

Historie der Abbrandmessung von Holz und Holzwerkstoffen bei HFM-TUM

T 3339

T 3339

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2016

ISBN 978-3-8167-9793-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Abschlussbericht B15197

Historie der Abbrandmessung von Holz und Holzwerkstoffen bei HFM@TUM

Auftraggeber:

DIBt – Deutsches Institut für Bautechnik

GZ: P 52-5-4.196-1464/15

Projektbearbeiter:

Dipl.-Ing. (Univ.) Rupert Ehrlenspiel

Leiter Brandforschung und -prüfung

Holzforschung München

Technische Universität München

Winzererstr. 45

D-80797 München

Tel. +49 (0)89 2180-6480

München, 24.März 2016

Inhalt

1.	Einführung	2
2.	Geschichte der Abbrandmessung an der Holzforschung München	2
2.1.	Einleitung	2
2.2.	Methodik	3
2.3.	Verwendete Prüfeinrichtungen in der Holzforschung München	3
2.4.	Normenvergleich	6
2.5.	Geschichte der <i>Abbrandprüfung</i> (industrielle Auftragsarbeiten) an HFM	9
2.6.	Wissenschaftliche Arbeiten und Forschungsberichte zum Abbrand	11
3.	Vorschlag zur Ausarbeitung einer Prüfvorschrift	12
3.1.	Anwendungsbereich	13
3.2.	Prüfvorschrift (Entwurf)	13
3.3.	Schlussfolgerung und Empfehlungen	20

1. Einführung

Es sollen die bei HFM vorhandenen Prüfberichte über Versuche zur Bestimmung der Abbrandrate von Holz / Holzwerkstoffen aus den letzten ca. 25 Jahren recherchiert werden. Auf Basis dieser Recherche wird ein Prüfvorschlag über die Bestimmung der Abbrandrate erarbeitet.

Die Projektschritte lt. Vertrag vom 20.1.2015 sind:

- Recherche der Prüfberichte
- Vergleichen mit heutigen Anforderungen, z. B. nach EN 1363-1
- Erarbeitung Prüfvorschlag über die Bestimmung der Abbrandrate
- Empfehlungen

2. Geschichte der Abbrandmessung an der Holzforschung München

2.1. Einleitung

Die Holzforschung München (HFM) wurde 1954 an der Ludwigs-Maximilian-Universität (LMU) gegründet. Der Brandbereich existierte von Anfang an, war jedoch zu diesem Zeitpunkt eine Unterabteilung des Bereichs Holzwerkstoffe. Er hat sich im Laufe der Zeit zu einer eigenen Abteilung innerhalb der Organisation der Holzforschung München (HFM) entwickelt, und ist seit Jahrzehnten eine anerkannte PÜZ-Stelle (Bay 06), und seit etwa 12 Jahren eine notifizierte Stelle (NB 0797). Seit wenigen Jahren gehört er zum „TUM Forschungslaboratorium Holz“, das wiederum Teil der HFM ist.

Ein wichtiger Schritt wurde im Jahre 1970 vollzogen, als im Zuge der Errichtung eines Neubaus auf dem Gelände der Holzforschung München neue Räumlichkeiten geschaffen wurden. Der alte Gebäudeanbau wurde abgerissen. Im Zuge der Verlegung bestimmter Abteilungen in den Neubau erhielt die Brandforschung einen eigenständigen Bereich in diesem Gebäude. Die Brandforschung und -prüfung verfügt über eigene Labore innerhalb des Gebäudes und betreibt überdies seit 2006 eine Zweigstelle in Dachau.

Bei der Recherche der Geschichte der Abbrandmessung an der HFM wurden die vorhandenen Prüfberichte und die wissenschaftlichen Arbeiten betrachtet.

Der vorliegende Forschungsbericht soll einen Überblick über die an der Holzforschung durchgeführten Versuche ermöglichen. Des Weiteren soll die Norm 4102 Teil 8 (Okt. 2003), auf deren Grundlage der Kleinprüfstand zur Messung der Abbrandgeschwindigkeit meist betrieben wurde, betrachtet werden. Die deutsche Norm soll in diesem Zusammenhang mit der europäischen Norm DIN EN 1363 Teil 1 (Okt. 2012) verglichen werden. Vorhandene Unterschiede zwischen den beiden Normen sollen aufgezeigt werden.

Auf Grundlage der so gewonnenen Ergebnisse soll eine Prüfvorschrift vorgeschlagen werden, die sowohl die Anforderungen an den Prüfofen als auch den Ablauf der Prüfung sowie die zu verwendenden Messverfahren formuliert.

2.2. Methodik

Der Rechercheansatz gliedert sich wie folgt: Es wurden sämtliche seit 1956 an der Holzforschung vorhandenen (Leitz-)Ordner, in denen die Prüfmappen chronologisch abgelegt sind, durchsucht, um Prüfungen zum Abbrand ausfindig zu machen. Eine erste Auswahl der Versuche war gut möglich, da durch das Archivierungssystem der Brandabteilung Versuche, die am Kleinprüfstand bzw. am Wandprüfstand durchgeführt wurden, farblich gekennzeichnet sind. Es wurden dennoch alle Mappen gesichtet.

Im Folgenden werden neben den an HFM getätigten Versuchen auch der allgemeine Aufbau des Kleinprüfstandes, sowie die unterschiedlichen verwendeten Versuchsanordnungen betrachtet. Die einzelnen Testvarianten werden auf die Vergleichbarkeit mit den in der Normung geforderten Anforderungen bewertet. Im Zuge dessen soll auch ein Vergleich zwischen DIN EN 1363 Teil 1 und DIN 4102 Teil 8 erfolgen.

2.3. Verwendete Prüfeinrichtungen in der Holzforschung München

Die Prüfeinrichtungen, die in der Holzforschung München für die Ermittlung der Abbrandwerte durch Versuche oder Prüfungen herangezogen werden, sind der Wandprüfstand und der Kleinprüfstand.

Der Kleinprüfstand wird zur Ermittlung der eindimensionalen Abbrandrate verwendet. Er existiert seit dem Umzug der Brandabteilung in den Neubau im Jahre 1970. Neben der Bestimmung von Abbrandraten wird er bis heute für die Prüfung des Feuerwiderstands von Zubehörteilen für Feuerschutztüren verwendet.

Der Wandprüfstand spielt im Zusammenhang mit der Messung der Abbrandrate an der HFM eine untergeordnete Rolle.

Die Versuche zur Abbrandmessung wurden in verschiedenen Umfängen und von verschiedenen Forschern zu den unterschiedlichsten Themen erbracht. Entsprechend der Anforderungen durch das jeweilige Projekt wurden an der Holzforschung auf Grundlage der DIN 4102 Teil 8 in der Vergangenheit verschiedene Prüfaufbauten und Messverfahren angewendet.

Überblick über die Prüfverfahren

Die verwendeten Prüfverfahren sind vielfältig, ebenso wie die unterschiedlichen Bewertungsansätze. Diese reichen von der reinen Bestimmung der Abbrandgeschwindigkeit durch die Bestimmung nach dem Versuchende bis hin zur Ermittlung der während der Prüfung entstehenden Brandgase.

Das am häufigsten verwendete Prüfverfahren ist die *Messung nach Versuchsende*, d. h. nach Beendigung der Beflammung.

In mehreren wissenschaftlichen Arbeiten wurde die *kontinuierliche Messung* durch die Verwendung von Sonden verwendet. Hierbei werden mit einem definierten Druck mehrere Wolframnadeln durch den Brennraum auf den Prüfkörper gedrückt. Dies geschieht in vorfestgelegten Zeitintervallen, z. B. alle 10 Sek.. Die Sonden bewegen sich dann immer so weit, wie sie das bereits verkohlte Holz durchstoßen können und bleiben am unverkohlten Rest der Probe stehen. Dieser Effekt resultiert aus der höheren Dichte und Festigkeit des unverbrannten Holzes.

Des Weiteren konnten Versuche mit *Thermoelementen* recherchiert werden, bei denen das Fortschreiten des Abbrandes durch die Bestimmung der Temperatur im Holz ermittelt wird. Überschreitet ein Thermoelement eine vorher festgelegte Temperatur, kann davon ausgegangen werden, dass der Prüfkörper an diesem Punkt vollkommen verkohlt ist.

