | 87 | 88 |

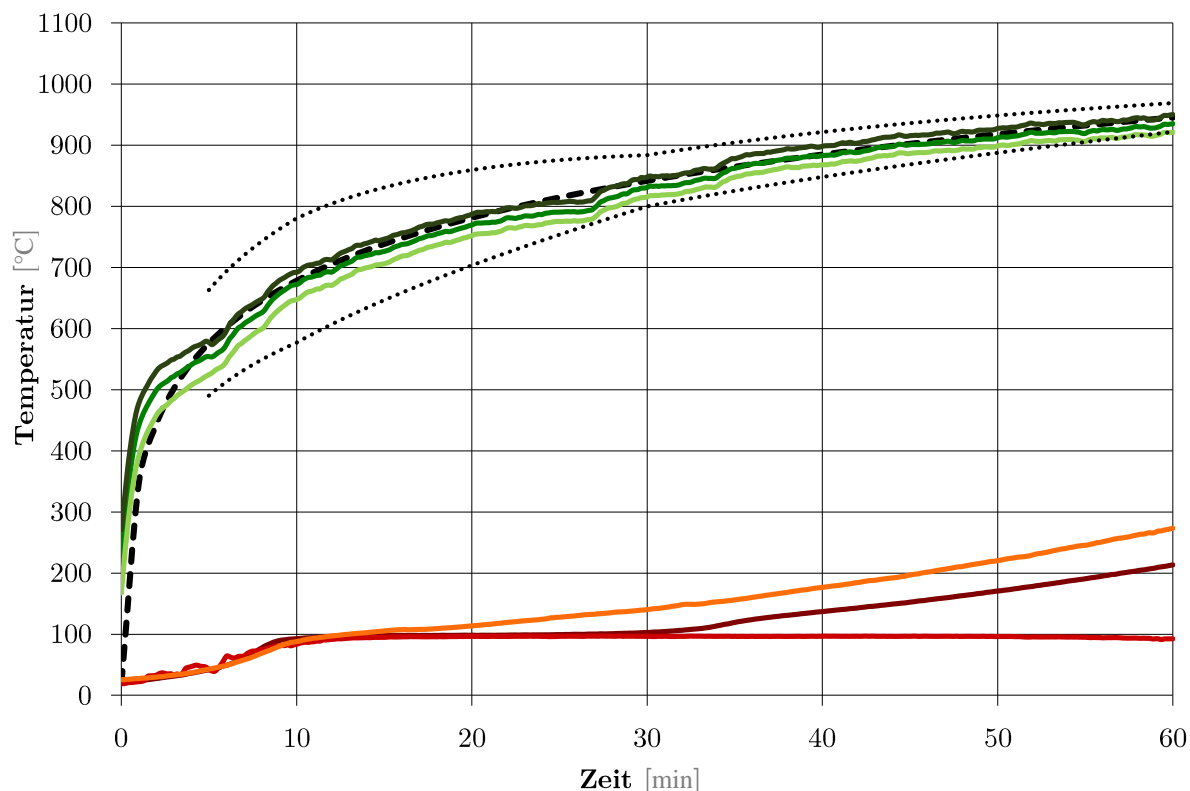
7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|-----------|-----------|
| 992 | 1010 | 992 | 1009 | 97 | 98 | 96 | 10 | 5370 | 89,50 | 87 | 87 |
| 991 | 1009 | 992 | 1009 | 97 | 98 | 96 | 11 | 5380 | 89,67 | 86 | 87 |
| 991 | 1009 | 993 | 1010 | 97 | 98 | 96 | 12 | 5390 | 89,84 | 85 | 86 |
| 991 | 1009 | 993 | 1010 | 97 | 98 | 96 | 11 | 5400 | 90,00 | 86 | 87 |

Anhang 56: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV2-90c mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min

7.5.3 Hauptversuchsreihe 3 (HV3) - Schrauben

7.5.3.1 Hauptversuchsreihe HV3-60a- WSD 50, Schraube



Anhang 57: Temperaturverlaufdiagramm HV3-60a – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50 einlagig geschraubt, Messung unmittelbar an der Schraube (dunkelrot), in 5mm Entfernung (rot) und in 10mm Entfernung (orange), Versuchsdauer 60 Minuten

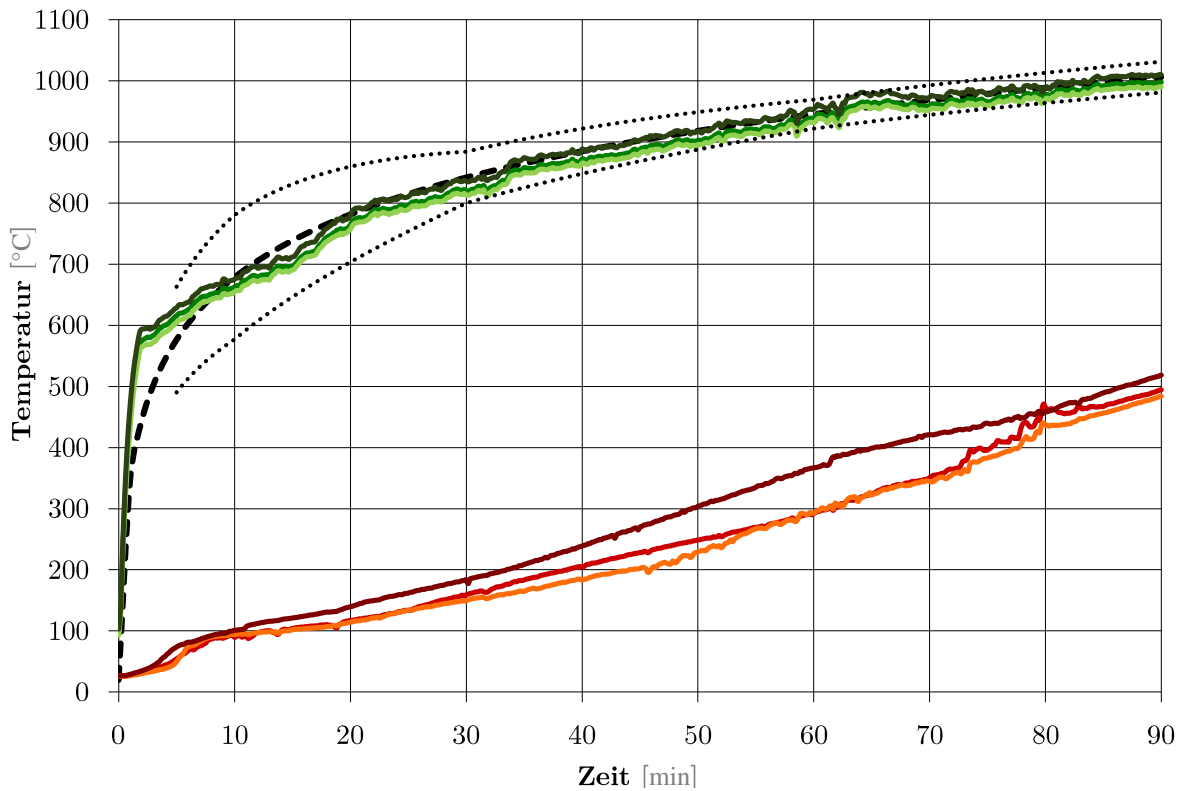
| Ofentemperatur | | | | 0mm | 5mm | 10mm | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------------|------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 208 | Chn 209 | Chn 212 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 39 | 49 | 45 | 41 | 16 | 16 | 15 | 11 | 0 | 0,00 | 5 | 5 |
| 101 | 111 | 108 | 103 | 17 | 16 | 16 | 10 | 10 | 0,17 | 6 | 7 |
| 269 | 365 | 354 | 312 | 18 | 17 | 16 | 10 | 20 | 0,34 | 7 | 8 |
| 310 | 403 | 386 | 358 | 19 | 18 | 17 | 10 | 30 | 0,50 | 8 | 9 |
| 345 | 435 | 413 | 396 | 20 | 18 | 17 | 11 | 40 | 0,67 | 8 | 9 |
| 372 | 461 | 435 | 426 | 21 | 19 | 18 | 10 | 50 | 0,84 | 9 | 11 |
| 392 | 478 | 450 | 447 | 22 | 19 | 19 | 10 | 60 | 1,00 | 10 | 12 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 645 | 690 | 664 | 681 | 87 | 92 | 81 | 10 | 580 | 9,67 | 77 | 77 |
| 646 | 692 | 667 | 681 | 87 | 92 | 82 | 10 | 590 | 9,84 | 77 | 77 |
| 647 | 692 | 667 | 682 | 88 | 93 | 84 | 10 | 600 | 10,00 | 78 | 78 |
| 650 | 694 | 669 | 684 | 89 | 93 | 85 | 10 | 610 | 10,17 | 78 | 78 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 654 | 699 | 673 | 688 | 90 | 93 | 86 | 10 | 620 | 10,34 | 80 | 80 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 749 | 784 | 758 | 775 | 113 | 98 | 96 | 11 | 1180 | 19,67 | 91 | 102 |
| 751 | 785 | 760 | 777 | 113 | 98 | 96 | 11 | 1190 | 19,84 | 91 | 102 |
| 752 | 787 | 762 | 777 | 114 | 98 | 97 | 11 | 1200 | 20,00 | 92 | 103 |
| 754 | 789 | 765 | 779 | 114 | 98 | 96 | 11 | 1210 | 20,17 | 92 | 103 |
| 755 | 790 | 766 | 780 | 114 | 98 | 97 | 11 | 1220 | 20,34 | 92 | 103 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 814 | 847 | 821 | 838 | 139 | 102 | 97 | 11 | 1780 | 29,67 | 102 | 128 |
| 814 | 846 | 820 | 838 | 140 | 103 | 96 | 12 | 1790 | 29,84 | 101 | 128 |
| 815 | 848 | 821 | 839 | 140 | 103 | 97 | 11 | 1800 | 30,00 | 102 | 129 |
| 817 | 850 | 824 | 842 | 141 | 103 | 96 | 11 | 1810 | 30,17 | 102 | 130 |
| 817 | 848 | 823 | 841 | 142 | 103 | 96 | 11 | 1820 | 30,34 | 103 | 130 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 828 | 859 | 834 | 850 | 149 | 109 | 97 | 12 | 1970 | 32,84 | 107 | 137 |
| 829 | 860 | 834 | 852 | 149 | 109 | 97 | 12 | 1980 | 33,00 | 107 | 138 |
| 830 | 861 | 836 | 853 | 150 | 110 | 97 | 12 | 1990 | 33,17 | 107 | 138 |
| 832 | 862 | 836 | 854 | 150 | 110 | 97 | 12 | 2000 | 33,34 | 107 | 139 |
| 831 | 861 | 836 | 854 | 151 | 111 | 97 | 12 | 2010 | 33,50 | 108 | 139 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 867 | 897 | 871 | 891 | 176 | 136 | 96 | 12 | 2380 | 39,67 | 124 | 164 |
| 867 | 897 | 872 | 892 | 176 | 137 | 97 | 12 | 2390 | 39,84 | 124 | 164 |
| 868 | 898 | 873 | 893 | 177 | 137 | 97 | 12 | 2400 | 40,00 | 125 | 165 |
| 868 | 899 | 874 | 893 | 177 | 137 | 97 | 12 | 2410 | 40,17 | 125 | 165 |
| 868 | 899 | 874 | 893 | 178 | 138 | 97 | 12 | 2420 | 40,34 | 126 | 166 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 897 | 925 | 900 | 919 | 219 | 169 | 96 | 13 | 2980 | 49,67 | 149 | 206 |
| 897 | 926 | 899 | 920 | 219 | 170 | 96 | 12 | 2990 | 49,84 | 149 | 207 |
| 899 | 927 | 902 | 921 | 220 | 171 | 96 | 13 | 3000 | 50,00 | 150 | 208 |
| 900 | 928 | 902 | 923 | 221 | 171 | 96 | 12 | 3010 | 50,17 | 150 | 209 |
| 900 | 928 | 902 | 923 | 222 | 172 | 96 | 13 | 3020 | 50,34 | 151 | 209 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 917 | 944 | 920 | 938 | 278 | 209 | 92 | 13 | 3550 | 59,17 | 181 | 266 |
| 919 | 946 | 922 | 940 | 279 | 210 | 91 | 12 | 3560 | 59,34 | 181 | 267 |
| 921 | 949 | 924 | 943 | 281 | 211 | 92 | 12 | 3570 | 59,50 | 182 | 268 |
| 921 | 948 | 924 | 942 | 282 | 212 | 92 | 12 | 3580 | 59,67 | 183 | 270 |
| 921 | 949 | 925 | 943 | 284 | 213 | 92 | 12 | 3590 | 59,84 | 184 | 271 |
| 921 | 950 | 925 | 944 | 285 | 213 | 92 | 12 | 3600 | 60,00 | 185 | 273 |

