

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 119 (1968)
Heft: 10

Artikel: Brandverhalten von Holz und Holzwerkstoffen
Autor: Dorn, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-765598>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Brandverhalten von Holz und Holzwerkstoffen¹

Von *H. Dorn*, Wetzikon

Oxf. 843

Über das Brandverhalten von Holz gab es bis vor wenigen Jahrzehnten kaum eine Debatte. Seit Urzeiten war eine der hervorstechendsten und hochgeschätzten Eigenschaften von gewachsenem Holz dessen Brennbarkeit. Trotz allem kann heutzutage ein Standpunkt, wie er sich in einem Ausspruch eines angesehenen Zimmermanns widerspiegelt, nicht als Maxime aufrechterhalten werden: «Wissen Sie», meinte dieser zur Frage des Brand-schutzes bei Holz, «mein Vater sagte stets, wenn es irgendwo gebrannt hatte: So, Bub, jetzt gibt's für uns wieder Arbeit.»

Daß seit einer Reihe von Jahren in allen zivilisierten Ländern verstärkt über die Gefahren von brennbaren Stoffen diskutiert wird, hat verschiedene Ursachen. Im wesentlichen liegen dem zwei Komplexe zugrunde: Einmal sind durch die wachsenden Zusammenballungen der Siedlungen, durch immer häufiger auftretende unkonventionelle Formen der Behausungen und durch divergierende Lebensgewohnheiten der Menschen Wandlungen hinsichtlich Erzeugung, Gebrauch und Bewahrung des Feuers entstanden. Andererseits treten durch die wachsenden Wechselbeziehungen zwischen staatlicher Obrigkeit und Individuum in unseren modernen Gesellschaften zwangsläufig sicherheitliche Forderungen auf, denen die seither gültigen Regelungen nicht mehr zu genügen scheinen. Darüber hinaus wird durch die Erfahrung des letzten Krieges — besonders in den Ländern, die davon direkt betroffen wurden — angestrebt, im Falle unvorhergesehener und praktisch unbeherrschbarer Brandkatastrophen der Bevölkerung einen weitergehenden Schutz zu gewährleisten, als er vordem möglich war.

Aus diesen Gegebenheiten ist ein sogenanntes «Brandrisiko» heutzutage kaum real und umfassend zu definieren, besonders nicht auf dem hier zu behandelnden Bereich des Bauwesens. Wie sich Einzelfaktoren solcher Risiken ableiten, wird vielfach und von unterschiedlichen Standpunkten aus zu erläutern versucht. Leider ist es jedoch so, daß sich weder für die einzelnen Risikoanteile noch für die gesamten Gefahrenkomplexe konkrete Bewertungsgrundlagen bieten. Dies liegt daran, daß Entstehung und Ausbreitung von Bränden in Gebäuden weder voraussehbar sind noch deren Arten des Auftretens oder des Umfangs mit wissenschaftlich fundierten Methoden halbwegs zuverlässig vorausgesagt und beurteilt werden können. Es

¹ Vortrag, gehalten am 8. Januar 1968 anlässlich der Holzwirtschaftlichen Kolloquien an der ETH, Zürich.

lassen sich lediglich aufgrund von Erfahrungen für bestimmte Gegebenheiten gewisse Maßnahmen zur Verminderung einer Brandentstehung oder einer Feuerausbreitung ergreifen. Allerdings stammen die Kriterien für derartige Schutzmaßnahmen aus sehr unterschiedlichen Quellen. Diese sind, um die hauptsächlichsten zu nennen: Die Baubehörden, denen die Regelung der baulichen Maßnahmen unterstehen; die Feuerwehr, der die Bekämpfung eines Brandes obliegt; die Brandversicherungen, die die Schäden eines Brandes zu begleichen haben; die Kriminalpolizei, die eine Brandursache ergründen soll; und schließlich — wenn auch nicht zuletzt — die Brandverhütungsingenieure und spezielle Brandschutzfachleute, die vorbeugende Maßnahmen gegen Brandentstehung und -ausbreitung als Mittler zwischen Theorie und Praxis beurteilen sollen. Vielfach sind die Tätigkeiten der einzelnen Gruppen nicht koordinierbar; manchmal laufen ihre Beurteilungen oder Entscheidungen sogar auseinander, da sie meist durch subjektive Anschauungen zustande kommen, ohne auf breit fundierter Basis zu beruhen.