Ein weiteres angewendetes Verfahren ist die Verwendung von *Austauschkörpern*. Hierbei handelt es sich um kleine konische Proben, die während der Prüfung immer wieder ausgetauscht werden. An diesen Proben ist dann die Bestimmung der Abbrandrate möglich.

In Ergänzung zu diesen bereits länger bekannten Methoden wurde ein *Ultraschall-Echoverfahren* verwendet.

Beschreibung des Prüfstandes

Der Prüfstand befindet sich, wie in DIN 4102 Teil 8 (10/2003) gefordert, in einem separaten Raum neben dem Großen Brandlabor. Alle grundsätzlich notwendigen Teile wie der Brenner und die Messeinrichtungen sind vorhanden. Der Brandraum erfüllt die vorgegebenen Anforderungen hinsichtlich der verbauten Materialien und Materialeigenschaften. Er besitzt keine wie in der Norm erlaubte, aber nicht geforderte, Dämmung und keine ebenfalls optionale Verkleidung mit Stahlblechen.

Wie in der Norm erlaubt, befindet sich auf beiden Längsseiten je eine Öffnung. Die optionale Öffnung an der Decke des Brandraumes ist verschlossen. Eine der beiden vorhandenen Längsöffnungen wurde zudem zu einem späteren Zeitpunkt gemäß den Vorgaben durch die Norm verschlossen und mit einer Vorrichtung zur kontinuierlichen Messung des Abbrandes mit Hilfe von Sonden versehen. Es ist ein verschließbares Beobachtungsschauglas vorhanden. Die Abgasführung ist so konstruiert, dass sich im Brandraum der durch die Norm geforderter Überdruck von bis zu 12 Pa innerhalb der geforderten ersten 5 Minuten erreichen lässt.

Der im Prüfstand verbaute Brenner ist ein Ölzerstäubungsbrenner, der, wie durch die Norm verlangt, eine kontinuierliche Flamme erzeugen kann. Die von der Norm verlangten Brennmittel werden verwendet. Die Einheitstemperaturkurve kann mit dem Prüfstand innerhalb der erlaubten Toleranz nachgefahren werden. Die verbauten Messeinrichtungen zur Messung des Drucks sind in Übereinstimmung mit der DIN 4102-8:2003-10. Die Messung der Temperatur kann sowohl mit dem in der DIN geforderten geschlossenen Mantelthermoelement, aber auch mit dem von der EN geforderten Plattenthermoelement durchgeführt werden. Hierzu müssen die Thermoelemente jedoch gewechselt werden, eine gleichzeitige Messung ist nicht möglich.

Die von der DIN 4102-2:1977-2 definierte minimale Versuchsdauer von 30 Minuten, wird an der Holzforschung ebenfalls bei den Versuchen eingehalten. Die maximale Probendicke beträgt 80 mm. Die Raumluf-Abzugsanlage muss laufen. Die Maße der in Kleinprüfstand zu testenden Materialien müssen unterhalb 590mm x 540mm x 80 mm sein.

Durch die Abbildungen 1-3 soll ein Eindruck über den Kleinprüfstand vermittelt werden.

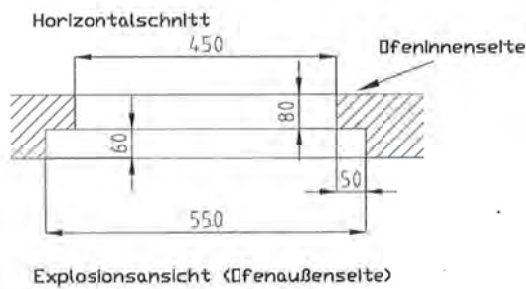


Abbildung 1

Die Breite der Öffnung des Prüfofens liegt bei 450 mm , die äußere Aufnahmeöffnung für die Prüfkörper beträgt 550 mm, die Differenz zwischen der äußeren und inneren Öffnung beträgt auf beiden Seiten jeweils 50 mm. Die Tiefe des äußeren Einsatzbereiches für die Prüfkörper beträgt 60mm, der Durchgangsbereich zwischen Probe und Prüfraum beträgt 80mm.

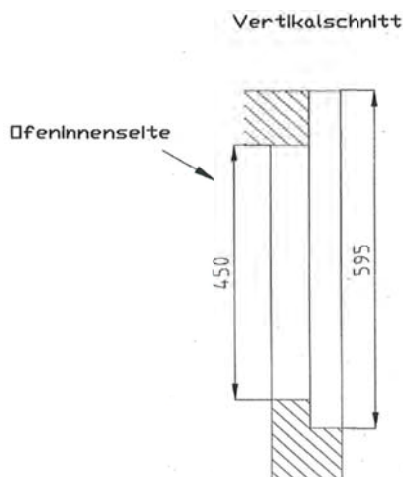


Abbildung 2

In der Höhe ist die äußere Öffnung 595mm hoch, im Inneren ist die Öffnung wiederum 450 mm hoch.

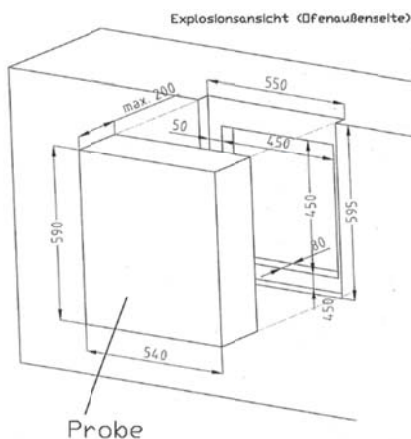


Abbildung 3

Ein Problem im Zusammenhang mit der Prüfung liegt in der Beschaffenheit bestimmter Probekörper. Bei sich stark verziehendem oder stark ungleichmäßigem Material kann es zu Problemen mit der Dichtigkeit des Prüfofens kommen. Außerdem kann die Messung nach dem Versuche („nach Abbrand“) durch Unebenheiten beeinträchtigt werden. Auch durch Risse und Spalte im Probekörper können bei unsachgemäßer Messung Fehler auftreten. In diesem Zusammenhang ist die Fachkenntnis der Mitarbeiter von großer Bedeutung, um mögliche Messfehler zu vermeiden.

2.4. Normenvergleich

DIN EN 1363 Teil 1 (2012-10) „... stellt allgemeine Grundsätze für die Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer von verschiedenartigen Bauteilen auf,...“. Es wird darüber hinaus durch die Norm formuliert: „...die Details sind jedoch im spezifischen Prüfverfahren angegeben.“

Hier zeigt sich ein erster Unterschied zwischen den Normen. DIN 4102 Teil 8 (10/2003) definiert nur den spezifischen Aufbau und die Bedingungen für einen bestimmten Prüfofen. „Diese Norm legt einen Kleinprüfstand zur Brandprüfung von Baustoffen bzw. Bauteilausschnitten fest.“

DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) hingegen beschreibt die allgemeinen Bedingungen für Prüföfen zur Feuerwiderstandsmessung und lässt einen gewissen Handlungsspielraum beim detaillierten Aufbau des Ofens durch den Verweis auf Anforderungen, die durch andere Normen definiert sind. Die Angaben, die in der Norm gemacht werden, sollen *allgemein* anwendbar sein. Dies gilt sowohl für eindimensionale und mehrdimensionale Prüfungen, sowie Versuche bei denen eine Lastaufbringung stattfindet.

Ein technischer Unterschied zwischen den Normen ist die *Auskleidung des Prüfofens*. DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) fordert eine deutlich niedrigere Materialdichte als DIN 4102 Teil 1 (10/2003). In der EN muss die Dichte des Materials zur Auskleidung unter 1000 kg/m^3 liegen. Die DIN indes fordert eine deutlich höhere Dichte von 1900 kg/m^3 . Die DIN unterscheidet darüber hinaus auch zwischen Boden, Wänden und Decke. Dies hat zur Folge, dass für bestimmte Bereiche des Ofens eine Auskleidung gefordert wird, die eine Dichte 2100 kg/m^3 besitzt.

Auch hinsichtlich des *Brennstoffs* gibt es Unterschiede. Die EN ist hier großzügiger gehalten, da durch sie neben Diesel und Heizöl auch Gas als Brennstoff zugelassen ist.