Anhang 58: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV3-60a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 60 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min

7.5.3.2 Hauptversuchsreihe HV3-90a– WSD 50, Schraube



Anhang 59: Temperaturverlaufdiagramm HV3-90a – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50 einlagig geschraubt, Messung jeweils unmittelbar an der Schraube, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mit- tel | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|----------------|------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 24 | 27 | 22 | 24 | 13 | 14 | 14 | 9 | 0 | 0,00 | 4 | 5 |
| 58 | 78 | 69 | 73 | 14 | 15 | 14 | 9 | 10 | 0,17 | 5 | 6 |
| 166 | 169 | 184 | 199 | 15 | 15 | 15 | 10 | 20 | 0,34 | 5 | 5 |
| 278 | 319 | 291 | 317 | 16 | 15 | 17 | 9 | 30 | 0,50 | 7 | 8 |
| 304 | 343 | 315 | 342 | 16 | 16 | 18 | 10 | 40 | 0,67 | 7 | 8 |
| 328 | 362 | 336 | 362 | 18 | 17 | 21 | 10 | 50 | 0,84 | 9 | 11 |
| 347 | 378 | 355 | 383 | 21 | 18 | 23 | 10 | 60 | 1,00 | 11 | 13 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 631 | 658 | 637 | 661 | 93 | 94 | 99 | 11 | 580 | 9,67 | 85 | 89 |
| 634 | 660 | 639 | 662 | 94 | 94 | 100 | 11 | 590 | 9,84 | 85 | 89 |
| 634 | 661 | 640 | 664 | 89 | 94 | 101 | 11 | 600 | 10,00 | 84 | 90 |
| 635 | 663 | 641 | 665 | 91 | 94 | 101 | 10 | 610 | 10,17 | 86 | 91 |
| 638 | 666 | 644 | 667 | 93 | 95 | 102 | 10 | 620 | 10,34 | 86 | 92 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

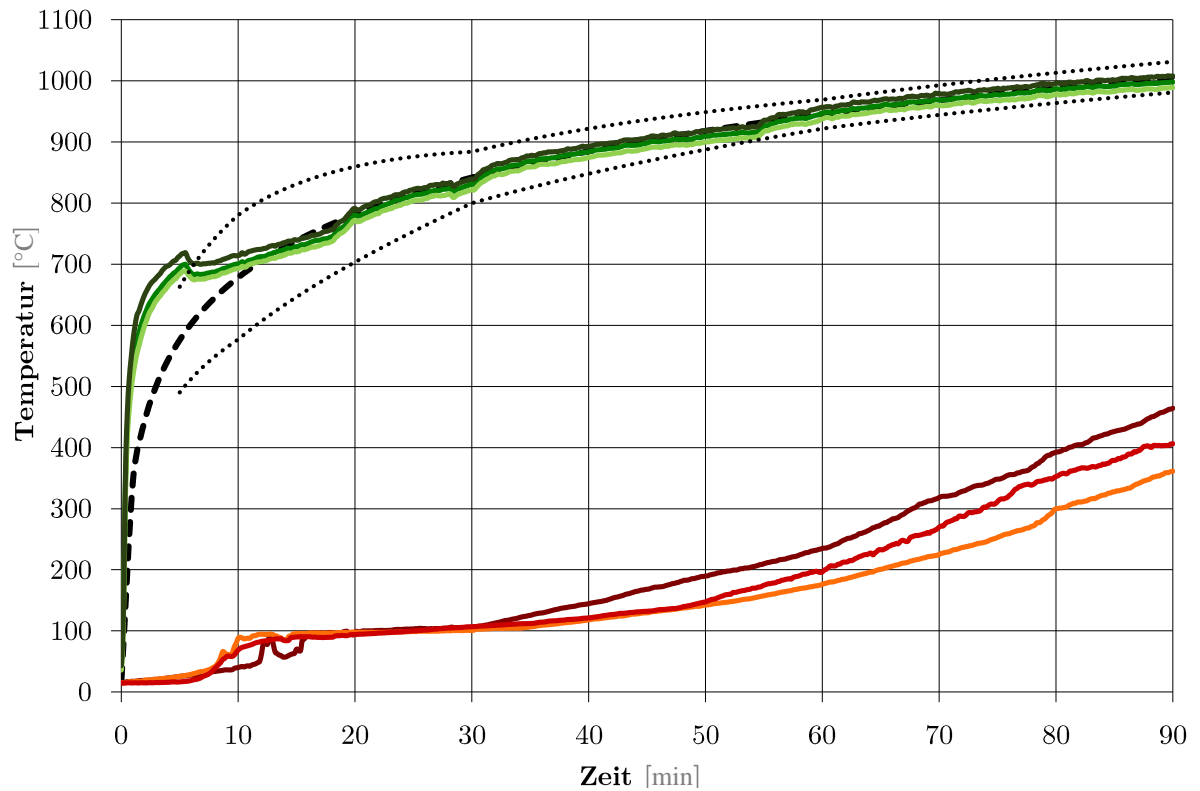
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 752 | 773 | 751 | 755 | 116 | 113 | 138 | 9 | 1180 | 19,67 | 113 | 129 |
| 755 | 776 | 754 | 758 | 117 | 114 | 139 | 10 | 1190 | 19,84 | 113 | 129 |
| 759 | 780 | 757 | 761 | 117 | 114 | 140 | 9 | 1200 | 20,00 | 115 | 131 |
| 764 | 787 | 763 | 766 | 117 | 115 | 140 | 8 | 1210 | 20,17 | 116 | 132 |
| 768 | 790 | 766 | 770 | 118 | 116 | 142 | 9 | 1220 | 20,34 | 116 | 133 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 803 | 823 | 802 | 807 | 148 | 142 | 173 | 9 | 1650 | 27,50 | 146 | 164 |
| 803 | 822 | 803 | 808 | 149 | 143 | 174 | 8 | 1660 | 27,67 | 147 | 166 |
| 801 | 820 | 801 | 807 | 150 | 144 | 174 | 8 | 1670 | 27,84 | 148 | 166 |
| 804 | 824 | 804 | 810 | 150 | 144 | 175 | 8 | 1680 | 28,00 | 148 | 167 |
| 807 | 826 | 805 | 811 | 151 | 145 | 176 | 8 | 1690 | 28,17 | 149 | 167 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 814 | 835 | 814 | 819 | 159 | 150 | 182 | 9 | 1780 | 29,67 | 155 | 174 |
| 816 | 837 | 816 | 821 | 157 | 149 | 182 | 8 | 1790 | 29,84 | 154 | 174 |
| 814 | 836 | 813 | 819 | 159 | 149 | 184 | 8 | 1800 | 30,00 | 156 | 175 |
| 813 | 835 | 813 | 818 | 160 | 151 | 177 | 9 | 1810 | 30,17 | 154 | 169 |
| 815 | 836 | 814 | 819 | 161 | 152 | 185 | 9 | 1820 | 30,34 | 157 | 176 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 860 | 881 | 861 | 865 | 205 | 185 | 237 | 8 | 2380 | 39,67 | 201 | 229 |
| 861 | 882 | 862 | 866 | 205 | 185 | 238 | 7 | 2390 | 39,84 | 203 | 231 |
| 866 | 888 | 865 | 869 | 204 | 183 | 239 | 7 | 2400 | 40,00 | 201 | 232 |
| 865 | 887 | 865 | 869 | 205 | 184 | 240 | 7 | 2410 | 40,17 | 203 | 233 |
| 864 | 885 | 863 | 868 | 208 | 185 | 241 | 8 | 2420 | 40,34 | 203 | 233 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 887 | 910 | 886 | 890 | 230 | 197 | 275 | 7 | 2750 | 45,84 | 227 | 268 |
| 887 | 910 | 887 | 892 | 232 | 202 | 276 | 7 | 2760 | 46,00 | 229 | 269 |
| 886 | 909 | 886 | 892 | 233 | 205 | 278 | 8 | 2770 | 46,17 | 231 | 270 |
| 888 | 911 | 888 | 894 | 234 | 204 | 279 | 8 | 2780 | 46,34 | 231 | 271 |
| 888 | 910 | 888 | 894 | 235 | 206 | 280 | 8 | 2790 | 46,50 | 233 | 272 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 897 | 918 | 895 | 902 | 246 | 223 | 298 | 8 | 2950 | 49,17 | 248 | 291 |
| 893 | 913 | 892 | 899 | 246 | 220 | 299 | 7 | 2960 | 49,34 | 247 | 292 |
| 896 | 916 | 895 | 901 | 247 | 222 | 301 | 7 | 2970 | 49,50 | 250 | 294 |
| 895 | 915 | 894 | 900 | 248 | 227 | 302 | 8 | 2980 | 49,67 | 251 | 294 |
| 895 | 916 | 894 | 900 | 248 | 228 | 302 | 7 | 2990 | 49,84 | 252 | 294 |
| 896 | 917 | 896 | 901 | 249 | 229 | 304 | 7 | 3000 | 50,00 | 253 | 297 |
| 896 | 917 | 897 | 903 | 249 | 230 | 305 | 7 | 3010 | 50,17 | 254 | 297 |
| 895 | 915 | 896 | 901 | 250 | 231 | 306 | 8 | 3020 | 50,34 | 255 | 299 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 932 | 954 | 932 | 937 | 291 | 294 | 366 | 8 | 3580 | 59,67 | 309 | 358 |
| 932 | 953 | 932 | 938 | 290 | 293 | 366 | 8 | 3590 | 59,84 | 308 | 359 |
| 934 | 954 | 932 | 937 | 292 | 293 | 367 | 8 | 3600 | 60,00 | 310 | 359 |
| 937 | 957 | 934 | 939 | 294 | 295 | 367 | 7 | 3610 | 60,17 | 311 | 360 |
| 941 | 961 | 938 | 942 | 295 | 296 | 368 | 7 | 3620 | 60,34 | 312 | 360 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|-------------|--------------|------------|------------|
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 952 | 972 | 952 | 959 | 348 | 345 | 420 | 8 | 4180 | 69,67 | 363 | 412 |
| 952 | 972 | 951 | 958 | 349 | 346 | 421 | 7 | 4190 | 69,84 | 364 | 414 |
| 953 | 973 | 952 | 959 | 351 | 345 | 421 | 7 | 4200 | 70,00 | 365 | 414 |
| 955 | 976 | 955 | 962 | 353 | 344 | 421 | 6 | 4210 | 70,17 | 366 | 415 |
| 955 | 975 | 955 | 963 | 355 | 344 | 421 | 7 | 4220 | 70,34 | 366 | 414 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 965 | 981 | 963 | 969 | 460 | 438 | 456 | 6 | 4780 | 79,67 | 446 | 455 |
| 967 | 983 | 965 | 968 | 471 | 440 | 456 | 5 | 4790 | 79,84 | 451 | 466 |
| 972 | 990 | 970 | 973 | 465 | 437 | 458 | 6 | 4800 | 80,00 | 447 | 459 |
| 972 | 990 | 972 | 976 | 463 | 436 | 459 | 6 | 4810 | 80,17 | 447 | 458 |
| 969 | 986 | 970 | 976 | 460 | 435 | 460 | 6 | 4820 | 80,34 | 446 | 454 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 989 | 1010 | 990 | 996 | 489 | 479 | 514 | 6 | 5350 | 89,17 | 488 | 508 |
| 987 | 1007 | 989 | 995 | 490 | 480 | 514 | 6 | 5360 | 89,34 | 489 | 508 |
| 989 | 1008 | 989 | 996 | 491 | 481 | 515 | 6 | 5370 | 89,50 | 490 | 509 |
| 989 | 1009 | 990 | 997 | 493 | 482 | 516 | 7 | 5380 | 89,67 | 490 | 509 |
| 990 | 1010 | 992 | 999 | 494 | 483 | 517 | 6 | 5390 | 89,84 | 492 | 511 |
| 990 | 1010 | 992 | 999 | 494 | 484 | 518 | 6 | 5400 | 90,00 | 493 | 512 |

Anhang 60: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV3-90a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.3.3 Hauptversuchsreihe HV3-90b- WSD 50, Schraube