Es kann daher nicht verwundern, wenn jede dieser Gruppen der «Brandinteressenten» zu eigenen Beurteilungen hinsichtlich «Brandrisiko» und den notwendigen vorbeugenden oder abwehrenden Maßnahmen gelangt. Von all den Beteiligten ist offensichtlich noch eine immense Arbeit zu leisten, um sowohl eine ausreichende Überschaubarkeit der praktischen Erkenntnisse als auch der zu ziehenden Konsequenzen zu erlangen.

Immerhin sind in der jüngsten Vergangenheit in zahlreichen Ländern Fortschritte in dieser Richtung gemacht worden. Eine Schwierigkeit ist bei dem gesamten Komplex, daß die am Brandgeschehen beteiligten Gruppen vielfach in starken konventionellen Bindungen gefangen sind. Zu diesem Bereich gehören in erster Linie die Bauverordnungen und -gesetze, die in manchen Ländern ein Alter von Generationen haben.

Ihre Terminologie basiert manchmal auf Begriffen, die zwar weithin geläufig sind, deren Definitionen häufig jedoch weder konkret noch real gefaßt werden können. Dies bringt oft Schwierigkeiten in Anwendung und Auslegung von Maßgaben und Qualitätsanforderungen mit sich. Es sei nur an Begriffe wie «brennbar», «schwerentflammbar», «selbstlöschend», «feuerfest», «feuerhemmend» usw. erinnert. Weiterhin trägt leider viel zur Verwirrung bei, daß Reklame für Stoffe vielfach mit unbewußt oder bewußt fälschlich angewendeten Ausdrücken betrieben wird.

Trotz diesen Schwierigkeiten — die übrigens weltweit verbreitet sind und sich in allen Industrieländern etwa auf gleichem Niveau befinden — sind in den letzten Jahren erfreuliche Ansätze bekanntgeworden, um die Erfassung des Brandrisikos im Bauwesen zu verbessern. Vor allem werden entsprechende Anstrengungen im Rahmen der ISO-Arbeiten², und zwar im

² International Organisation for Standardization Technical Committee 92 — Fire Tests on Building Materials and Structures.

Technical Committee 92, gemacht, dem die Aufgabe der Standardisierung der Brandprüfmethoden auf internationaler Basis obliegt. Ein weiteres wichtiges Gebiet, nämlich die brandschutztechnische Terminologie in Englisch, Französisch und Deutsch, wurde von seiten des Internationalen Technischen Komitees für Brandverhütung und Brandbekämpfung (CTIF) in Angriff genommen. Leider arbeiteten diese beiden Gruppen sowie andere Normungsgremien bisher praktisch nicht zusammen.

Unter all den erwähnten Gegebenheiten hat der Baustoff Holz besonders zu leiden. Denn unbestritten und allgemein bekannt ist es sicherlich, daß sich ein normales Feuer eben nur durch die Anwesenheit von brennbaren Stoffen entwickeln und ausbreiten kann. Und leider — in dieser Hinsicht muß man es sagen — gehört Holz eben zu den brennbaren Stoffen — und es wird auch immer zu diesen gehören. Sei es in seiner Eigenschaft als konstruktiv oder dekorativ verwendeter Baustoff, sei es als Ausrüstung oder Ausstattung von Gebäuden: In der großen Zahl von Brandfällen wird Holz in einer oder mehreren Formen beteiligt sein. Auch in der Zukunft ist dies sicher gleichermaßen der Fall, da es unmöglich ist, Holz unbrennbar zu machen. Darum kann man nicht umhin, das spezifische Verhalten des Holzes unter Feuereinwirkung noch besser zu studieren, will man Schutzmaßnahmen vorsehen, um die Brandgefahren zu verringern.