Die deutsche Norm ist auch hinsichtlich der *Anzahl der Prüfkörper*, die gleichzeitig geprüft werden dürfen, strenger formuliert. Die DIN erlaubt nur die Prüfung von einem Prüfkörper. Die EN hingegen lässt, wenn alle gestellten Anforderungen erfüllt sind, die Prüfung von 2 Probekörpern gleichzeitig zu. Eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Probekörper wird also in Kauf genommen.

In DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) werden Anforderungen zu Versuchsaufbauten geregelt, die nicht durch die DIN 4102 Teil 8 (10/2003) abgedeckt sind, da sie andere Prüfungen betreffen. Hierzu sollen exemplarisch die Rahmenbedingungen für den Betrieb einer Belastungseinrichtung und die Anforderungen an einen zu verwendenden Prüfrahmen genannt werden. Die Forderungen hierfür finden sich in der europäischen, jedoch nicht in der deutschen

Norm. Einige der angesprochenen Anforderungen lassen sich jedoch in anderen Teilen der DIN 4102 finden.

Betrachtet man sich die *Messmittel*, so zeigen sich auch hier einige Unterschiede. DIN 4102 Teil 8 (10/2003) fordert ein geschlossenes Mantelthermoelement vom Typ K, dessen Aufbau und Positionierung durch Abbildungen genau vorgegeben ist. In DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) wird ein ummanteltes Plattenthermoelement vom Typ K gefordert. Der Aufbau des Plattenthermoelementes wird durch die Norm vorgegeben. Die Position und Befestigung des Thermoelementes sind in der Norm ebenfalls geregelt.

Die EN ist in Bezug auf die *Thermoelemente* deutlich ausführlicher, da sie neben dem Thermoelement zur Messung der Brandraumtemperatur weitere Thermoelemente genau definiert. Es werden Anforderungen sowohl an Thermoelemente zur Messung der Temperatur auf der Probenrückseite angegeben, als auch für bewegliche Thermoelemente, und Thermoelemente, die im Probeninneren platziert werden. Auch die Messeinrichtung für die Umgebungstemperatur wird direkt in der Norm beschrieben. Es werden des Weiteren auch Angaben zur Wartung, Anordnung, Spezifikation sowie zu möglicherweise auftretenden Problemen bei der Messung gemacht. Die Angaben zur Spezifikation der Thermoelemente unterscheiden sich jedoch in ihrer Genauigkeit. So wird im Falle der Messung der Innentemperatur auf ein konkretes Beispiel mit einem konkreten Material verwiesen. Hier zeigt sich jedoch auch die teilweise nicht ausreichend detaillierte Beschreibung durch die Norm, da hinsichtlich anderer Versuchsbedingung sich nur die Formulierung „angemessen“ findet und keine detaillierten Angaben zu abweichenden Bedingungen zu finden sind.

In Bezug auf den zu verwendenden *Druckmesskopf* zeigt sich ein weiterer Unterschied, da die Durchmesser des zu verwendenden Stahlrohres sich stark unterscheiden. Zusätzlich zu den Angaben, die durch die DIN gemacht werden, finden sich in der EN weiterführende Angaben zur Handhabung der Geräte, den geforderten Messintervallen und zur Verwendung der erhobenen Daten. Zu den Angaben der DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) ist jedoch zu sagen, dass sich Teile der dort gemachten Angaben in der deutschen Norm DIN 4102 Teil 2 (10/2003) finden lassen. Hier zeigen sich Unterschiede in der Struktur der Normen zwischen Deutschland und Europa.

Hinsichtlich der *Prüfbedingungen* finden sich in der DIN 4102 Teil 8 ungenauere Angaben als in der EN: In der DIN wird festgelegt, dass die übrigen Brandraumöffnungen mit Formköpern aus Feuerbeton mit den gleichen Eigenschaften wie der Rest des Prüfofens verschlossen sein müssen. Außerdem muss sich die Raumtemperatur im Prüfraum in den letzten 24h vor dem Brandversuch innerhalb einer Toleranz von 15 – 25°C Grad bewegen. Die erwähnte Abweichung von 15 K bei der Temperatur im Brandraum darf von der durch die Normung vorgegebenen Sollkurve darf nicht überschritten werden. Der geforderte Überdruck, der während der Prüfung im Brandraum vorherrschen muss, beträgt 10 ± 2 Pa, dieser Wert muss nach den ersten 5 min der Prüfung erreicht werden.

DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) differenziert hier deutlich stärker. Dort wird zum einen die zugelassene Abweichung von der ETK abweichend formuliert: Die *mittlere Kurvenfläche der durch die Thermoelemente gemessenen Werte* im Brandraum darf eine bestimmte prozentuale Abweichung nicht überschreiten. Diese vorgegebene Abweichung steht außerdem in Beziehung zur Fläche, die durch den Verlauf der Temperaturzeitkurven erzeugt wird. Dar-

über hinaus werden für jedes verwendete Thermoelement noch einmal eigene Grenzwerte bestimmt, die nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen überschritten werden dürfen.

Im Zusammenhang mit der *Umgebungstemperatur* zeigt sich die europäische Norm in Bezug auf den Temperaturbereich, der eingehalten werden muss, als toleranter. Jedoch muss hier die Umgebungstemperatur während des Versuchs konstant gemessen werden, wenn die Prüfung auch hinsichtlich der Wärmedämmkriterien durchgeführt wird.

Auch bei der *Druckmessung* deckt die europäische Normung deutlich mehr mögliche Prüfzenarien ab.

Bei der *Spezifikation der Prüfkörper* wird auf europäischer Ebene zwischen unterschiedlichen Bauteilen je nach Anwendung unterschieden. Im Zusammenhang mit dem Probekörper wird hier auf Pflichten des Auftragsgebers hingewiesen. Im Weiteren werden die Anforderungen hinsichtlich baulicher Ausführung und Konstruktion des Probekörpers spezifiziert, sowie der Einbau der Probekörper reglementiert. Ein wichtiger Punkt der Norm hierbei ist, dass die Probekörper gemäß ihrer späteren Verwendung eingebaut werden müssen. Es wird hierbei von der Repräsentativität der Prüfung gesprochen, die es zu gewährleisten gilt. Beim Einbau der Bauteile wird dadurch sehr stark differenziert.

Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Normen ist, dass DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) *Leistungskriterien* definiert. Diese 3 Leistungskriterien müssen für ein positives Testresultat erfüllt sein. Die genannten Leistungskriterien sind die Tragfähigkeit, der Raumabschluss und die Wärmedämmung. Zusätzlich werden auch formelle Anforderungen an Inhalt und der Darstellung der ermittelten Daten gestellt.

Zur *Beendigung der Prüfung* finden sich nur in der europäischen Norm Angaben. Eine Beendigung ist somit nur zulässig wenn ein Sicherheitsrisiko vorliegt, die vorgegebenen Kriterien erfüllt wurden oder der Auftraggeber der Prüfung die Beendigung verlangt. Wird eine Prüfung abgebrochen oder sie ist erfolglos, sind die Gründe hierfür anzugeben.

In keiner der beiden hier betrachteten Normen ist jedoch definiert, wie mit dem Prüfkörper nach der Prüfung zu verfahren ist. Besonders die *Löschung des Probenkörpers* wäre hierbei von Interesse. Das Ablöschen des Probekörpers an der Holzforschung geschah bis 2014 direkt nach dem Ausbau der Probe mittels CO₂; in anderen Instituten kommen jedoch andere Verfahren zum Einsatz. Es gibt kaum Daten, wie effektiv die verwendeten Verfahren sind und wie groß der Einfluss einer nicht durchgeführten oder mangelhaften Löschung ist.

Auch findet sich in DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) keine Erwähnung des Problems der ungenauen Definition bzw. Positionierung der Abbrandgrenze, sowie des Entferns der Holzkohleschicht. Eine Lösung für die bestehenden Probleme wird nicht formuliert. In der Norm werden außerdem mögliche weitere Fehlerquellen und zu behebbende Missstände angesprochen. Besondere Beachtung findet hierbei das Auftreten möglicher Fehler und Verzerrungen durch den menschlichen Faktor bei der Prüfung. Hierbei fällt besonders der hohe Anteil der möglichen teilweise subjektiv beeinflussten Bewertungen von Faktoren bei der Ermittlung der Abbrandrate auf.