Anhang 61: Temperaturverlaufdiagramm HV3-90b – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50 einlagig geschraubt, Messung jeweils in 5mm Entfernung zur Schraube, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mit- tel | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|----------------|------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 43 | 36 | 39 | 40 | 15 | 16 | 15 | 10 | 0 | 0,00 | 5 | 6 |
| 121 | 116 | 107 | 123 | 15 | 15 | 15 | 10 | 10 | 0,17 | 5 | 5 |
| 309 | 333 | 342 | 318 | 16 | 15 | 15 | 9 | 20 | 0,34 | 6 | 7 |
| 429 | 453 | 414 | 417 | 17 | 16 | 15 | 9 | 30 | 0,50 | 7 | 8 |
| 480 | 510 | 460 | 463 | 17 | 17 | 15 | 9 | 40 | 0,67 | 7 | 8 |
| 513 | 545 | 493 | 495 | 18 | 17 | 15 | 9 | 50 | 0,84 | 7 | 8 |
| 542 | 576 | 521 | 519 | 18 | 17 | 15 | 9 | 60 | 1,00 | 7 | 8 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 693 | 714 | 692 | 699 | 39 | 74 | 60 | 9 | 580 | 9,67 | 49 | 65 |
| 693 | 714 | 693 | 701 | 40 | 80 | 65 | 9 | 590 | 9,84 | 52 | 71 |
| 693 | 714 | 693 | 700 | 40 | 88 | 69 | 9 | 600 | 10,00 | 57 | 79 |
| 694 | 715 | 694 | 702 | 41 | 90 | 71 | 9 | 610 | 10,17 | 58 | 80 |
| 697 | 719 | 697 | 705 | 42 | 89 | 73 | 9 | 620 | 10,34 | 59 | 79 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

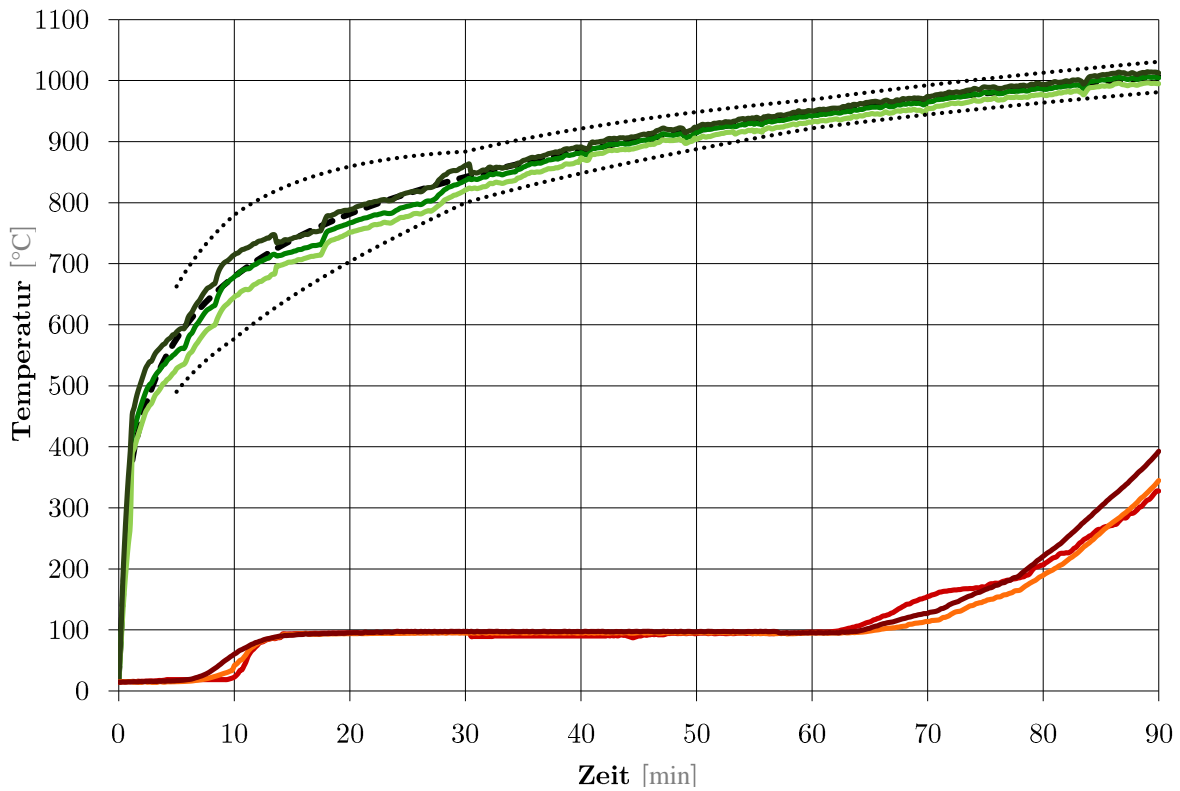
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 766 | 786 | 768 | 781 | 95 | 98 | 94 | 9 | 1180 | 19,67 | 87 | 89 |
| 770 | 790 | 773 | 785 | 93 | 98 | 94 | 9 | 1190 | 19,84 | 86 | 89 |
| 772 | 791 | 774 | 785 | 98 | 98 | 94 | 9 | 1200 | 20,00 | 88 | 90 |
| 770 | 789 | 772 | 784 | 99 | 98 | 94 | 9 | 1210 | 20,17 | 88 | 90 |
| 770 | 789 | 773 | 784 | 98 | 98 | 95 | 9 | 1220 | 20,34 | 88 | 89 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 820 | 837 | 822 | 835 | 106 | 101 | 107 | 9 | 1780 | 29,67 | 96 | 98 |
| 821 | 839 | 824 | 838 | 105 | 101 | 107 | 9 | 1790 | 29,84 | 95 | 98 |
| 822 | 839 | 826 | 838 | 105 | 101 | 107 | 9 | 1800 | 30,00 | 96 | 98 |
| 821 | 839 | 826 | 838 | 106 | 101 | 107 | 9 | 1810 | 30,17 | 96 | 98 |
| 824 | 841 | 827 | 841 | 107 | 103 | 107 | 9 | 1820 | 30,34 | 97 | 98 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 814 | 835 | 814 | 819 | 159 | 150 | 182 | 9 | 1780 | 29,67 | 155 | 174 |
| 816 | 837 | 816 | 821 | 157 | 149 | 182 | 8 | 1790 | 29,84 | 154 | 174 |
| 814 | 836 | 813 | 819 | 159 | 149 | 184 | 8 | 1800 | 30,00 | 156 | 175 |
| 813 | 835 | 813 | 818 | 160 | 151 | 177 | 9 | 1810 | 30,17 | 154 | 169 |
| 815 | 836 | 814 | 819 | 161 | 152 | 185 | 9 | 1820 | 30,34 | 157 | 176 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 873 | 891 | 875 | 892 | 143 | 117 | 121 | 8 | 2380 | 39,67 | 119 | 135 |
| 874 | 892 | 875 | 893 | 144 | 118 | 121 | 8 | 2390 | 39,84 | 119 | 135 |
| 874 | 892 | 876 | 893 | 145 | 118 | 121 | 8 | 2400 | 40,00 | 120 | 136 |
| 875 | 893 | 877 | 893 | 145 | 119 | 122 | 9 | 2410 | 40,17 | 120 | 137 |
| 876 | 894 | 878 | 894 | 146 | 119 | 122 | 9 | 2420 | 40,34 | 120 | 137 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 898 | 915 | 901 | 916 | 189 | 141 | 146 | 9 | 2980 | 49,67 | 150 | 180 |
| 899 | 916 | 902 | 918 | 189 | 142 | 147 | 8 | 2990 | 49,84 | 151 | 181 |
| 900 | 917 | 903 | 919 | 190 | 142 | 147 | 8 | 3000 | 50,00 | 152 | 182 |
| 900 | 917 | 902 | 918 | 190 | 143 | 149 | 8 | 3010 | 50,17 | 152 | 182 |
| 900 | 917 | 903 | 918 | 191 | 143 | 150 | 8 | 3020 | 50,34 | 153 | 183 |
| 901 | 918 | 903 | 919 | 192 | 143 | 152 | 8 | 3030 | 50,50 | 154 | 184 |
| 901 | 919 | 904 | 921 | 193 | 145 | 152 | 9 | 3040 | 50,67 | 155 | 184 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 935 | 953 | 935 | 955 | 233 | 174 | 196 | 9 | 3580 | 59,67 | 193 | 225 |
| 937 | 955 | 937 | 956 | 234 | 175 | 196 | 8 | 3590 | 59,84 | 193 | 225 |
| 938 | 956 | 938 | 957 | 235 | 176 | 197 | 8 | 3600 | 60,00 | 194 | 227 |
| 939 | 956 | 939 | 957 | 236 | 178 | 200 | 8 | 3610 | 60,17 | 196 | 227 |
| 940 | 958 | 940 | 957 | 236 | 178 | 201 | 8 | 3620 | 60,34 | 196 | 227 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 952 | 970 | 951 | 969 | 275 | 201 | 233 | 8 | 3910 | 65,17 | 228 | 267 |
| 952 | 970 | 953 | 970 | 277 | 203 | 234 | 8 | 3920 | 65,34 | 230 | 269 |
| 953 | 970 | 953 | 970 | 277 | 204 | 236 | 8 | 3930 | 65,50 | 231 | 269 |
| 952 | 969 | 952 | 969 | 280 | 204 | 238 | 8 | 3940 | 65,67 | 233 | 272 |
| 951 | 968 | 951 | 970 | 281 | 205 | 239 | 8 | 3950 | 65,84 | 233 | 273 |
| 952 | 970 | 952 | 969 | 283 | 206 | 241 | 8 | 3960 | 66,00 | 235 | 275 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|----------|-------------|--------------|------------|------------|
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 957 | 974 | 956 | 975 | 300 | 215 | 254 | 8 | 4060 | 67,67 | 248 | 291 |
| 957 | 974 | 956 | 974 | 301 | 216 | 255 | 8 | 4070 | 67,84 | 249 | 293 |
| 957 | 973 | 956 | 974 | 302 | 216 | 256 | 8 | 4080 | 68,00 | 250 | 294 |
| 957 | 974 | 955 | 974 | 305 | 217 | 256 | 8 | 4090 | 68,17 | 251 | 297 |
| 958 | 975 | 956 | 975 | 308 | 218 | 257 | 8 | 4100 | 68,34 | 252 | 299 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 961 | 977 | 960 | 980 | 316 | 223 | 265 | 8 | 4180 | 69,67 | 260 | 307 |
| 960 | 977 | 960 | 979 | 316 | 224 | 267 | 8 | 4190 | 69,84 | 261 | 308 |
| 960 | 977 | 960 | 979 | 318 | 225 | 270 | 8 | 4200 | 70,00 | 263 | 310 |
| 960 | 976 | 959 | 978 | 320 | 227 | 272 | 8 | 4210 | 70,17 | 265 | 312 |
| 961 | 977 | 959 | 978 | 320 | 228 | 272 | 8 | 4220 | 70,34 | 265 | 312 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 976 | 993 | 977 | 994 | 391 | 294 | 348 | 8 | 4780 | 79,67 | 336 | 382 |
| 977 | 994 | 978 | 995 | 391 | 298 | 351 | 8 | 4790 | 79,84 | 339 | 383 |
| 978 | 995 | 978 | 996 | 393 | 300 | 353 | 8 | 4800 | 80,00 | 340 | 385 |
| 978 | 995 | 978 | 997 | 393 | 300 | 354 | 8 | 4810 | 80,17 | 341 | 385 |
| 977 | 994 | 977 | 996 | 394 | 301 | 356 | 8 | 4820 | 80,34 | 342 | 385 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 988 | 1005 | 988 | 1007 | 458 | 356 | 403 | 8 | 5350 | 89,17 | 398 | 450 |
| 988 | 1005 | 988 | 1007 | 459 | 359 | 403 | 8 | 5360 | 89,34 | 399 | 451 |
| 988 | 1005 | 988 | 1008 | 461 | 359 | 403 | 8 | 5370 | 89,50 | 400 | 453 |
| 988 | 1005 | 988 | 1008 | 463 | 359 | 404 | 8 | 5380 | 89,67 | 401 | 454 |
| 989 | 1006 | 989 | 1007 | 463 | 361 | 406 | 8 | 5390 | 89,84 | 402 | 455 |
| 989 | 1006 | 989 | 1008 | 464 | 361 | 406 | 8 | 5400 | 90,00 | 403 | 456 |

Anhang 62: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV3-90b mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.3.4 Hauptversuchsreihe HV3-90c- WSD 50, Schraube