Die charakteristische Erscheinung eines Brandes ist die relativ schnell verlaufende Oxydation brennbarer Gase, die unter der Betrachtung als Schadenfeuer stets in Verbindung mit dem Luftsauerstoff auftritt. Normalerweise ist die Verbrennung von «Feuer» als Leuchterscheinung begleitet, häufig verbunden mit Qualmentwicklung. Eine Oxydation verläuft stets unter Wärmefreisetzung, wobei zur Unterhaltung eines Feuers am Entstehungsort eine positive Wärmebilanz gegeben sein muß. Bei einem Schadenfeuer erfolgt die primäre Energiezufuhr durch eine Feuerquelle, wobei ganz maßgeblich ist, in welchem Umfang und mit welcher Intensität die Aktivierungsenergie zugeführt wird; danach entscheidet sich, ob sich ein Brand ausbreitet und wie schnell er vordringt. Die Gegebenheiten hierzu liegen nicht absolut fest, sondern sie sind stets durch die gegenseitigen Relationen verschiedener Faktoren bedingt, wie unten erläutert wird.

Im Prinzip läßt sich der Verlauf eines Brandes, der von einer kleinen Zündquelle ausgeht, anhand einer Temperatur-Zeit-Kurve gemäß Abbildung 1 schematisch charakterisieren.

Man kann hierbei die folgenden Bereiche unterscheiden:

- I. Brandentstehung (Zündung)
- II. Brandentwicklung
- III. Feuerübersprung
- IV. Brandausbreitung
- V. Abklingen des Brandes

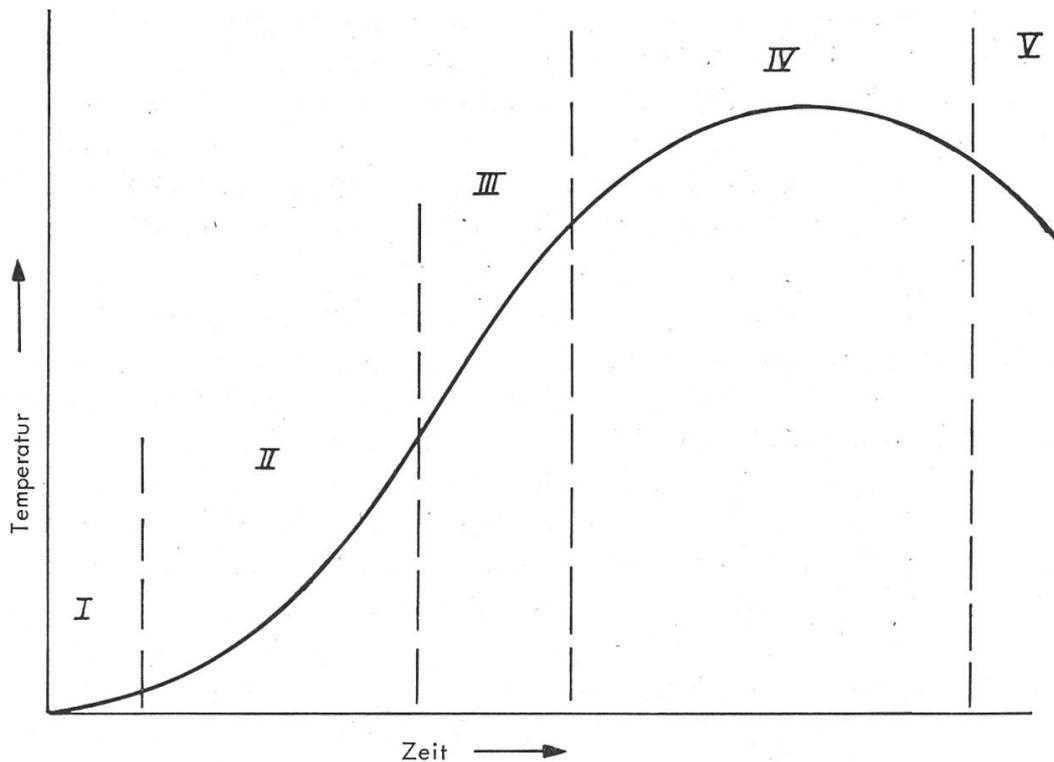


Abbildung 1

Schematischer Verlauf der Temperaturentwicklung bei einem Brand.