2.5. Geschichte der Abbrandprüfung (industrielle Auftragsarbeiten) an HFM

Die erste dokumentierte Brandprüfung, die schriftlich festgehalten ist, stammt vom 28.07.1956. Bei dem hier durchgeführten Brandversuch handelt es sich jedoch nicht um einen Versuch zur Abbrandgeschwindigkeit. Dieser erste Versuch war eine Glühwertbestimmung für Grubenholz.

Der früheste *Prüfbericht* (industrielle Auftragsarbeit), der im Zuge der Recherche zu Versuchen zur Abbrandrate gefunden wurde, stammt aus dem Jahr **1993**. Hierbei handelt es sich um eine Versuchsreihe, bei der Türausschnitte mit Anleimern verschiedener Holzarten getestet wurden. Die verwendeten Materialien waren Probenkörper, die aus aneinander gelemten Lamellen aus Fichte, Dark Red Meranti und Tapa bestand. Ebenfalls wurden Prüfkörper aus MDF/B1(Baustoffklasse 1) und MDF/B2(Baustoffklasse 2) verwendet. Die Prüfkörper aus Fichte, Meranti und Tapa wurden für 3 Wochen bei 20/60 Normklima und 1 Woche bei 23/50 im Normklima konditioniert. Bei den getesteten MDF-Platten war nur eine Konditionierung für 1 Woche bei 23/50 Normklima möglich.

Die Probestücke wurden für 30 min nach der ETK beflammt. Nach der Prüfung wurden die Proben in einem abgelöscht. Bei der Versuchsauswertung wurden sowohl die Messdaten als auch weitere Beobachtungen vermerkt. Die erfassten Messdaten beziehen sich auf den Abbrand, im speziellen auf die Abbrandtiefe, sowie die Temperaturentwicklung auf der feuerabgewandten Seite. Ebenfalls betrachtet wurde die Verformung der Proben. Weitere Beobachtungen bezogen sich auf die Bildung von Fugen und Rissen durch die Brandbeanspruchung. Unterschiede beim Entfernen der Holzkohleschicht nach dem Versuch zur Messung der Abbrandtiefe wurden im Rahmen der Arbeit ebenfalls festgehalten. Diese Messungen wurden so durchgeführt, dass aus den Probekörpern mittig ein 10 cm breiter Streifen nach dem Entfernen der Holzkohleschicht herausgeschnitten wurde. An dessen Kanten wurde der Abbrand gemessen. Es wurden bei diesem Versuch jedoch keine Abbrandraten berechnet.

Die nächste Prüfung im Zusammenhang mit dem Abbrand fand 1994 statt. Hierbei handelt es sich wieder um Vergleichsversuche zwischen verschiedenen Holzarten und deren Abbrandverhalten. Die hierbei verwendeten Holzarten waren Fichte, Meranti, Kiefer, Hemlock, Esche, Eiche, Weißbuche, Rotbuche, Tapa und Abachi. Das Ziel der Versuche war es herauszufinden, ob die bisher verwendeten Holzarten beim Aufbau von Türen durch andere, zum Beispiel heimische Hölzer ersetzt werden können. Die Proben wurden zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte 3 Monate bei 23° C/ 50% relative Luftfeuchte im Normklima gelagert. Die Versuchsdauer betrug hierbei 30 Minuten, und die Beflammung der Probekörper erfolgte nach Einheitstemperaturkurve (ETK). Die Beschreibung der Probenkörper und der Beobachtungen während der Versuche sind detaillierter als bei dem vorangegangenen Versuch, da außer der Verformung und des Temperaturanstiegs sowie der Lösbarkeit der Kohleschicht noch weitere Aspekte behandelt wurden. Bei diesen Versuchen wurde zu ersten Mal im Rahmen einer Prüfung für einen externen Auftraggeber die Abbrandrate ermittelt.

Ein weiterer Prüfbericht stammt aus dem Jahr 1995 und beschäftigt sich mit den Unterschieden des Abbrandverhaltens. Im Zuge der Versuchsreihe wurden 30 Versuche durchgeführt, von denen 29 im Zusammenhang mit dem erstellten Bericht betrachtet werden. Die Probekörper wurden bis zur Ermittlung der Gewichtskonstanz bei 23°C / 50% rel. Luftfeuchte gelagert. Die Temperaturerhöhung an der Außenseite sowie die Verformung wurden ermittelt. Darüber hinaus war der *Moment der Schwarzfärbung* der Proben von Interesse, um Rückschlüsse auf den Beginn des Abbrandes zu ziehen. Die Probekörper wurden danach wieder

mit CO₂ gelöscht. Aus der Probe wurde dann quer zur Faserrichtung ein 10 cm breiter Streifen mittig herausgeschnitten. Somit konnte der Abbrand sowohl in der Mitte der verwendeten Lamellen als auch an den Kanten der Lamellen ermittelt werden. Aus den so gewonnenen Daten wurde anschließend die Abbrandrate errechnet. Als Ergebnis der Versuche wurde eine Rangfolge hinsichtlich des Abbrandverhaltens der getesteten Holzarten erstellt.

Im Jahr 1996 wurden hinsichtlich des Abbrandverhaltens von verschiedenen Wandaufbauten Prüfungen an der HFM am Kleinprüfstand durchgeführt. Hierbei handelte es sich um einen Holzwerkstoff aus Fichte, der teilweise mit einer Deckschicht versehen war. Diese Deckschicht bestand entweder aus einer Gipskartonplatte, einer Fermacellplatte oder einer Duripanelbeschichtung.

Aus dem Jahr 1998 datiert ein weiterer Prüfbericht zum „Abbrandverhalten verschiedener Holzarten und Werkstoffe. Hierbei wurde nach DIN 4102-8:1986 geprüft. Die verwendeten Materialien beinhalteten neben verschiedenen Holzarten auch MDF-Platten. Die hierbei ermittelten Ergebnisse sagen aus, dass schmalere Lamellen zu einem erhöhten Abbrand führen.

Der nächste dokumentierte Versuch stammt aus dem Jahr 2012. Hierbei ging es um die Ermittlung der Abbrandrate und Feuerwiderstandsdauer nach DIN 4102 Teil 2 (09/1977) und der DIN 4102 Teil 8 (10/2003). Die Klimatisierung erfolgte wieder im Normklima bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz. Die Abbrandrate für die verwendeten Prüfkörper wurde durch kontinuierliche Messung und Messung nach Versuchsende ermittelt, und die Versuche wurden unter Anwendung der ETK durchgeführt.

Der neueste Versuchsbericht, der an der Holzforschung erstellt wurde, stammt aus dem Jahr 2014. Hierbei wurden mit Brandschutzmittel imprägnierte Prüfkörper hinsichtlich der Abbrandrate am Kleinprüfstand untersucht. Der Prüfstand entsprach den Anforderungen aus der DIN 4102 Teil 8 (10/2003). Hierbei kam als einzige Abweichung zur deutschen Norm ein Plattenthermoelement zur Messung der Ofentemperatur zum Einsatz. Das verwendete Plattenthermoelement entspricht den Anforderungen aus der DIN EN 1363 Teil 1 (10/2010). Die Probenkörper wurden im Normklima bei 23°C / 50% rel. Luftfeuchte ausklimatisiert. Die Bestimmung der Abbrandrate fand durch die Messung nach Versuchsende statt. Es wurden zuerst Messungen, wie an der Holzforschung üblich, an einem Streifen von 10 cm Breite durchgeführt. Im Folgenden wurde die Anzahl der Messpunkte stark erhöht, um eine mögliche Verbesserung der Messergebnisse zu ermitteln. Hierzu wurde ein weiterer Streifen aus der Probe geschnitten. Die Messpunkte wurden ansonsten gleich gesetzt wie an dem ersten Streifen, um am Ende die dreifache Anzahl an Messpunkten zu erhalten.

Ende 2015 liefen zwei Forschungsprojekte, in denen ebenfalls Abbrandversuche gemacht wurden bzw. (März 2016) noch werden. Über diese kann aus Vertraulichkeitsgründen nicht berichtet werden. --

Die Versuchsberichte, die als Auftragsarbeiten erstellt wurden, unterscheiden sich in Umfang und erhobenen Daten von den Aufzeichnungen, die für die Forschung ermittelt werden konnten. Dies ist vor allem den unterschiedlichen Anforderungen, die durch die Auftraggeber gestellt werden, im Vergleich zum Forschungsansatz, der durch den Forscher bei einer wissenschaftlichen Arbeit selbst definiert werden kann.