Anhang 63: Temperaturverlaufdiagramm HV3-90c – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50 einlagig geschraubt, Messung jeweils in 10mm Entfernung zur Schraube, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT mit- tel | BT lang | BT kurz | Raum- temp. | Intervall | | Mittel- wert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|----------------|------------|--------------|-----------------|--------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time s | Time min | Δt | Δt |
| 16 | 15 | 14 | 16 | 14 | 15 | 14 | 11 | 0 | 0,00 | 3 | 4 |
| 72 | 69 | 66 | 81 | 14 | 15 | 14 | 11 | 10 | 0,17 | 4 | 4 |
| 124 | 121 | 162 | 172 | 15 | 15 | 15 | 10 | 20 | 0,34 | 5 | 5 |
| 167 | 188 | 218 | 240 | 15 | 15 | 15 | 11 | 30 | 0,50 | 4 | 4 |
| 207 | 231 | 270 | 300 | 15 | 15 | 15 | 10 | 40 | 0,67 | 5 | 5 |
| 241 | 269 | 319 | 351 | 15 | 15 | 15 | 11 | 50 | 0,84 | 4 | 4 |
| 274 | 303 | 358 | 393 | 15 | 15 | 15 | 10 | 60 | 1,00 | 5 | 5 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 655 | 691 | 640 | 709 | 20 | 33 | 56 | 10 | 580 | 9,67 | 26 | 46 |
| 656 | 692 | 642 | 712 | 21 | 34 | 58 | 10 | 590 | 9,84 | 27 | 47 |
| 659 | 695 | 645 | 715 | 23 | 41 | 60 | 10 | 600 | 10,00 | 32 | 51 |
| 662 | 698 | 648 | 717 | 25 | 44 | 62 | 10 | 610 | 10,17 | 34 | 52 |
| 664 | 700 | 649 | 718 | 29 | 47 | 65 | 10 | 620 | 10,34 | 37 | 55 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 763 | 787 | 748 | 758 | 95 | 94 | 95 | 10 | 1180 | 19,67 | 84 | 85 |
| 764 | 788 | 750 | 761 | 95 | 94 | 95 | 10 | 1190 | 19,84 | 84 | 85 |
| 765 | 789 | 752 | 763 | 95 | 94 | 95 | 10 | 1200 | 20,00 | 85 | 85 |
| 766 | 789 | 752 | 763 | 95 | 94 | 95 | 10 | 1210 | 20,17 | 85 | 85 |
| 768 | 790 | 753 | 764 | 95 | 94 | 95 | 10 | 1220 | 20,34 | 85 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 830 | 857 | 817 | 828 | 95 | 95 | 97 | 10 | 1780 | 29,67 | 86 | 87 |
| 831 | 859 | 819 | 830 | 96 | 95 | 98 | 10 | 1790 | 29,84 | 86 | 87 |
| 832 | 861 | 821 | 832 | 96 | 95 | 97 | 10 | 1800 | 30,00 | 86 | 87 |
| 835 | 862 | 822 | 833 | 96 | 95 | 98 | 10 | 1810 | 30,17 | 86 | 88 |
| 838 | 863 | 824 | 835 | 96 | 95 | 97 | 10 | 1820 | 30,34 | 85 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 867 | 890 | 875 | 891 | 90 | 95 | 97 | 10 | 2380 | 39,67 | 84 | 87 |
| 866 | 890 | 875 | 890 | 90 | 95 | 97 | 10 | 2390 | 39,84 | 84 | 87 |
| 873 | 892 | 874 | 890 | 90 | 96 | 97 | 10 | 2400 | 40,00 | 84 | 86 |
| 871 | 890 | 872 | 889 | 90 | 95 | 97 | 10 | 2410 | 40,17 | 83 | 87 |
| 870 | 889 | 871 | 888 | 90 | 96 | 98 | 11 | 2420 | 40,34 | 84 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 902 | 920 | 901 | 919 | 94 | 95 | 97 | 11 | 2980 | 49,67 | 85 | 86 |
| 906 | 921 | 913 | 924 | 94 | 96 | 97 | 10 | 2990 | 49,84 | 85 | 86 |
| 904 | 919 | 912 | 923 | 94 | 95 | 97 | 10 | 3000 | 50,00 | 85 | 86 |
| 906 | 921 | 913 | 925 | 94 | 96 | 97 | 11 | 3010 | 50,17 | 85 | 87 |
| 906 | 921 | 915 | 926 | 95 | 96 | 97 | 10 | 3020 | 50,34 | 86 | 88 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 932 | 947 | 940 | 951 | 96 | 95 | 95 | 10 | 3580 | 59,67 | 85 | 86 |
| 932 | 947 | 940 | 950 | 96 | 95 | 96 | 11 | 3590 | 59,84 | 85 | 86 |
| 932 | 948 | 939 | 950 | 96 | 95 | 95 | 11 | 3600 | 60,00 | 85 | 86 |
| 933 | 949 | 939 | 950 | 96 | 95 | 95 | 10 | 3610 | 60,17 | 85 | 86 |
| 933 | 948 | 940 | 951 | 96 | 95 | 95 | 10 | 3620 | 60,34 | 86 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 935 | 953 | 935 | 955 | 233 | 174 | 196 | 9 | 3580 | 59,67 | 193 | 225 |
| 937 | 955 | 937 | 956 | 234 | 175 | 196 | 8 | 3590 | 59,84 | 193 | 225 |
| 938 | 956 | 938 | 957 | 235 | 176 | 197 | 8 | 3600 | 60,00 | 194 | 227 |
| 939 | 956 | 939 | 957 | 236 | 178 | 200 | 8 | 3610 | 60,17 | 196 | 227 |
| 940 | 958 | 940 | 957 | 236 | 178 | 201 | 8 | 3620 | 60,34 | 196 | 227 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 948 | 963 | 960 | 969 | 152 | 113 | 127 | 10 | 4180 | 69,67 | 121 | 142 |
| 951 | 965 | 961 | 972 | 153 | 114 | 127 | 10 | 4190 | 69,84 | 121 | 143 |
| 954 | 970 | 963 | 974 | 155 | 114 | 127 | 11 | 4200 | 70,00 | 121 | 144 |
| 954 | 970 | 963 | 974 | 155 | 114 | 129 | 10 | 4210 | 70,17 | 122 | 145 |
| 955 | 970 | 964 | 975 | 157 | 115 | 129 | 10 | 4220 | 70,34 | 124 | 147 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 963 | 979 | 970 | 981 | 166 | 130 | 147 | 11 | 4360 | 72,67 | 137 | 155 |
| 962 | 979 | 970 | 981 | 166 | 131 | 149 | 10 | 4370 | 72,84 | 139 | 156 |

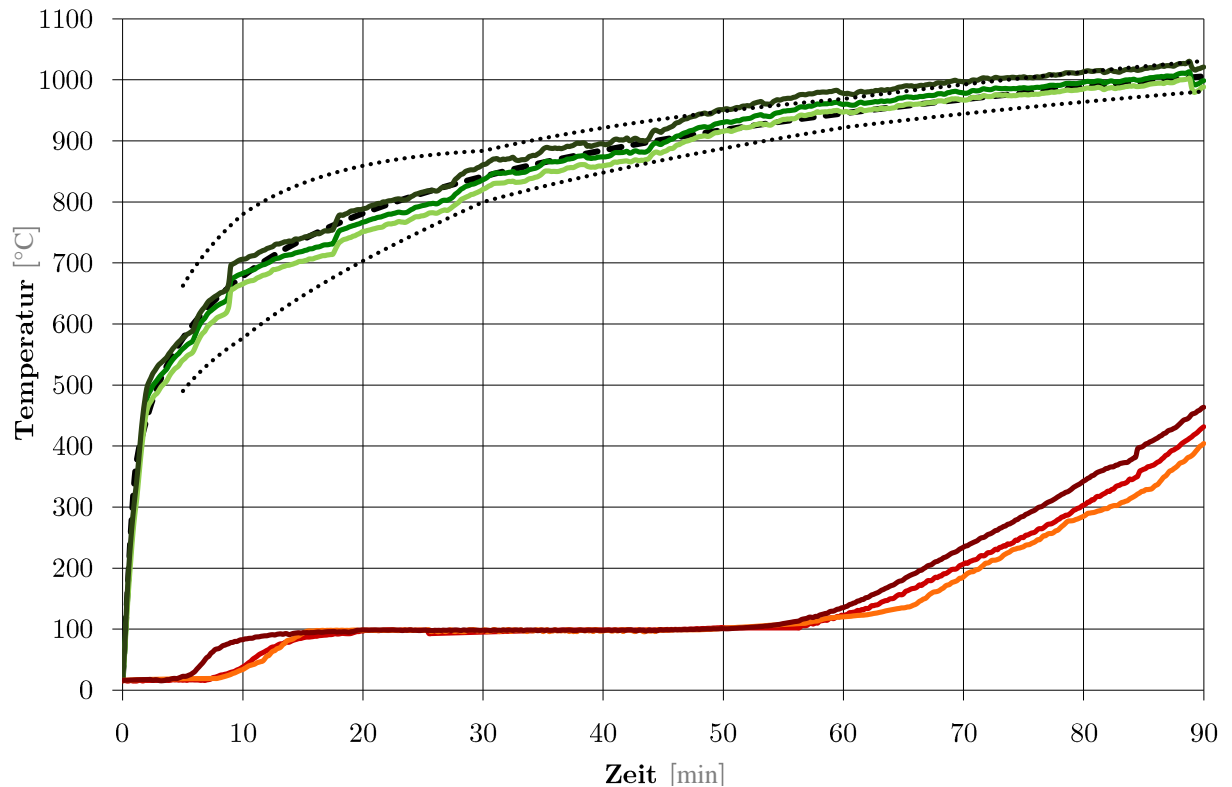
7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 963 | 978 | 972 | 982 | 167 | 132 | 150 | 10 | 4380 | 73,00 | 140 | 157 |
| 963 | 979 | 972 | 982 | 167 | 134 | 152 | 10 | 4390 | 73,17 | 141 | 157 |
| 964 | 980 | 973 | 984 | 167 | 136 | 153 | 10 | 4400 | 73,34 | 142 | 157 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 977 | 992 | 984 | 995 | 204 | 186 | 216 | 10 | 4780 | 79,67 | 192 | 205 |
| 977 | 992 | 983 | 994 | 206 | 188 | 218 | 11 | 4790 | 79,84 | 193 | 207 |
| 977 | 992 | 982 | 994 | 206 | 189 | 221 | 10 | 4800 | 80,00 | 196 | 211 |
| 976 | 991 | 982 | 994 | 209 | 192 | 223 | 10 | 4810 | 80,17 | 198 | 214 |
| 976 | 991 | 983 | 994 | 211 | 193 | 226 | 10 | 4820 | 80,34 | 200 | 216 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 980 | 994 | 988 | 998 | 244 | 232 | 274 | 10 | 5000 | 83,34 | 240 | 264 |
| 977 | 991 | 983 | 994 | 248 | 236 | 276 | 10 | 5010 | 83,50 | 244 | 266 |
| 980 | 996 | 986 | 997 | 249 | 238 | 279 | 10 | 5020 | 83,67 | 246 | 269 |
| 985 | 1001 | 991 | 1002 | 251 | 240 | 282 | 11 | 5030 | 83,84 | 247 | 271 |
| 988 | 1004 | 994 | 1006 | 254 | 243 | 285 | 10 | 5040 | 84,00 | 250 | 275 |
| 989 | 1004 | 995 | 1007 | 255 | 246 | 287 | 10 | 5050 | 84,17 | 253 | 277 |
| 989 | 1004 | 995 | 1007 | 258 | 248 | 291 | 10 | 5060 | 84,34 | 256 | 281 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 996 | 1011 | 1002 | 1014 | 314 | 328 | 375 | 10 | 5350 | 89,17 | 329 | 365 |
| 995 | 1010 | 1002 | 1014 | 317 | 331 | 378 | 11 | 5360 | 89,34 | 331 | 368 |
| 996 | 1011 | 1002 | 1014 | 321 | 334 | 382 | 11 | 5370 | 89,50 | 335 | 371 |
| 996 | 1011 | 1002 | 1014 | 325 | 337 | 385 | 11 | 5380 | 89,67 | 338 | 374 |
| 995 | 1011 | 1002 | 1014 | 328 | 341 | 389 | 11 | 5390 | 89,84 | 341 | 378 |
| 995 | 1010 | 1001 | 1013 | 327 | 345 | 393 | 10 | 5400 | 90,00 | 345 | 383 |

Anhang 64: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV3-90c mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.4 Hauptversuchsreihe 4 (HV4) – Klebeverbindungen