Die einzelnen Phasen können unterschiedlich lange dauern oder zum Teil auch ineinander übergehen. Dies hängt einerseits von den Gegebenheiten der Zündquelle und der Zündbedingungen, zum zweiten von Art, Menge und Verteilung der brennbaren Stoffe ab, und zum dritten von den Umgebungsbedingungen. In den beiden ersten Brandphasen ist das Problem der Feuerausbreitung im wesentlichen von den Bedingungen an den Oberflächen der brennbaren Stoffe abhängig. Dabei spielt das Verhältnis Oberfläche zur Masse eine überragende Rolle: Je größer die Oberfläche ist, um so rascher erfolgt die Brandentwicklung. Natürlich muß der Luftzutritt entsprechend möglich sein. Von großer Bedeutung ist hierbei außerdem der «Brennbarkeitsgrad», die spezifische Wärme und das Wärmeleitvermögen des Stoffes. Durch diese drei Faktoren wird die Geschwindigkeit des Fortschreitens eines Feuers bei gegebener Zündenergie bestimmt. Darüber hinaus spielt die Lage der brennbaren Substanz eine Rolle: In vertikaler Flächenausdehnung wird ein bestimmtes brennbares Material normalerweise schneller weiterbrennen als in horizontaler Anordnung, sofern keine zusätzliche Luftströmung vorliegt.

Die Dicke des Materials hat im Anfangsstadium eines Brandes nur einen kleinen Einfluß, da die Wärmeleitung im Stoff wesentlich langsamer zu kritischen Temperaturen führt, als durch die Wärmeübertragung infolge Konvektion bewirkt wird. Vereinfacht kann man sagen: Die Bereiche I

und II eines Brandverlaufs sind in erster Linie dem Verhalten des Baustoffes als solchem gegenüber Feuereinwirkung zugeordnet. Allerdings treten die rein thermisch-physikalischen Gegebenheiten des Materials allgemein hinter diejenigen der Anordnung und der Umgebung zurück. Das heißt, physikalische Kenngrößen der Zünd- oder Brenneigenschaften, zum Beispiel «Zündpunkt», «Flammenpunkt» oder ähnliche Begriffe, sind für die Voraussage von Entstehung und Ausbreitung eines Brandes für den betreffenden Baustoff üblicherweise nur von untergeordneter Bedeutung.

Die Temperaturen am Ende der Brandphase II liegen etwa zwischen 250 und 500 °C. Bei weiterem Anhalten der Wärmeentwicklung, besonders unter Luftstau in geschlossenen Räumen, erfolgt im allgemeinen der sogenannte «flash-over», der «Feuerübersprung». Man versteht hierunter die plötzliche Vergrößerung des Brandumfangs infolge Aufheizung von brennbaren Oberflächen bis über die Zersetzungstemperatur und daraus folgende Anreicherung des Brandraumes mit brennbaren Gasen. Damit ist das Stadium des Vollbrandes erreicht: Die Wärmeentwicklung geschieht progressiv bis auf Temperaturen um 1000 °C. Naturgemäß tritt dadurch eine sich steigernde, zeitabhängige Tiefenwirkung der Wärme in den Baustoffen ein, da großflächige Strahlung zur Konvektion tritt. Diese Phase des Brandes erfaßt somit die Konstruktion eines Raumes oder eines Gebäudes, wobei alle brennbaren Stoffe im Flammenbereich zur Nahrung des Feuers beitragen, sofern genügend Sauerstoff zutreten kann. Man bezieht derartige Feuerbeanspruchungen deshalb vorzugsweise auf die Bauteile.

Um möglichst weitgehende Aufschlüsse über die komplizierten Vorgänge einerseits und über das praktisch zu erwartende Verhalten von Konstruktionen im Feuer zu erhalten, werden entsprechende Brandversuche ausgeführt. Die hierfür zur versuchsmäßigen Reproduzierung der Feuereinwirkung auf Bauteile in entsprechenden Prüföfen anzusetzende Wärmebeanspruchung wird allgemein nach einer Standard-Temperatur-Kurve vorgenommen. Diese verläuft in den meisten Ländern ähnlich. (In mehreren Ländern hat man sich neuerdings aufgrund einer ISO-Empfehlung auf die französische Temperatur-Zeit-Kurve festgelegt. Die Differenzen zur schweizerischen EMPA-Kurve sind verhältnismäßig klein.)