2.6. Wissenschaftliche Arbeiten und Forschungsberichte zum Abbrand

Die erste dokumentierte wissenschaftliche Arbeit stammt von Röll aus dem Jahr 1984. Die Arbeit befasst sich mit der Untersuchung des Abbrandverhaltens von Fichte und Eiche in Abhängigkeit von Rohdichte, Jahrringen und Zeit. Die Proben wurden im Normklima 23° C / 50% rel. Luftfeuchte klimatisiert. Die Versuche erfolgten am Kleinprüfstand nach DIN 4102 Teil 8. Die Ergebnisse wurden durch Messung nach Versuchsende ermittelt. Die Löschung der Probenkörper wurde mittels CO₂ bewerkstelligt. Hierbei wird der Probenkörper direkt nach der Prüfung ausgebaut und in einen mit CO₂ gefluteten Behälter gegeben. Dieses Verfahren wurde bis ca. 2015 zur Ablösung der Proben an der Holzforschung angewendet.

Bei der Arbeit von Lache aus dem Jahr 1991, bei denen Versuche an Holz der Kokospalme durchgeführt wurden, kam zum ersten Mal das Verfahren der *kontinuierlichen Messung mittels Sonden* zum Einsatz. Zur Kontrolle der erhaltenen Werte wurde zusätzlich das Verfahren der Messung nach Versuchsende angewendet. Die Proben wurden im Normklima ausklimatisiert. Die Versuchsdauer bei diesen Versuchen betrug 60 Minuten statt wie an der HFM normalerweise 30 Minuten.

Von Lache stammt auch eine wissenschaftliche Arbeit von 1992. In seiner Arbeit führt er verschiedene Versuche durch. Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf der Ermittlung der Abbrandrate. Die Messung der Abbrandrate wurde auch hier mit kontinuierlicher Messung mittels Sonden und durch Messung nach der Beendigung der Versuche durchgeführt. Es wurden jedoch auch andere Faktoren betrachtet, wie die Verformung der Probe und der *Temperaturverlauf im Inneren der Probe*. Die Temperaturmessung im Inneren wurde mit Thermodrähten des Typs K bewerkstelligt. Die Proben wurden vor dem Versuch im Normklima bei 23°C / 50% rel. Luftfeuchte klimatisiert. Neben den Versuchen am Kleinprüfstand führte Lache auch Brandversuche am *Wandprüfstand* durch, die teilweise mit einer zusätzlichen *Biegebelastung* durchgeführt wurden.

1994 wurde von Zuzana Huntierova (heutiger Name Zuzana Giertlova) eine Dissertation über den Einfluss von Brandschutzmitteln auf die Abbrandrate verfasst. Sie führte in diesem Zusammenhang Abbrandversuche am Kleinprüfstand sowohl mit normalen Probenkörpern als auch mit *während des Versuchs austauschbaren Kleinproben* durch. Die Messung der Abbrandrate erfolgte hierbei sowohl durch kontinuierliche Messung als auch durch Thermoelemente sowie durch die Messung nach Versuchsende. Am Wandprüfstand wurden weitere Prüfungen durchgeführt, die wie in den Versuchen von Herrn Lache auch teilweise einer Biegebelastung ausgesetzt waren. Die Konditionierung unterscheidet sich nicht von den anderen an der Holzforschung durchgeführten Versuchen. Die Prüfbedingungen am Kleinprüfstand wurden in Übereinstimmung mit der DIN 4102 Teil 8 durchgeführt.

Die Abschlussarbeit von Seemann/Ehrlenspiel zum Thema Abbrandrate von Holz und Holzwerkstoffen ist im Jahr 2000 entstanden. Bei der Erstellung der Arbeit wurden keine Versuche durchgeführt, jedoch wird ein Überblick über den Stand des Wissens im Zusammenhang mit der Abbrandrate gegeben. Hierzu wurden die bisher angewendeten Methoden zur Messung der Abbrandrate ermittelt und Werte aus der Literatur zusammengetragen.

Eine weitere Dissertation stammt aus dem Jahr 2003 und wurde von A. Lingens verfasst. Die Arbeit betrachtet den Einfluss der Struktur und des chemischen Aufbaus von Holz. Zur Ermittlung der Ergebnisse wurden Versuche zur Bestimmung der Abbrandrate durchgeführt. Die Konditionierung erfolgte im Normklima nach DIN 50014 (07/1985) bei 23°C / 50% rel.

Luftfeuchte bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz. Die Versuche wurden auf dem Kleinprüfstand durchgeführt. Aufgrund des Forschungsansatzes von Lingens wurden bei seinen Versuchen neben der Abbrandrate weitere chemische Analysen der entstehenden Brandgase und der chemischen Zusammensetzung des Holzes durchgeführt und ausgewertet.

Zwei weitere Arbeiten, die an der Holzforschung im Zusammenhang mit der Abbrandrate durchgeführt wurden, stammen von Fischer und von Schröck aus dem Jahr 2010:

Die Arbeit von Schröck behandelt den „Einfluss von Brandschutzlacken auf das Abbrandverhalten von Holz und Holzwerkstoffen“. Die Probenkörper wurden zuerst gemäß der DIN EN 13238 (12/2007) im Normklima bei 23°C Grad und 50% relativer Luftfeuchte ausklimatisiert. Die Versuche wurden dann auf dem Kleinprüfstand wie in der DIN 4102 Teil 8 (10/2003) durchgeführt. Die Ermittlung der Abbrandrate wurde sowohl mit der kontinuierlichen Messung als auch mit der Messung nach dem Versuchsende durchgeführt.

Die Arbeit von Frau Fischer betrachtete den Einfluss von Rohdichte sowie der Partikelgröße und Ausrichtung der Späne. Ihre Untersuchung umfasste sowohl Holz als auch Holzwerkstoffe. Die Konditionierung erfolgte wie bei Schröck in Übereinstimmung mit der DIN EN 13238 (12/2007). Die von ihr durchgeführten Versuche wurden auf dem Kleinprüfstand der HFM durchgeführt und erfüllen die Vorgaben der DIN 4102 Teil 8 (10/2003). Die Messung der Abbrandrate wurde sowohl mit Messung nach Abbrand als auch durch die Verwendung der kontinuierlichen Messung mit Sonden durchgeführt.

Im Jahr 2012 wurde die neuste Arbeit zur Abbrandrate verfasst. Herr Zellner beschäftigte sich in seiner Arbeit mit verschiedenen Verfahren zur Messung der Abbrandrate. In seiner Arbeit untersuchte er sowohl bereits bekannten Verfahren zur Messung der Abbrandrate als auch neue möglicherweise anwendbare Verfahren zur Abbrandmessung. Das Hauptaugenmerk lag dabei in der Erprobung eines neuen zerstörungsfreien Verfahrens zur Messung der Abbrandrate. Besonderes Interesse hierbei lag auf dem Verfahren der *Ultraschallmessung*. Hierzu wurden die von ihm verwendeten Proben gemäß DIN EN 13238 (12/2007) konditioniert. Die Versuche am Kleinprüfstand nach DIN EN 4102 Teil 8 (10/2003) wurden dann durchgeführt und das neue Verfahren getestet und die Werte mit Messungen die durch die Messung nach Versuchsende, der Messung mittels Thermoelementen und der kontinuierlichen Messung mit Sonden verglichen.

Die Gesamtanzahl an Versuchen zum Thema Abbrandmessung an der Holzforschung beträgt 323.

3. Vorschlag zur Ausarbeitung einer Prüfvorschrift

Wie deutlich wird, kann die EN 1363-1 nur angewendet werden für die rudimentären Prüfbedingungen, nicht aber für spezielle Prüfverfahren, die sich auf die Feuerwiderstandsdauer von Holz und Holzwerkstoffen beziehen. Hierfür müssen die Prüfbedingungen deutlich exakter definiert und bestimmt werden, da der bisherige Status quo sonst nicht verbessert werden kann. Die DIN 4102 Teil 8 (10/2003) gibt zwar genauere Angaben über die Prüfeinrichtung an, jedoch endet die Norm aber mit der Formulierung der Prüfbedingungen.