7.5.4.1 Hauptversuchsreihe HV4-90a – WSD 35 geklebt



Anhang 65: Temperaturverlaufdiagramm HV4-90a – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 35 einlagig verklebt, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT kurz | BT mittel | BT lang | Raum-temp. | Intervall | | Mittelwert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|--------------|------------|------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 17 | 18 | 18 | 17 | 15 | 16 | 16 | 11 | 0 | 0,00 | 5 | 5 |
| 62 | 71 | 67 | 66 | 16 | 16 | 16 | 11 | 10 | 0,17 | 5 | 5 |
| 119 | 141 | 127 | 134 | 15 | 16 | 16 | 11 | 20 | 0,34 | 5 | 5 |
| 169 | 200 | 180 | 185 | 15 | 16 | 16 | 11 | 30 | 0,50 | 5 | 5 |
| 212 | 246 | 221 | 235 | 16 | 17 | 17 | 11 | 40 | 0,67 | 5 | 6 |
| 254 | 283 | 255 | 279 | 15 | 17 | 17 | 11 | 50 | 0,84 | 5 | 6 |
| 288 | 315 | 287 | 313 | 15 | 17 | 17 | 11 | 60 | 1,00 | 5 | 6 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 679 | 704 | 663 | 676 | 34 | 31 | 81 | 12 | 580 | 9,67 | 38 | 70 |
| 680 | 706 | 664 | 677 | 36 | 33 | 83 | 12 | 590 | 9,84 | 39 | 71 |
| 682 | 706 | 666 | 679 | 38 | 34 | 83 | 12 | 600 | 10,00 | 40 | 71 |
| 683 | 706 | 667 | 681 | 40 | 36 | 84 | 11 | 610 | 10,17 | 42 | 73 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

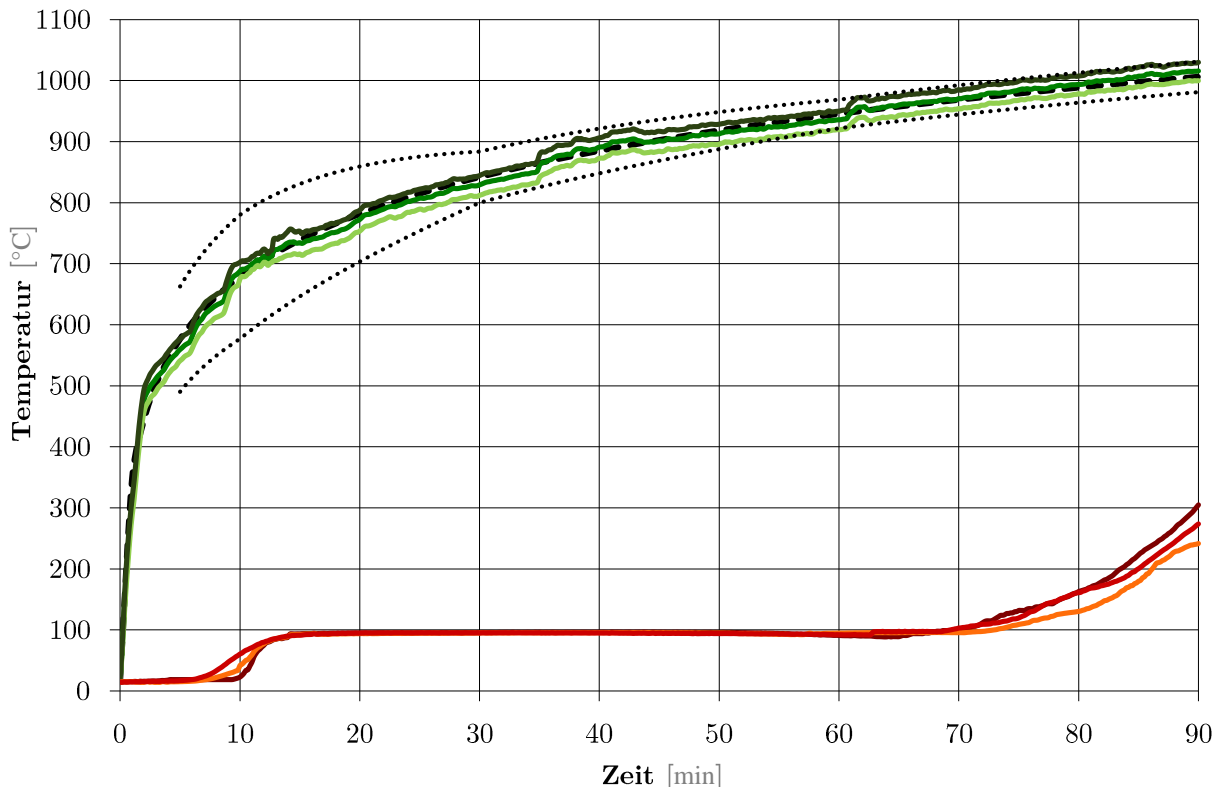
| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 683 | 708 | 669 | 682 | 43 | 38 | 84 | 11 | 620 | 10,34 | 44 | 73 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 763 | 787 | 748 | 758 | 96 | 98 | 98 | 11 | 1180 | 19,67 | 86 | 87 |
| 764 | 788 | 750 | 761 | 97 | 98 | 98 | 11 | 1190 | 19,84 | 87 | 87 |
| 765 | 789 | 752 | 763 | 97 | 98 | 99 | 11 | 1200 | 20,00 | 87 | 88 |
| 766 | 789 | 752 | 763 | 98 | 98 | 99 | 11 | 1210 | 20,17 | 87 | 87 |
| 768 | 790 | 753 | 764 | 98 | 98 | 99 | 11 | 1220 | 20,34 | 87 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 830 | 857 | 817 | 828 | 95 | 98 | 98 | 12 | 1780 | 29,67 | 85 | 86 |
| 831 | 859 | 819 | 830 | 95 | 97 | 98 | 12 | 1790 | 29,84 | 85 | 86 |
| 832 | 861 | 821 | 832 | 95 | 98 | 98 | 12 | 1800 | 30,00 | 85 | 86 |
| 835 | 862 | 822 | 833 | 95 | 99 | 98 | 12 | 1810 | 30,17 | 85 | 87 |
| 838 | 863 | 824 | 835 | 95 | 96 | 98 | 12 | 1820 | 30,34 | 85 | 86 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 872 | 895 | 859 | 868 | 99 | 97 | 98 | 12 | 2380 | 39,67 | 86 | 87 |
| 873 | 895 | 859 | 868 | 99 | 97 | 98 | 12 | 2390 | 39,84 | 86 | 87 |
| 872 | 895 | 859 | 869 | 99 | 97 | 98 | 12 | 2400 | 40,00 | 86 | 87 |
| 871 | 894 | 860 | 871 | 98 | 98 | 98 | 12 | 2410 | 40,17 | 86 | 86 |
| 872 | 894 | 861 | 871 | 98 | 98 | 99 | 12 | 2420 | 40,34 | 86 | 87 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 927 | 951 | 914 | 925 | 102 | 101 | 101 | 12 | 2980 | 49,67 | 89 | 90 |
| 927 | 951 | 916 | 926 | 103 | 101 | 101 | 12 | 2990 | 49,84 | 90 | 91 |
| 927 | 951 | 916 | 927 | 102 | 101 | 101 | 12 | 3000 | 50,00 | 90 | 90 |
| 928 | 952 | 917 | 928 | 102 | 102 | 101 | 12 | 3010 | 50,17 | 89 | 90 |
| 929 | 953 | 917 | 928 | 102 | 102 | 101 | 12 | 3020 | 50,34 | 89 | 90 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 957 | 980 | 948 | 960 | 120 | 120 | 133 | 12 | 3580 | 59,67 | 112 | 121 |
| 956 | 979 | 948 | 959 | 123 | 120 | 135 | 12 | 3590 | 59,84 | 114 | 123 |
| 955 | 978 | 947 | 959 | 122 | 120 | 135 | 12 | 3600 | 60,00 | 114 | 123 |
| 956 | 977 | 948 | 960 | 124 | 120 | 137 | 12 | 3610 | 60,17 | 115 | 125 |
| 956 | 978 | 948 | 959 | 124 | 121 | 138 | 12 | 3620 | 60,34 | 115 | 126 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 961 | 984 | 953 | 964 | 147 | 130 | 168 | 12 | 3820 | 63,67 | 137 | 156 |
| 961 | 983 | 953 | 963 | 149 | 131 | 170 | 12 | 3830 | 63,84 | 138 | 158 |
| 962 | 984 | 954 | 963 | 150 | 132 | 171 | 12 | 3840 | 64,00 | 139 | 159 |
| 963 | 985 | 954 | 964 | 150 | 132 | 172 | 12 | 3850 | 64,17 | 140 | 160 |
| 964 | 986 | 955 | 965 | 153 | 133 | 175 | 12 | 3860 | 64,34 | 141 | 163 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 975 | 998 | 968 | 978 | 204 | 183 | 231 | 13 | 4180 | 69,67 | 193 | 218 |
| 975 | 997 | 968 | 977 | 205 | 184 | 233 | 12 | 4190 | 69,84 | 195 | 220 |
| 974 | 997 | 967 | 977 | 207 | 186 | 234 | 12 | 4200 | 70,00 | 197 | 222 |
| 973 | 996 | 967 | 977 | 209 | 189 | 236 | 12 | 4210 | 70,17 | 199 | 224 |
| 974 | 996 | 967 | 977 | 208 | 191 | 237 | 12 | 4220 | 70,34 | 200 | 225 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 981 | 1004 | 974 | 983 | 246 | 231 | 279 | 12 | 4460 | 74,34 | 240 | 267 |
| 982 | 1004 | 975 | 984 | 245 | 233 | 280 | 12 | 4470 | 74,50 | 240 | 268 |
| 982 | 1004 | 976 | 985 | 249 | 233 | 282 | 12 | 4480 | 74,67 | 243 | 270 |
| 982 | 1004 | 975 | 985 | 250 | 234 | 284 | 12 | 4490 | 74,84 | 244 | 272 |
| 983 | 1005 | 976 | 986 | 250 | 235 | 285 | 12 | 4500 | 75,00 | 245 | 273 |
| 982 | 1004 | 976 | 985 | 254 | 237 | 288 | 12 | 4510 | 75,17 | 248 | 276 |
| 981 | 1004 | 975 | 985 | 254 | 238 | 289 | 12 | 4520 | 75,34 | 249 | 277 |
| 982 | 1004 | 976 | 984 | 256 | 239 | 291 | 12 | 4530 | 75,50 | 250 | 279 |
| 982 | 1004 | 976 | 986 | 257 | 241 | 293 | 13 | 4540 | 75,67 | 251 | 280 |
| 982 | 1003 | 976 | 986 | 258 | 242 | 294 | 12 | 4550 | 75,84 | 252 | 282 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 990 | 1012 | 984 | 994 | 299 | 282 | 338 | 12 | 4780 | 79,67 | 294 | 326 |
| 990 | 1012 | 984 | 995 | 302 | 283 | 340 | 12 | 4790 | 79,84 | 296 | 328 |
| 991 | 1013 | 985 | 995 | 303 | 285 | 343 | 13 | 4800 | 80,00 | 298 | 330 |
| 992 | 1014 | 986 | 996 | 305 | 287 | 344 | 13 | 4810 | 80,17 | 299 | 332 |
| 993 | 1015 | 987 | 996 | 308 | 290 | 347 | 12 | 4820 | 80,34 | 303 | 335 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 987 | 1017 | 980 | 988 | 418 | 387 | 453 | 12 | 5350 | 89,17 | 408 | 441 |
| 986 | 1016 | 980 | 985 | 420 | 391 | 455 | 12 | 5360 | 89,34 | 410 | 442 |
| 988 | 1018 | 982 | 986 | 423 | 395 | 457 | 13 | 5370 | 89,50 | 413 | 445 |
| 989 | 1019 | 984 | 987 | 426 | 399 | 459 | 12 | 5380 | 89,67 | 416 | 447 |
| 990 | 1020 | 987 | 993 | 429 | 401 | 462 | 12 | 5390 | 89,84 | 418 | 450 |
| 991 | 1021 | 988 | 995 | 432 | 404 | 464 | 12 | 5400 | 90,00 | 421 | 451 |

Anhang 66: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV4-90a mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