Eines der Hauptprobleme der Normung liegt deshalb auch am fehlenden Ausschluss von bestimmten Methoden zur Messung der Abbrandrate. Ein weiteres Problem bei der Mes-

sung, auf das aber in der EN 1363-1 eingegangen wird, ist der Faktor dass es zu erheblichen Ungenauigkeiten durch den Einsatz von Menschen kommen kann. Diese Ungenauigkeit wird in EN 1363-1 sehr eindeutig thematisiert. Auch was den Einbau der Probenkörper angeht sind nur allgemeine Angaben zur Probenvorbereitung. Außerdem werden in EN 1363 Teil 1 (10/2012) allgemeine Prüfbedingungen und maximale erlaubte Abweichungen bei Tests angegeben. Hierzu gehören die Parameter Druck, Temperatur, Belastung.

Der hier entwickelte Vorschlag für eine mögliche Prüfnorm soll die Inhalte der bestehenden Normen widerspiegeln und in Konformität mit diesen anwendbar sein. Wo es Lücken gibt, sollen diese geschlossen und die vorhandenen in den Normen vorliegenden Richtlinien ergänzt werden. Diese Ergänzungen sollen helfen, dass eine Rahmenrichtlinie einer Prüfnorm zu Brandprüfung, im speziellen zur Ermittlung der Abbrandrate, erstellt werden kann. In dieser Hinsicht müssen auch die speziellen Eigenheiten der Ermittlung der Abbrandrate berücksichtigt werden. Besonders die Anzahl an verschiedenen bereits etablierten Mess- und Prüfmethoden darf hierbei nicht außer Acht gelassen werden. Die Erarbeitung eines Vorschlages für eine Prüfvorschrift soll dies berücksichtigen, jedoch auch wenn nötig Prüfverfahren ausschließen, die als ungeeignet angesehen werden müssen.

Aufgrund des begrenzten Budgets erhebt der Prüfvorschlag keinen Anspruch auf Vollständigkeit, Ausformuliertheit und Endgültigkeit.

3.1. Anwendungsbereich

Es werden Bedingungen für die Prüfung von Abbrandraten definiert. Es sollen Barrieren zwischen den bisher verwendeten Prüfverfahren abgebaut und Fehlerquellen identifiziert und ausgeschlossen werden.

3.2. Prüfvorschrift (Entwurf)

1. Prüfkörper

1.1. Größe

- Der Probenkörper muss entweder die originale Größe aufweisen oder in einer dem Prüfverfahren angemessenen Größe getestet werden. Der Test muss den vorgegebenen Anforderungen entsprechen, es sollte aber dabei so stark wie möglich anwendungsbezogen geprüft werden.
- Wenn keine Beeinflussung des Prüfvorganges vorliegt, kann mehr als eine Probe gleichzeitig getestet werden

1.2. Probenvorbereitung

- Die Probekörper müssen hinsichtlich ihrer Eigenschaften erfasst werden.
- Die Proben sollen nach DIN EN 13238 (12/2007) im Normklima bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz ausklimatisiert werden. Die Klimatisierung soll jedoch mindestens 4 Wochen dauern.
- Ist nach 4 Wochen keine Gewichtskonstanz erreicht, muss dies festgehalten werden und die Feuchtigkeitswerte müssen dokumentiert werden. Eine Abweichung von der Gewichtskonstanz ist in diesem Fall zulässig.
- Für das Verfahren „Messung der Abbrandtiefe nach Versuchsende“ gilt: Die Probekörperdicke muss so kalkuliert werden, dass eine Mindestrestdicke nach Abschluss der Prüfung nicht unterschritten wird, um eine Verzerrung des Prüfergebnisses durch einen erhöhten Abbrand zu verhindern. Die vorgeschlagene Restdicke beträgt hierbei 22 mm.
- Beispiel, um Platten der Größe 530 mm x 580 mm x 65 mm zu erhalten: Zuschnitt des Holzes auf die Abmessungen 530 mm x 175 mm. Die Einzelstücke werden mit Macroplast UK 8303 (lösungsmittelfreier Zweikomponenten-Klebstoff auf Polyurethanbasis, Fa. Henkel) verklebt. Der so hergestellte Prüfkörper mit den Abmessungen 530 mm x 520 mm wird mit einem Holzstück mit den Abmessungen 530 mm x 60 mm x 65 mm ebenfalls mit Macroplast UK 8303 verklebt. Bei der Verklebung aller Einzelteile ist darauf zu achten, dass die zu beflammende Seite plan wird. Der Prüfkörper wird bis zum vollständigen Abbinden des Klebstoffes gelagert.
- Der Prüfkörper soll zum Prüfofen hin abgedichtet sein.

2. Prüfofen

- Der Prüfstand soll wie in der DIN EN 1363 Teil 1 gefordert mit Werkstoffen mit einer Dichte von weniger als 1000 kg / m³ in einer Dicke von 50 mm ausgekleidet sein. Dies muss für einen Flächenanteil von 70% der dem Feuer ausgesetzten Bereiche des Ofens gegeben sein. Der Rest der Auskleidung des Prüfofens muss so beschaffen sein, dass er die Prüfkörper nicht beeinflusst und ein sicherer Betrieb des Ofens möglich ist.
- Der Prüfstand muss sich in einem geschlossenen Raum befinden. Dieser kann außer dem Prüfstand jedoch auch andere Prüfeinrichtungen enthalten. Dies gilt aber nur wenn eine gegenseitige Beeinflussung der Prüfgeräte ausgeschlossen werden kann.

- Das Vorhandensein von bis zu 2 verschließbaren Beobachtungsöffnungen in der durch die DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) erlaubten Größe ist zulässig

3. Geräte und Betriebsbedingungen

3.1. Beflammungseinrichtung

- Die Beflammungseinrichtung muss zusätzlich zu den Anforderungen in DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) so positioniert sein, dass eine Beeinflussung des Prüfkörpers und der Ofenthermoelemente durch einen direkten Kontakt mit der Flamme vermieden wird.
- Die Beflammungseinrichtung muss so eingestellt sein das es zu keinen Belastungsspitzen im Bereich des Prüfkörpers durch die Flamme kommt. Dies gilt im Besonderen für Prüfstände, auf denen horizontale Prüfungen durchgeführt werden.

3.2. Ofenthermoelemente

- Es ist das in der DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) geforderte Plattenthermoelement zu verwenden. Das Thermoelement ist nach den dort verfassten Vorgaben anzubringen, fixieren, verwenden und warten.
- Die genaue Bezeichnung des verwendeten Thermoelements sowie seine Reaktionszeit sind anzugeben.
- Es wird die **Einheitstemperatur-Zeitkurve** nach DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) 5.1.1 angelegt.

3.3. Thermoelemente auf der unbeflammten Seite (falls erforderlich)

Die Messung der Temperatur auf der unbeflammten Seite soll nach DIN EN 1363 Teil 1 (10/2012) durchgeführt werden.

3.4. Im Prüfkörper platzierte Thermoelemente (falls erforderlich)

- Die Thermoelemente müssen so gewählt sein das sie der zu erwartenden Temperaturbelastung standhalten und eine möglichst geringe Reaktionszeit besitzen.
- Die Prüfkörpertemperatur muss mit einer größeren Anzahl von Thermoelementen gemessen werden. Die Anzahl und Lage der verwendeten Thermoelemente sollte so gewählt werden das ein repräsentativer Querschnitt

über den gesamten Prüfkörper gegeben ist. Randbereiche sind hierbei auszusparen.

- Wenn durch die Anzahl der Thermoelemente (zum Beispiel durch das Versagen einer Messstelle während der Prüfung) kein verlässliches Abbild des Temperaturverlaufes innerhalb des Prüfkörpers während der Prüfung gegeben ist, muss die Prüfung als ungültig gewertet werden.
- Die Thermoelemente sollen so platziert werden das die Wahrscheinlichkeit eines Versagens minimiert wird und die Thermoelemente nicht durch den Prüfkörper oder der aus ihm austretenden Flüssigkeit beeinflusst werden.
- Eine Beeinflussung des Messergebnisses durch Einwirken der Thermoelemente auf den Prüfkörper ist zu vermeiden.
- Die Thermoelemente sollen unter Berücksichtigung der Anforderungen zu Befestigung und Anordnung positioniert werden.

3.5. Bewegliche Thermoelemente und Thermoelemente zur Messung der Umgebungstemperatur.

Die Anforderungen an die hierbei verwendeten Thermoelemente zur Messung sind identisch mit den Vorgaben durch die DIN EN 1363 Teil 1.

3.6. Druck

- Die Anforderungen an die Messung und Steuerung des Drucks im Brandraum entsprechen den in DIN EN 1363 Teil 1 formulierten.
- Der Druck wird so gesteuert, dass im Bereich der Probe ein **Überdruck von 5...10 Pa** gegeben ist.

Hinweis: Höhere Drücke führen aufgrund der Verformung des Probekörpers und dabei entstehender Spalte an dessen Rand zu Rauchaustritt in den Raum. Nach Möglichkeit sollten die Spalte mit Mineralwolle nachgedichtet werden.

3.7. Durchbiegung (falls erforderlich)

Falls eine Durchbiegungsmessung durchgeführt werden soll, sind die Rahmenbedingungen die in der DIN EN 1363 Teil 1 aufgeführt sind einzuhalten.

3.8. Gasanalyse (falls erforderlich)

Optional kann eine Vorrichtung zur Ermittlung auftretender Brandgase angebracht werden. Hierbei muss aber sichergestellt sein, dass es zu keiner Beeinflussung des Messergebnisses kommt

4. Methoden zur Ermittlung der eindimensionalen Abbrandgeschwindigkeit.

- 4.1. Messung der Abbrandtiefe nach Versuchsende (nur dieses Verfahren wird in vorliegender Prüfvorschrift vertieft)
- 4.2. Ermittlung der Abbrandgeschwindigkeit unter Verwendung von im Prüfkörper platzierten Thermoelementen
- 4.3. Messung der Zeit bis zum Durchbrand
- 4.4. Messung der Zeit bis zum Erreichen eines Temperaturgrenzwerts auf feuerabgewandter Oberfläche
- 4.5. Kombination von Verfahren

5. Ablöschen

- Nach dem Versuch muss der Prüfkörper entweder im Prüfofen gelöscht oder schnellstmöglich aus dem Prüfofen entfernt werden.
- Der Prüfkörper muss, wenn er vor dem Ablöschen aus dem Prüfofen entfernt wird, schnellstmöglich, jedoch spätestens nach **30 Sekunden** mittels geeignetem feuerfester Ausrüstung und Werkzeug aus dem Prüfofen entfernt werden.
- Nachfolgend muss der Prüfkörper so gelöscht werden das ein Quellen/Schwinden durch das Ablöschen ausgeschlossen ist.
- Die Zeit nach Beendigung des Versuchs, der Entfernung des Prüfkörpers aus dem Prüfofen, sowie des vollständigen Stillstandes des Brandprozesses muss vermerkt werden.
- Das Löschverfahren zur Ablösung des Prüfkörpers muss eine möglichst schnelle nachvollziehbare Löschung des Prüfkörpers ermöglichen.
- Hierbei ist ein Löschverfahren zu wählen, das die Bestimmung der Beendigung des Abbrandvorgangs nach Versuchsende zulässt.

5.1. Als geeignete Verfahren zur Ablöschung werden folgende Verfahren angesehen

- Die Ablöschung mit Wasser
- Die Ablöschung des Probenkörpers mittels N₂ oder CO₂
- Die Ablöschung mit Wasser bei gleichzeitigem Abtragen der Kohleschicht. Gemäß Forschungsergebnissen an HFM ergibt dieses das kürzeste Weiterbrennen/-schwelen nach Probenausbau.

5.2. Zum Abtragen der Kohleschicht sollen folgende Werkzeuge verwendet werden.

- Spachtel
- Stahl-Drahtbürste
- Messingbürste

5.3. Die Werkzeuge sollen in folgender Reihenfolge angewendet werden, um eine Beeinflussung des Probenkörpers zu minimieren.

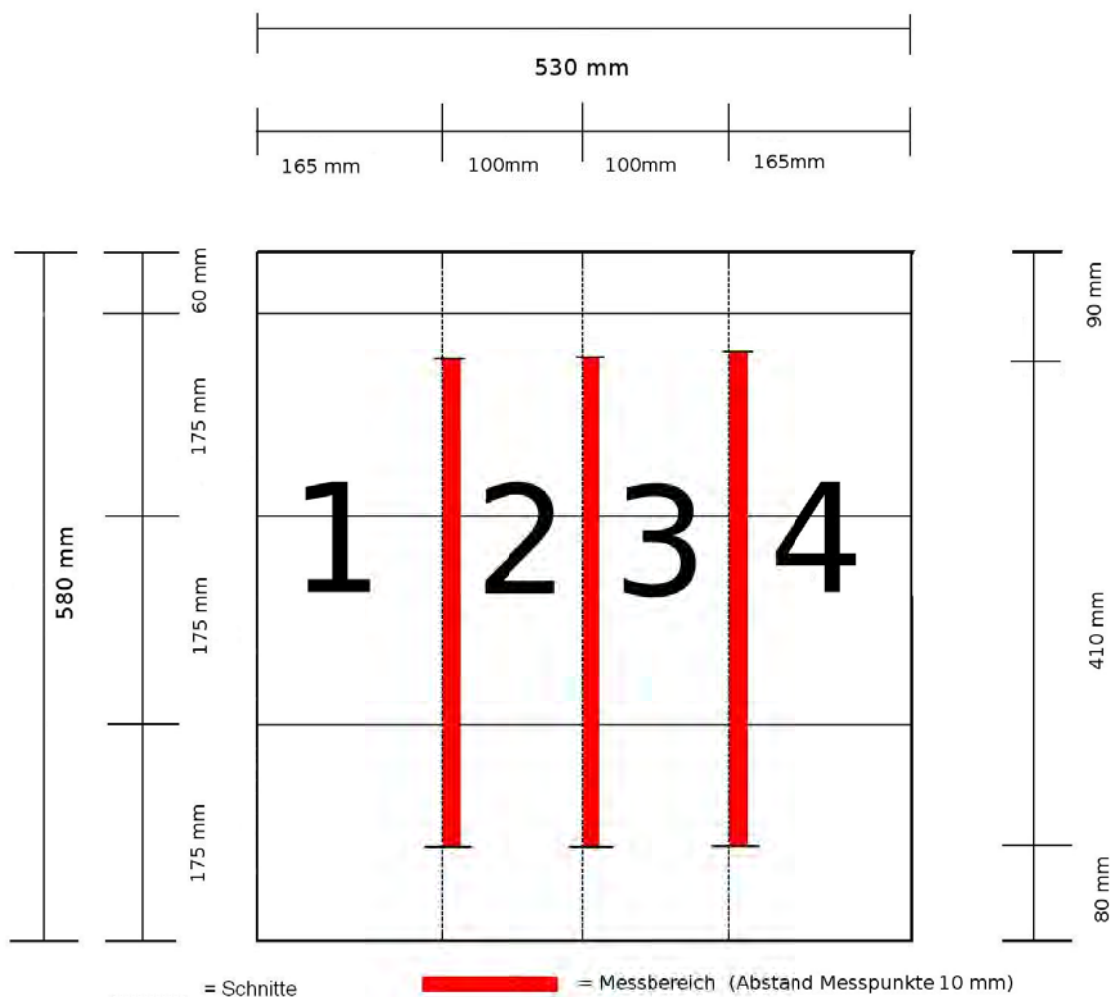
- Für die Abtragung der obersten groben Kohleschicht soll der Spachtel zum Einsatz kommen
- Für die Abtragung der feineren Kohlesicht soll die Stahl-Drahtbürste verwendet werden
- Für die Abtragung der Restkohleschicht im Bereich der Abbrandgrenze soll die Messingbürste verwendet werden.

5.4. Wenn die Kohleschicht aus bestimmten Gründen nicht abgetragen werden kann oder die Ablöschung des Prüfkörpers länger als 1 Minute dauert, so muss dies vermerkt werden.

6. Messung der Abbrandtiefe

- Beispiel für Platten der Größe 530 mm x 580 mm x 65 mm: Die Prüfkörper werden nach Abkühlen und Entfernen der Kohle mit 3 Schnitten in einem Winkel von 90° zur Verleimungsrichtung in 4 Stücke geteilt.