7.5.4.2 Hauptversuchsreihe HV4-90b – WSD 50 geklebt



Anhang 67: Temperaturverlaufdiagramm HV4-90b – allgemeiner Versuchsaufbau basierend auf VV3, 12cm BSP, Brandschutz mittels Holzleichtbetonplatten WSD 50 einlagig verklebt, Versuchsdauer 90 Minuten

| Ofentemperatur | | | | BT kurz | BT mittel | BT lang | Raumtemp. | Intervall | | Mittelwert | Max. Wert |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|------------|------------|
| Chn 201 | Chn 202 | Chn 203 | Chn 204 | Chn 206 | Chn 207 | Chn 209 | Chn 208 | Time sec | Time min | Δt | Δt |
| 17 | 18 | 18 | 17 | 14 | 15 | 14 | 12 | 0 | 0,00 | 2 | 3 |
| 62 | 71 | 67 | 66 | 14 | 15 | 14 | 12 | 10 | 0,17 | 3 | 3 |
| 119 | 141 | 127 | 134 | 15 | 15 | 15 | 12 | 20 | 0,34 | 3 | 3 |
| 169 | 200 | 180 | 185 | 15 | 15 | 15 | 11 | 30 | 0,50 | 4 | 4 |
| 212 | 246 | 221 | 235 | 15 | 15 | 15 | 11 | 40 | 0,67 | 4 | 4 |
| 254 | 283 | 255 | 279 | 15 | 15 | 15 | 12 | 50 | 0,84 | 3 | 3 |
| 288 | 315 | 287 | 313 | 15 | 15 | 15 | 11 | 60 | 1,00 | 4 | 4 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 662 | 696 | 669 | 699 | 20 | 33 | 56 | 11 | 580 | 9,67 | 25 | 45 |
| 665 | 700 | 672 | 700 | 21 | 34 | 58 | 11 | 590 | 9,84 | 27 | 47 |
| 675 | 691 | 682 | 702 | 23 | 41 | 60 | 11 | 600 | 10,00 | 31 | 49 |
| 679 | 696 | 684 | 705 | 25 | 44 | 62 | 11 | 610 | 10,17 | 32 | 51 |
| 679 | 695 | 685 | 705 | 29 | 47 | 65 | 11 | 620 | 10,34 | 36 | 53 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|--------------|-----------|-----------|
| 751 | 783 | 758 | 785 | 95 | 94 | 95 | 11 | 1180 | 19,67 | 84 | 84 |
| 751 | 786 | 760 | 786 | 95 | 94 | 95 | 11 | 1190 | 19,84 | 83 | 84 |
| 753 | 788 | 761 | 787 | 95 | 94 | 95 | 11 | 1200 | 20,00 | 83 | 84 |
| 756 | 791 | 764 | 791 | 95 | 94 | 95 | 11 | 1210 | 20,17 | 83 | 84 |
| 760 | 795 | 768 | 793 | 95 | 94 | 95 | 11 | 1220 | 20,34 | 84 | 84 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 810 | 843 | 816 | 841 | 95 | 95 | 95 | 12 | 1780 | 29,67 | 84 | 84 |
| 810 | 843 | 817 | 841 | 96 | 95 | 95 | 12 | 1790 | 29,84 | 84 | 84 |
| 812 | 844 | 818 | 843 | 96 | 95 | 95 | 11 | 1800 | 30,00 | 84 | 84 |
| 813 | 846 | 820 | 843 | 96 | 95 | 95 | 11 | 1810 | 30,17 | 84 | 85 |
| 814 | 847 | 822 | 844 | 96 | 95 | 95 | 11 | 1820 | 30,34 | 84 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 869 | 904 | 878 | 900 | 96 | 95 | 95 | 11 | 2380 | 39,67 | 85 | 85 |
| 871 | 905 | 879 | 903 | 96 | 95 | 95 | 11 | 2390 | 39,84 | 84 | 85 |
| 873 | 906 | 881 | 905 | 96 | 95 | 95 | 12 | 2400 | 40,00 | 84 | 85 |
| 873 | 907 | 881 | 905 | 96 | 95 | 95 | 11 | 2410 | 40,17 | 84 | 85 |
| 873 | 908 | 882 | 904 | 96 | 95 | 95 | 11 | 2420 | 40,34 | 84 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 895 | 928 | 903 | 923 | 96 | 95 | 94 | 12 | 2980 | 49,67 | 83 | 84 |
| 895 | 928 | 903 | 923 | 96 | 95 | 94 | 11 | 2990 | 49,84 | 84 | 85 |
| 896 | 929 | 903 | 924 | 96 | 95 | 94 | 11 | 3000 | 50,00 | 84 | 85 |
| 897 | 929 | 904 | 925 | 96 | 95 | 94 | 11 | 3010 | 50,17 | 84 | 85 |
| 898 | 930 | 905 | 927 | 96 | 95 | 94 | 11 | 3020 | 50,34 | 84 | 85 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 919 | 949 | 925 | 947 | 91 | 95 | 92 | 11 | 3580 | 59,67 | 81 | 83 |
| 920 | 950 | 926 | 948 | 91 | 95 | 92 | 11 | 3590 | 59,84 | 82 | 84 |
| 920 | 950 | 926 | 947 | 91 | 95 | 92 | 11 | 3600 | 60,00 | 82 | 84 |
| 920 | 951 | 927 | 947 | 91 | 95 | 92 | 12 | 3610 | 60,17 | 81 | 83 |
| 920 | 952 | 928 | 948 | 91 | 95 | 92 | 12 | 3620 | 60,34 | 81 | 83 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 953 | 983 | 959 | 980 | 101 | 95 | 101 | 11 | 4180 | 69,67 | 88 | 90 |
| 953 | 984 | 959 | 980 | 101 | 95 | 102 | 12 | 4190 | 69,84 | 88 | 90 |
| 954 | 985 | 962 | 981 | 101 | 95 | 103 | 11 | 4200 | 70,00 | 89 | 92 |
| 954 | 984 | 961 | 982 | 102 | 95 | 103 | 12 | 4210 | 70,17 | 89 | 92 |
| 955 | 985 | 962 | 983 | 102 | 95 | 104 | 11 | 4220 | 70,34 | 89 | 93 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 975 | 1005 | 982 | 1003 | 147 | 125 | 147 | 11 | 4690 | 78,17 | 129 | 136 |
| 975 | 1006 | 983 | 1003 | 149 | 126 | 149 | 11 | 4700 | 78,34 | 130 | 138 |
| 976 | 1006 | 983 | 1003 | 150 | 126 | 151 | 12 | 4710 | 78,50 | 131 | 140 |
| 976 | 1006 | 983 | 1002 | 152 | 127 | 152 | 11 | 4720 | 78,67 | 132 | 141 |
| 975 | 1005 | 982 | 1001 | 153 | 127 | 153 | 11 | 4730 | 78,84 | 133 | 142 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 997 | 1027 | 1004 | 1025 | 275 | 231 | 251 | 12 | 5310 | 88,50 | 241 | 263 |
| 998 | 1028 | 1005 | 1025 | 278 | 233 | 254 | 11 | 5320 | 88,67 | 244 | 267 |

7 Anhang - 7.5 Ergebnisse der durchgeführten Hauptversuchsreihen

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|------------|
| 998 | 1028 | 1005 | 1025 | 281 | 234 | 257 | 11 | 5330 | 88,84 | 246 | 269 |
| 999 | 1029 | 1006 | 1026 | 284 | 236 | 259 | 11 | 5340 | 89,00 | 248 | 272 |
| 1000 | 1028 | 1006 | 1027 | 287 | 237 | 261 | 11 | 5350 | 89,17 | 251 | 276 |
| 1000 | 1028 | 1006 | 1027 | 290 | 239 | 263 | 11 | 5360 | 89,34 | 253 | 279 |
| 999 | 1028 | 1006 | 1026 | 293 | 239 | 265 | 11 | 5370 | 89,50 | 254 | 281 |
| 1000 | 1029 | 1006 | 1026 | 297 | 240 | 268 | 12 | 5380 | 89,67 | 257 | 285 |
| 1000 | 1029 | 1006 | 1026 | 301 | 240 | 271 | 11 | 5390 | 89,84 | 260 | 290 |
| 1000 | 1030 | 1007 | 1026 | 305 | 241 | 274 | 11 | 5400 | 90,00 | 262 | 294 |

Anhang 68: Auszug aus der Daten_log-Datei von HV4-90b mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min, 70min, 80min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 definiert ist.

8 Quellenverzeichnis

- [01] **Baulexikon (o.V.)**, Begriffe Bautechnik [Online], www.01ikon.de/Bautechnik/Begriffe_Bautechnik/b/01ikon_brandlasten.htm, Stand: 01.01.2015
- [02] **Bock H. M., Klement E.**, Brandschutz – Praxis für Architekten und Ingenieure, Beuth Verlag, 3. Auflage [Buch] – 2011
- [03] **Bollmann BES**, Produktdatenblatt Holz-/Baufeuchtemeßgerät der Spitzenklasse Combo 100/200 – die Masterserie [Produktdatenblatt] – 2011
- [04] **Die Spanplatte des Herrn Himmelheber**, Ein Film über die Erfindung und den Erfinder der Spanplatte [Dokumentation] – 2010, <http://www.rhein-span.de/videos/video-die-spanplatte-des-herrn-himmelheber/>, Stand: 01.01.2015
- [05] **Frangi A., Brühwiler I., Studhalter J., Wiederkehr R., Fontana M.**, Bemessung von brandabschnitts-bildenden Bauteilen in brennbarer Bauweise, Dokumentation „Feuerwiderstandsbemessung – Bauteile und Verbindungen Lignum-Dokumentation Brandschutz 3.1, ETH Zürich; Lignum, SIA, ETH, STE [Publikation] – 2011
- [06] **Frangi A.**, Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken // Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische technische Hochschule Zürich. [Dissertation] - 2001
- [07] **Frangi A.**, Fire resistance of timber structures // Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische technische Hochschule Zürich. [Präsentation] – 2009
- [08] **Halper M.**, Untersuchung des Feuchtetransportes in Holz im Brandfall bei Verwendung von ingenieurmäßigen Holzverbindungen, TU Wien [Diplomarbeit] – 2008
- [09] **Heraklith**, Geschichte [Online], http://www2.heraklith.at/heraklith/heraklith_int.php?content=/heraklith/int/heraklith_gruppe/ge-schichte.php&ebene1=INT, Stand: 01.01.2015
- [10] **Hofer T.**, Experimentelle und analytische Untersuchungen des Tragverhaltens von Holz-Holzleichtbeton-Sandwich-Deckenbauweise, TU Wien [Diplomarbeit] - 2013

- [11] **Holzfragen (o.V.)**, Ausgleichsfeuchte, [Online], <http://www.holzfragen.de/seiten/ausgleichsfeuchte.html>, Stand: 01.01.2015
- [12] **Hosser D., Kampmeier B., Kruse D., Rüther N.**, Optimierung der Konstruktion und der Herstellprozesse von hochfeuerhemmenden Holztafelelementen unter sicherheitsrelevanten, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Optimierung K60), Abschlussbericht Forschungsvorhaben, WKI, iBMB, Bundesverband der Gipsindustrie [Publikation] - 2010
- [13] **Keithley 2000**, Bedienungsanleitung [Bedienungsanleitung] – o.J.
- [14] **Kirchmayer E.**, Beitrag zur Entwicklung von Holz-Holzbeton-Betonverbunddecken, TU Wien [Diplomarbeit] – 2012
- [15] **Kist M. DI**, Sicherheitskonzepte für mehrgeschoßige Gebäude aus Holz am Beispiel von Wien, TU Wien [Dissertation] - 2013
- [16] **Klatt Andre, Garrecht Harald**, Die aktuelle Wochenschau der GDCh, „Beton aus modifizierten Holzspänen“ [Online], <http://archiv.aktuelle-wochenschau.de/2011/w46/woche46.html>, Stand: 01.01.2015
- [17] **KLH Kreuzlagenholz (o.V.)**, Projekte – Geschoßbauten - Wohnanlage Spöttelgasse [Online], <http://www.klh.at/projekte/geschossbauten/wohnanlage-spoettelgasse.html#&panel1-1>, Stand: 01.01.2015
- [18] **KLH Kreuzlagenholz (o.V.)**, Projekte – Geschoßbauten - Passivhaus am Mühlweg [Online], <http://www.klh.at/projekte/geschossbauten/passivhaus-am-muehlweg.html#&panel1-1>, Stand: 01.01.2015
- [19] **Kollmann F. F. P.**, Technologie des Holzes und der Werkstoffe [Buch] - 1955
- [20] **Köpl S.A.**, Beschreibung des Tragverhaltens weitgespannter Flachdeckensysteme in Holz-Leichtbeton Verbundbauweise unter besonderer Berücksichtigung des Schubanalogieverfahrens, TU Wien [Diplomarbeit] – 2013
- [21] **Krippner R.**, Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton im Bereich von Gebäudefassaden, TU München [Dissertation] – 2004
- [22] **Krippner R., Niebler D., Issig H.**, Holzbau der Zukunft: Holzleichtbeton im Fassadenbereich, TP 17 Holzleichtbeton im Hochbau, TU München [Forschungsbericht] – o.J.

- [23] **Krippner R., Niebler D., Issig H.**, Holzbau der Zukunft in der High-Tech-Offensive Zukunft Bayern: Holzleichtbeton im Fassadenbereich, TP 17 Holzleichtbeton im Hochbau, Kurzbericht, TU München [Forschungsbericht] – o.J.
- [24] **KS-SÜD E.V. (o.V.)**, Brandschutz [Online], www.kalksandstein.de/ks_sued/brandschutz.php?page_id=82680, Stand: 01.01.2015
- [25] **Knublauch E. E.**, Der Abbrand als Grundlage zur theoretischen Vorausbestimmung der Feuerwiderstandsdauer von Holzbauteilen, BruderVerlag, Köln. [Buch] – 1971
- [26] **Jumo GmbH & Co. KG, Matthias Nau**, Elektrische Temperaturmessung mit Thermoelementen und Widerstandsthermometern, Ausgabe 1 [s.n.] - 2007
- [27] **Lache M., Deutsche Gesellschaft für Holzforschung**, Abbrandgeschwindigkeit von Vollholz, Brettsperrholz und Holzwerkstoffen, TU München [Bauforschungsbericht] - 1992
- [28] **Lassensberger L. Ing., Österreichischer Biomasseverband**, Grundlagen der Verbrennungstechnik und technische Umsetzung, BLT Wieselburg [Publikation] - o.J.
- [29] **Merl A.D.**, Bau-Ressourcenmanagement in urbanen Räumen, Fallstudie Wien, TU Wien [Dissertation] – 2005
- [30] **MTS Messtechnik Schaffhausen GmbH (o.V.)**, Der K-Zustand in NiCr-Ni-Thermoelementen (Typ K) [s.n.] - o.J.
- [31] **Meyers großes Taschenlexikon**, Band 10 [Buch] - 1987
- [32] **Mikado, Unternehmermagazin für Holzbau und Ausbau (o.V.)**, Urbanes Bauen – Städte brauchen Holz, [Publikation] – 2013
- [33] **Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB)**, OIB-Richtlinie 2 Brandschutz. Entwurf [Richtlinie] - 2014
- [34] **ÖNORM EN 13501**, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten [Norm] – 2007
- [35] **ÖNORM B3800 Teil 1-5**, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen [Norm] – 2012
- [36] **ÖNORM EN 1995-1-2, Eurocode 5**, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Bemessungen für den Brandfall [Norm] – 2000

- [37] **ÖNORM EN 13823**, Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten - Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen [Norm] – 2011
- [38] **ÖNORM EN 1363-1**, Feuerwiderstandsprüfungen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen [Norm] – 2000
- [39] **ÖNORM EN 14135**, Brandschutzbekleidung – Bestimmung der Brandschutzwirkung [Norm] – 2004
- [40] **ÖNORM EN 60584-1**, Thermospannungen und Grenzabweichungen (IEC 60584-1/2013) [Norm] – 2013
- [41] **ÖNORM DIN EN 4074-1**, Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit [Norm] – 2012
- [42] **Pech A., Pöhn C.**, Bauphysik - Baukonstruktionen, Springer Verlag, Band 1 [Buch] - 2004
- [43] **Wallner-Novak M. DI Dr., Koppelhuber J. DI, Pock K. DI, pro:Holz Austria**, Brettsperrholz Bemessung – Grundlagen für Statik und Konstruktion nach Eurocode [Publikation] - 2009
- [44] **Rempe A.**, Praxishandbuch für den betrieblichen Brandschutz, Weka Media GmbH, Band 2 [Buch] - 2001
- [45] **Sarja A.**, Wood fibre reinforced concrete, Blackie and Sons Ltd., Glasgow and London [Buch] - 1988
- [46] **SBI - Fire Testing Technology**, Single Burning Item (SBI) Prüfverfahren [Online], <http://www.fire-testing.com/Main/german/single-burning-item>, Stand 07.09.2014
- [47] **Scheer C., Peter M., Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (Hrsg.)**, Holz Brandschutz Handbuch, Ernst & Sohn Berlin, 3. Auflage [Buch] – 2009
- [48] **Setoodeh S.**, Tragverhalten der Wandkonstruktionen aus Massivholz-Holzleichtbeton-Verbundbauweise, TU Wien [Diplomarbeit] – in Bearbeitung
- [49] **Schneider U. O.Univ-Prof.Dipl.Ing.DDr.techn.**, Ingenieurmethoden im baulichen Brandschutz. – Expert Verlag, Renningen [Buch] - 2001

- [50] **Schneider U. O.Univ-Prof.Dipl.Ing.DDr.techn.**, Schriftenreihe des Instituts für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz. - TU Wien [s.n.] - 2004
- [51] **Sonntag, F.**, Wandbauarten mit Schalungssteinen aus Holzspanbeton. - TU Leipzig [Diplomarbeit] - 2003
- [52] **Stahl A.**, Cement bonded wood composite as structural element in internal walls, TU Wien [Diplomarbeit] – 2011
- [53] **Stöllinger W.**, Ansätze zu einer nachhaltigen Architektur am Beispiel Holzspanbeton, TU Wien [Diplomarbeit] - 2013
- [54] **Teibinger M. DI Dr., Holzforschung Austria**, Brandverhalten von Holz- und Holzwerkstoffen [Online] – o.J., www.holzforschung.at/fileadmin/Content-Pool/.../Brandverhalten.pdf , Stand 07.09.2014
- [55] **Teibinger M. DI Dr., Busch T., Holzforschung Austria**, Machbarkeitsstudie eines Holzhauses in der Gebäudeklasse 5 [Online] – 2007, www.wohnbauforschung.at/.../LF_Holzbau_Gebaeudeklasse_5_DE.pdf, Stand 07.09.2014
- [56] **Teibinger M., Holzforschung Austria**, Brandschutztechnische Lösungen für den vielgeschoßigen Holzwohnbau [Informationsblatt] - 2009
- [57] **Timbory by Haas (o.V.)**, Profihandbuch für Brettsperrholz [Publikation] - o.J.
- [58] **Übungen zu PC-Hardware für Wissenschaftler (o.V.)**, Multimeter [Online] - <http://www.univie.ac.at/photovoltaik/cose/multimeter.html>, Stand 07.09.2014
- [59] **Velox Werk GesmbH**, Webpage [Online] – 2014, www.velox.at
- [60] **Velox Werk GesmbH**, Datenblatt [Online], http://www.velox.at/fileadmin/content/produkte/wohn-hochbau/mantelbetonprodukte/Datenblatt_WSD30_35_50.pdf, Stand: 07.09.2014
- [61] **weitgespannte Flachdeckensysteme in Holzspanbeton-Verbundbauweise**, Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) der TU Wien, FFG-Projekt-Nr.: 824892. In Druck. Wien: TU Wien [Forschungsbericht] – 2015
- [62] **Wiener Stadtentwicklungs- Stadtplanungs- und Baugesetzbuch**, Bauordnung für Wien [Online] – www.ris.bka.gv.at

- [63] **Wikipedia**, Holzfeuchte [Online] – <http://de.wikipedia.org/wiki/Holzfeuchte>, Stand 07.09.2014
- [64] **Wikipedia**, Thermoelement [Online] – <http://de.wikipedia.org/wiki/Thermoelement>, Stand 07.09.2014
- [65] **Wikipedia**, Gleichgewichtsfeuchte [Online] – <http://de.wikipedia.org/wiki/Gleichgewichtsfeuchte>, Stand 07.09.2014
- [66] **Wolfgruber J., Dipl. Ing.**, Untersuchung der Prinzipien des Brandverhaltens von Holz-Stahl-Verbundkonstruktionen, TU Wien [Dissertation] – 2011

9 **Abbildungsverzeichnis**

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Entzündungstemperatur von unbehandeltem Holz in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer (schematische Darstellung) [02] [66]..... | 11 |
| Abbildung 2: Abminderungsfaktoren für die Festigkeit von Nadelholz parallel zur Faser in Abhängigkeit von der Temperatur nach ÖNORM EN 1995-1-2 | 16 |
| Abbildung 3: Branddreieck als Darstellung der Voraussetzungen für die Brandentstehung | 30 |
| Abbildung 4: Schematische Darstellung der typischen Brandphasen..... | 31 |
| Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Propangasbrenners [08] | 40 |
| Abbildung 6: Schematische Darstellung des Versuchsofens | 41 |
| Abbildung 7: Einheitstemperaturzeitkurve nach ÖNORM EN 13501-2 [ÖNORM001]..... | 42 |
| Abbildung 8: Aufbau eines metallischen Leiters (links) und Ladungsverschiebung bei Wärmezufuhr (rechts) [26]..... | 46 |
| Abbildung 9: Allgemeine schematische Darstellung eines Thermoelements mit Vergleichsstelle [WIKI02] | 46 |
| Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Thermoelements mit Ausgleichsleitung..... | 48 |
| Abbildung 11: Kabelrolle eines teflonbeschichteten Thermomesskabels Typ „K“ mit grüner NiCr-Legierung und weißer Ni-Legierung (links) sowie Thermomesskabel Typ „K“ mit bereits angeschlossenem Thermostecker (rechts) | 51 |
| Abbildung 12: Kennlinien von Thermoelementen nach ÖNORM EN 60584..... | 52 |
| Abbildung 13: Schematischer Aufbau eines Multimeters [58] | 54 |
| Abbildung 14: Vorderseite des Digitalmultimeters Keithley 2700 [13] | 55 |
| Abbildung 15: Rückseite des Digitalmultimeters Keithley 2700 [13] | 56 |
| Abbildung 16: Exemplarische Darstellung der für die Versuchsdurchführungen adaptierten Messwert-ausgabe in der Arbeitsmappe „Daten_log“, Messintervalle: | |

| | |
|---|----|
| 10sek, die Messung wird bis Time= 360sek (60min) bzw. Time = 540sek (90min) fortgeführt..... | 59 |
| Abbildung 17: Tabellenblatt „ETK“ mit Einheitstemperaturzeitkurve entsprechend ÖNORM EN 1363-1 inklusive oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze entsprechend ÖNORM EN 1363-2 als Diagramm für die Branddauer von 90 Minuten | 59 |
| Abbildung 18: Tabellenblatt „Temperaturverlaufdiagramm ETK 90min“ mit Einheitstemperatur-zeitkurve entsprechend ÖNORM EN 13501-2 inklusive oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze, sowie den Messergebnissen der Ofentemperatur (grün) und der Bauteilfugentemperatur (rot), | 60 |
| Abbildung 19: Tabellenblatt „-5“ (Bereichsdarstellung Einheitstemperaturzeitkurve 0-5min) mit exemplarischen Messwerten der Ofentemperatur (minimale, maximale und mittlere Temperatur)..... | 61 |
| Abbildung 20: Tabellenblatt „-10“ (Bereichsdarstellung Einheitstemperaturzeitkurve 5-10min inkl. oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze) mit exemplarischen Messwerten der Ofentemperatur (minimale, maximale und mittlere Temperatur)..... | 61 |
| Abbildung 21: Tabellenblatt „-90“ (Bereichsdarstellung Einheitstemperaturzeitkurve 75-90min inkl. oberer und unterer Abweichungstoleranzgrenze) mit exemplarischen Messwerten der Ofentemperatur (minimale, maximale und mittlere Temperatur) ... | 62 |
| Abbildung 22: Brettsperrholzbinder als Ausgangsmaterial für die Probekörper bei der Freiluftlagerung | 65 |
| Abbildung 23: Handkoffer Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 (links) und Hohlkammersonde mit 2x 60mm Nadelelektroden (rechts) | 66 |
| Abbildung 24: Feuchtemessung BES Bollmann 200 am Probekörper mit eingeschlagener Hohlkammersonde..... | 67 |
| Abbildung 25: Feuchtigkeitsbestimmung von Holzleichtbetonplatten WSD 35 und WSD 50 an 10 Probekörpern mittels Darrtrocknung im Trockenofen unmittelbar nach der Entnahme vom Lagerplatz (Tag 0) | 69 |
| Abbildung 26: Feuchtigkeitsbestimmung von Holzleichtbetonplatten WSD 35 und WSD 50 an 10 Probekörpern mittels Darrtrocknung im Trockenofen kurz vor Ende der Versuchsdurchführungsphase (Tag 57) | 70 |
| Abbildung 27: Probekörper WSD 35 und WSD 50 mit den Abmessungen 12x12cm bei der Trocknung im Trockenschrank..... | 70 |