- Die Schnitte werden in einem Abstand von 165 mm zu den Probenrändern und einem Abstand von 100 mm zueinander gesetzt.
- Entlang der Schnittkanten wird an 42 Messpunkten je Messkante gemessen. Die Messpunkte liegen hierbei immer 10 mm auseinander. Je nach Abbrandbild (Unebenheiten) kann ggf. ein Abstand von 20 mm genügen.
- Somit ergibt sich eine Gesamtzahl von 126 Messpunkten für jeden Prüfkörper (siehe Zeichnung).
- Aus den Messwerten der je 126 Messpunkte werden zuerst die Mittelwerte errechnet und basierend auf diesen die Abbrandraten ermittelt.



: Beflammte Öffnung. Höhe: 495 mm, Breite 455 mm

1 bis 4: Benennung der Teile der Platte

Zeichnung der Probe, der Schnitte und Messbereiche (Beispiel)

3.3. Schlussfolgerung und Empfehlungen

Grundsätzliche Festlegungen

HFM hat durch ihre Forschungs- und Prüftätigkeit vor allem im Bereich der Messmethoden der Abbrandgeschwindigkeit eine Vielzahl an Versuchen durchgeführt. Bei genauerer Betrachtung zeigte sich, dass weitere Angaben, die für eine Standardisierung wünschenswert wären, in Prüfberichten teilweise nicht oder nur unzureichend vorhanden sind. Hier sind Materialangaben und genauere Angaben zum Einbau der Proben zu nennen. Dies gilt besonders für Proben, die aufgrund des Werkstoffes Holz in ihrer Beschaffenheit Unebenheiten aufweisen oder starke Verformungen aufweisen.

Auf Grundlage dieser Versuche, die sich teils stark hinsichtlich der Prüfbedingungen, des geprüften Materials und der verwendeten Messverfahren unterscheiden, konnte eine Vorlage für eine mögliche Prüfvorschrift erstellt werden (Kap. 3.2).

Über den Unterschied zwischen Versuchsaufbauten, die *horizontal* im Gegensatz zu den an der HFM durchgeführten *vertikalen* Versuchen, kann keine Aussage getroffen werden. Horizontale Prüfungen wurden an der Holzforschung am Kleinprüfstand nicht durchgeführt. Darüber hinaus konnten auch in der Literatur keine weitläufig wissenschaftlich untermauerten Aussagen über mögliche Unterschiede zwischen vertikaler und horizontaler Prüfung finden lassen.

DIN 1363 Teil 1 (10/2012) ist deutlich ausführlicher als DIN 4102 Teil 8 (10/2003). Es sind jedoch Lücken in beiden Normen vorhanden, die geschlossen werden müssen. Die europäische Norm verfügt für das hier angestrebte Prüfverfahren über zu geringe spezialisierte Angaben hinsichtlich des genauen Ablaufes der Prüfung und vor allem der Messung. Die Anzahl an Aspekten, die in der europäischen Norm angeführt werden, ist jedoch trotz allem vielfältig und bietet eine gute Grundlage zur weiteren Ausarbeitung von spezialisierten Normen für bestimmte Prüfverfahren. Für die Zukunft müssen genau definierte und zwischen den einzelnen Prüfinstituten vergleichbare Prüfabläufe und Prüfbedingungen hergestellt werden.

Auch die in der Vergangenheit als Referenz verwendete DIN 4102 Teil 8 (10/2003) erfüllt nicht die Anforderungen, die für eine vollumfängliche anwendbare europäische Norm notwendig sind. Die deutsche Norm macht zwar detailliertere Angaben über den Aufbau eines bestimmten Prüfofens, aber es finden sich in dieser Norm keine weiteren Angaben über den Ablauf der Prüfung und die Messung der Werte.

Hierin liegt auch das Hauptproblem bei der Formulierung einer neuen Prüfvorschrift. Es muss gewährleistet werden, dass die Angaben zum Ablauf der Prüfung und den Prüfbedingungen detailliert genug sind, um gute und verlässliche Ergebnisse zu liefern. Auch sollen verschiedene Faktoren minimiert werden, die zu Ungenauigkeiten in der Bestimmung der Abbrandrate führen können. Dies gilt vor allem für alle Tätigkeiten, die durch den Einsatz des Menschen und dessen subjektiver Auffassung von bestimmten Eigenschaften beeinflusst werden können. Gute Beispiele hierfür stellen die Bestimmung der Abbrandrate mit der Methode Durchbrand dar, ebenso wie die Bestimmung der Abbrandrate bei einer Messung nach Versuchende.

Aus diesem Grund soll mittels der in Kap. 3.2 formulierten Bedingungen eine Verminderung menschlicher Einflussfaktoren ermöglicht werden. Auch sollen mögliche technische Fehlerquellen minimiert werden wie ein Versagen von Thermoelementen während des Versuchs. Der Aufbau der Prüfanordnung soll genauer definiert werden und sinnvolle Ergänzungen, wo notwendig, gemacht werden. Des Weiteren sollen durch die hier gemachten Vorschläge die Ergebnisse der Prüfungen verbessert und die verschiedenen Prüfverfahren durch die Reglementierung von Abläufen und Aufbauten besser vergleichbar gemacht werden.

Festlegung auf ein bestimmtes Messverfahren

Das in der Prüfvorschrift vertiefte Verfahren der „Abbrandtiefenmessung nach Versuchsende“ wurde *nicht* systematisch mit den Verfahren „innenliegende Thermoelemente“, „Zeit bis Durchbrand“ oder „Zeit bis Erreichen eines Temperaturgrenzwerts auf feuerabgewandter Oberfläche“ und anderen Verfahren verglichen. Deshalb kann derzeit nicht ein bestimmtes Verfahren als den anderen Verfahren überlegen bewiesen werden.

Um sich endgültig auf ein bestimmtes Verfahren festlegen zu können, müssten Versuchsreihen an den konkurrierenden Verfahren durchgeführt werden, wobei jeweils dasselbe Holz bzw. derselbe Holzwerkstoff nach allen Verfahren im selben Ofen durch dasselbe Personal geprüft werden müsste. Sobald eine hinreichende Anzahl von Prüfergebnissen vorliegt, kann die Messgenauigkeit jedes Verfahrens bzw. seine Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit bestimmt und im Vergleich letztlich das beste Verfahren ausgewählt werden.

Die bei HFM praktizierte „Abbrandtiefenmessung nach Versuchsende“ hat den Vorteil, dass sie eine große Anzahl von Einzelmesswerten liefert (im in Kap. 3.2 genannten Beispiel 126 Messpunkte). Eine große Anzahl von Einzelwerten ist wichtig wegen der Inhomogenität von Holz (Äste, Dichteunterschiede, Risse...). Die Genauigkeit dieses Verfahrens hängt jedoch stark davon ab, ob der Probekörper sofort nach Beflammungsende gelöscht wird.

Um das Oberflächenprofil der abgebrannten Fläche zu erfassen und am PC auszuwerten, statt z.B. 126 Messpunkte manuell zu erfassen und auszuwerten, wurde bei HFM probeweise ein Laserscanner eingesetzt. Dieses Verfahren lohnt sich nur bei einer größeren Anzahl von Probekörpern. - Die Photogrammetrie bietet ähnliches Automatisierungspotential.

In den bei HFM in den letzten Jahren durchgeführten Versuchen musste festgestellt werden, dass die kontinuierliche Messung mittels Sonden trotz ihres geringen Anteils an subjektiven Einflüssen als ungeeignet angesehen werden muss, da die Sonden den Prüfkörper beeinflussen und die Ergebnisse so verfälscht werden können. Auch ist der Aufwand, die Druckzylinder für jede Holzart einzeln zu konfigurieren, für Prüfungen zu aufwändig.

Die Arbeit von Zellner hat die Ultraschallmessung als mit den zur Verfügung stehenden US-Gebern und -Messaufnehmern zu ungenau erwiesen, insbesondere an schichtverklebten Proben (Sperrholz). An den Schichtgrenzflächen entstanden zu viele Störsignale.

Das Kegelverfahren (Austauschkörper) ist aufwändig in der Probenherstellung und erbringt nur wenige Messwerte.

Das Terahertzverfahren wurde bisher nur theoretisch betrachtet (Zellner). Ähnliches gilt für das Bodenradarverfahren, die Radiografie, MRT, Röntgen- und Gammastrahlung.