Abbildung 28: Messanzeige des Gasdrucks an der Propangasflasche, Einstellung > 1bar (links) und Messanzeige am Gasdruckregler, übliche Einstellung zwischen 0.5 und 1 bar (rechts)..... 71

Abbildung 29: Überprüfung aller Temperaturmessfühler in der Arbeitsmappe „Daten_log“, Messintervalle: 10sek..... 73

Abbildung 30: Schematische Darstellung der Entwicklung des Wassergehalts in den für die Versuchsdurchführungen verwendeten Holzleichtbeton-Platten WSD 35 und WSD 50, sowie Probekörpern aus Brettsperrholz, Lagerung bei einer Luftfeuchtigkeit von 55%-60% und einer Raumtemperatur um 20°C 76

Abbildung 31: Temperaturentwicklung in Abhängigkeit von der gewählten Ummantelung der Probekörper mit Brandschutzpatten bzw. mit Aluminiumsilikatfasermatten an der „heißen“ Seite der Stahlplatte [66] 78

Abbildung 32: Optische Bewertung des Brandverhaltens von Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50 der Firma Velox nach 45 Minuten, 60 Minuten, 75 Minuten, 90 Minuten, 105 Minuten, 135 Minuten Branddauer 83

Abbildung 33: Optische Bewertung des Brandverhaltens von Holzspan-Dämmplatten WS 50 der Firma Velox vor Brandbeginn, nach 15 Minuten, 30 Minuten, 45 Minuten Branddauer, Auszug aus dem „Forschungsbericht: weitgespannte Flachdeckensysteme in Holzspanbeton-Verbundbauweise“ des ITI der TU Wien [61]..... 83

Abbildung 34: Schematischer Probekörperaufbau Vorversuchsreihe 1 84

Abbildung 35: Aus der Vorversuchsreihe 1 resultierende Temperaturzeitkurve (orange) basierend auf insgesamt 6 Messwerten aus VV1-a und VV1-b (grau), keine seitliche Dämmung, Messung in der Ebene zwischen WSD-Platte und Probenholz .. 84

Abbildung 36: Schematischer Probekörperaufbau Vorversuchsreihe 2 85

Abbildung 37: Aus der Vorversuchsreihe 2 resultierende Temperaturzeitkurve (rot) basierend auf insgesamt 6 Messwerten aus VV2-a und VV2-b (grau), durchgehende seitliche Dämmung, Messung in der Ebene zwischen WSD-Platte und Probenholz .. 85

Abbildung 38: Schematischer Probekörperaufbau Vorversuchsreihe 3 86

Abbildung 39: Aus der Vorversuchsreihe 3 resultierende Temperaturzeitkurve (dunkelrot) basierend auf insgesamt 6 Messwerten aus VV3-a und VV3-b (grau), durchgehende ofenseitige Bekleidung und seitliche Dämmung, Messung in der Ebene zwischen WSD-Platte und Probenholz 86

| | |
|--|-----|
| Abbildung 40: Schematischer Probekörperaufbau Vorversuchsreihe 4..... | 87 |
| Abbildung 41: Temperaturzeitverlaufdiagramm für 2x1.5cm Gipsfaserfeuerschutzplatten mit den Messergebnissen aus den Versuchen RV-a und RV-b und dem Vergleich zu bereits abgeschlossenen Forschungsarbeiten [12], Versuchsdauer 90 Minuten, <i>vgl. Abbildung 45</i> | 87 |
| Abbildung 42: Probekörperaufbau der Vorversuchsreihe 1 vor Versuchsbeginn (links) und Holzoberfläche mit seitlicher Verkohlung nach 60 Minuten Brandeinwirkung (rechts) | 89 |
| Abbildung 43: Randeinfassung der Probekörperaufbauten von Vorversuchsreihe VV2 (links) und Vorversuchsreihe VV3 (rechts) im Vergleich..... | 89 |
| Abbildung 44: Verkohlungsbild der Probekörperaufbauten VV2 (links) und VV3 (2x rechts)..... | 90 |
| Abbildung 45: Temperaturzeitverlauf unterhalb 2 Lagen 15 mm Gipsfaserplatten entsprechend den Ergebnissen der TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Holzforschung [12], Zeitachse in [min], <i>vgl. Abbildung 41</i> | 92 |
| Abbildung 46: Graphische Gegenüberstellung der gemittelten Ergebnisse der vier durchgeführten Vorversuchsreihen (maßgebend: $\Delta t_{\text{Mittel}}=250^{\circ}\text{C}$) | 93 |
| Abbildung 47: Schematischer Probekörperaufbau Hauptversuchsreihe 1 | 96 |
| Abbildung 48: Aus der Hauptversuchsreihe 1 resultierende Temperaturzeitkurve basierend auf insgesamt 15 (12+3) Thermomesswerten | 96 |
| Abbildung 49: Holzoberfläche zweier Probekörper nach der Brandbeanspruchung entsprechend der ETK, | 97 |
| Abbildung 50: Schädigungsgrad der Holzoberfläche in Abhängigkeit von der Temperatur | 98 |
| Abbildung 51: Schematischer Probekörperaufbau Hauptversuchsreihe 2, einlagig, Messung in der Bauteilfuge..... | 100 |
| Abbildung 52: Aus der Hauptversuchsreihe 2 resultierende Temperaturzeitkurve basierend auf insgesamt 9 Messwerten | 100 |
| Abbildung 53: Thermolemente unterhalb der der Verkleidung (links), diagonale Fuge in der Verkleidung des Probekörpers (rechts) | 101 |
| Abbildung 54: Schematischer Probekörperaufbau Hauptversuchsreihe 2, zweilagig, Messung in der Bauteilfuge..... | 102 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 55: Brandschädigung in der Ebene zwischen beiden Holzleichtbetonplatten (links) und an der Holzoberfläche (rechts)..... | 102 |
| Abbildung 56: Aus der Hauptversuchsreihe 3 resultierende Temperaturzeitkurve basierend auf insgesamt 12 Messwerten..... | 103 |
| Abbildung 57: Thermoelemente im Schraubebereich, Messung direkt an der Schraube (links), in 5mm Entfernung (mitte), in 10mm Entfernung (rechts) | 105 |
| Abbildung 58: Leichte Holzverfärbungen im Schraubenbereich nach 60min Brandbeanspruchung (links) und Verkohlungsbild nach 90min (rechts)..... | 106 |
| Abbildung 59: Aus der Hauptversuchsreihe 4 resultierende Temperaturzeitkurve basierend auf insgesamt 12 Messwerten..... | 107 |
| Abbildung 60: Zweikomponentenkleber Sikadur®-31 Komponenten A und B | 108 |
| Abbildung 61: Kleberrückstände und verkohlte Holzleichtbetonplatte am Ende einer Brandbeanspruchungsdauer von 90 Minuten | 108 |
| Abbildung 62: Zeitlicher Verlauf der Temperaturverteilung eines Holz-Holzleichtbeton Verbundquerschnittes (WSD 50 und BSP) unter Brandeinwirkung nach Einheitstemperaturzeitkurve, Temperaturmessung durch 11 NiCr-Ni Thermolemente in 6 Ebenen (4x Ofen, 4x Holzleichtbeton, 1x Fuge, 2x Holz)..... | 111 |
| Abbildung 63: Temperaturverlaufdiagramm eines Holz-Beton Verbundquerschnittes (WSD 50 und BSP) unter Brandentwicklung nach Einheitstemperaturzeitkurve Temperaturmessung durch 11 NiCr-Ni Thermolemente in 6 Ebenen (4x Ofen, 4x Velox, 1x Fuge, 2x Holz) | 112 |
| Abbildung 64: Auszug aus der Daten_log-Datei mit gerundeten Temperaturmesswerten, Versuchsdauer 90 Minuten, Darstellung der Ergebnisse für den Anfangsbereich, die Bereiche um 5min, 15min, 30min, 45min, 60min, 75min, 90min, sowie um jene Bereiche, durch die das Erreichen der Grenze für den Kapselungseffekt laut ÖNORM EN 13501-2 für die Plattenerzeugnisse WSD 35 und WSD 50 definiert ist (grün)..... | 114 |
| Abbildung 65: Versuchsaufbau zur Modellierung der zeitlich veränderlichen Temperaturverteilung im Querschnitt | 114 |
| Abbildung 66: Abbrand je Zeiteinheit für eine Holzleichtbetonplatte WSD 50 im Holz-Holzleichtbeton Verbund (links), idealisiertes Modell einer bilinearen Abbrandrate für eine Holzleichtbetonplatte WSD 50 im Holz- Holzleichtbeton Verbund (rechts) | 114 |

Abbildung 67: Zeitlicher Verlauf der Temperaturverteilung im Schraubennahbereich eines Holz-Holzleichtbeton Verbundquerschnitts (WSD 50 und BSP) 116

Abbildung 68: Darstellung der durch die erhöhte Wärmeleitfähigkeit bedingten oberflächlichen Verkohlung im unmittelbaren Schraubennahbereich in Abhängigkeit von der Zeit (unten)..... 117

Abbildung 69: Brandschutzbekleidung mittels Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35, zweilagig..... 124

10 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von Holz in Masse-% [66]..... | 8 |
| Tabelle 2: Einteilung der Stoffgruppen von Holz in Haupt- und Nebengruppen | 8 |
| Tabelle 3: Phasen der thermischen Zersetzung von Holz [48]..... | 10 |
| Tabelle 4: Übersicht von materialspezifischen Kenndaten von Holzleichtbeton [21] | 19 |
| Tabelle 5: Österreichische und europäische Brennbarkeitsklassen und Brandnebenerscheinungen [42]..... | 32 |
| Tabelle 6: Feuerwiderstandsdauer, Bauteilverhalten je Gebäudeklasse laut OIB-Richtlinie 2 | 35 |
| Tabelle 7: Werte aus der Einheitstemperaturzeitkurve nach ÖNORM EN 13501-2 [ÖNORM001]..... | 43 |
| Tabelle 8: Nomenklatur der Probekörper für die Vorversuchsphase und die Hauptversuchsphase | 45 |
| Tabelle 9: Thermoelemente nach ÖNORM EN 60584-1 | 49 |
| Tabelle 10: Typische Werte bei der Gegenüberstellung der Holzfeuchte u und dem Wassergehalt w [62]..... | 64 |
| Tabelle 11: Typische Feuchtegrade von Nutzholz [63] | 64 |
| Tabelle 12: Auszug aus dem Produktdatenblatt BES Bollmann Combo 200 [03] ... | 66 |
| Tabelle 13: Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsperrholz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 unmittelbar nach der Entnahme vom überdachten Lagerplatz (Tag 0) | 67 |
| Tabelle 14: Feuchtigkeitsbestimmung von Brettsperrholz an 5 Probekörpern mittels Feuchtemessgerät BES Bollmann 200 kurz vor Ende der Versuchsdurchführungsphase (Tag 57)..... | 68 |
| Tabelle 15: Abweichung der Anfangstemperaturen zur Vorgabe nach ÖNORM EN 1363-1 (+10°C bis +40°C)..... | 74 |
| Tabelle 16: Datenblatt der Firma Velox, für Holzspan-Dämmplatten WSD 35 und WSD 50 [60] | 80 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 17: Optische Bewertung von Holzspanplatten der Firma Velox bei einer Temperaturbelastung nach der Einheitstemperaturzeitkurve. [61] | 80 |
| Tabelle 18: Optische Bewertung von Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50 der Firma Velox bei einer Temperaturbelastung nach der Einheitstemperaturzeitkurve, Wassergehalt rd. 8,5%..... | 81 |
| Tabelle 19: Vergleich der aus den Versuchen resultierenden Näherungen der eindimensionalen Abbrandraten für Holzspan-Dämmplatten WS 50 und Holzspan-Schallschutzplatten WSD 50 im Vergleich mit Bauholz..... | 82 |
| Tabelle 20: Tabellarische Gegenüberstellung der Kapselungsdauern aller Vorversuche VV1-VV4..... | 93 |
| Tabelle 21: Tabellarische Gegenüberstellung der Kapselungsdauern aller Hauptversuche HV1-HV4..... | 109 |
| Tabelle 22: Auszug aus der Publikation „Bemessung von brandabschnittsbildenden Bauteilen in brennbarer Bauweise“, ETH Zürich, Grundschutzzeit und Isolationszeit für gängige Plattenwerkstoffe [05]..... | 121 |
| Tabelle 23: Hergeleitete Formeln zur Ermittlung der Grundschutzzeit und der Isolationszeit für Holzspan-Schallschutzplatten WSD 35 der Firma Velox | 123 |