Was nun speziell das Holz oder Holzwerkstoffe als Baustoff betrifft, so kann man durch geeignete Maßnahmen besonders zur Verkleinerung der Entflammungsneigung und Flammenausbreitung beitragen. Derartige Maßnahmen erstrecken sich auf die Bereiche I und II der eingangs erwähnten Temperaturbeanspruchung, also für die Phase einer Brandentstehung und -entwicklung. Da man für diese Gegebenheiten normalerweise eine näherungsweise punktförmige Feuerquelle vorliegen hat, die sozusagen von Ort und Zeitpunkt Null beginnend wirkt, und grundsätzlich die allseitige Gefahr einer Ausdehnung im Brandfall gegeben ist, kann der rein flächige Schutz auf dem Holz während dieses Anfangsstadiums eines Brandes sinnvoll sein.

Was die Oberflächen-Brandneigung des Holzes anbetrifft, kann man feststellen, daß sich zum Beispiel eine gehobelte Oberfläche günstiger als eine sägerauhe oder gar eine grobfaserige Oberfläche verhält. Weiter ist ein schweres Holz günstiger als ein leichtes, da die höhere Gefügedichte wegen größerer Wärmeableitung eine langsamere Brandentfaltung bewirkt. Zur Verbesserung der Wärmebilanz im Sinne der Reduzierung der Brandausbreitung kann man für zusätzliche Wärmeableitung sorgen. Dies ist zum Beispiel durch eine besser wärmeleitfähige Schicht an der Oberfläche möglich, etwa durch Abdeckung weicher Schichten mit Hartholz oder durch Salzanlagerung oder durch einen schmelzenden Überzug. In diesen Fällen wird Wärme von der Feuerquelle abgeführt bzw. durch das Schutzmedium aufgezehrt. Die Verhinderung der Brandausbreitung ist jedoch nur solange gegeben, als durch derartige Maßnahmen die Bildung von Zersetzungsgasen beschränkt wird, das heißt die effektive Temperatur im Stoff unterhalb der Zersetzungstemperatur bleibt bzw. diese nur langsam übersteigt. Man sieht leicht ein, daß solche Schutzmaßnahmen — sobald der Brand in Gang gekommen ist — nur bis zu einer beschränkten Zeitdauer bzw. nicht auf größere Flächenausdehnung erfolgreich sein können. Unter fortschreitender Dauer der Feuereinwirkung wird der anfängliche Hemmeffekt zunichte, da nämlich die spezifische Wärme des Holzes nur relativ klein ist und — je nach absoluter Menge der zugeführten Wärmeenergie — die Zersetzung nicht aufzuhalten ist. Sofern die Freisetzung von brennbaren Gasen nicht verhindert werden kann, nährt sich ein Brand stetig zunehmend selbst. Aus diesem Grunde bestände ein optimaler Schutz von Holz in der völligen thermischen Isolierung der dem Feuer ausgesetzten Oberflächen. In der Tat führt dieser Weg, wenn auch nicht zur «Unbrennbarmachung» des Holzes, so doch zu nennenswerten Verbesserungen der Feuerausbreitungsneigung, und zwar folgendermaßen:

Einmal können Schutzschichten in Form von Anstrichen aufgebracht werden, die unter Hitzeeinwirkung einen sehr leichten Schaum bilden, der hochwertige Isolationswirkung besitzt. Dies sind die sogenannten «schaumschichtbildenden Feuerschutzmittel», deren es eine ganze Reihe bewährter Produkte gibt. Zum zweiten können die Holzoberflächen mit geeigneten isolierenden Deckschichten versehen werden, die im Brandfall die konvektive Erwärmung verzögern sollen. Das wesentliche Problem solcher Schichten liegt in ihrer Beständigkeit unter dem Feuerangriff. Nicht nur, daß die rein thermische Beanspruchung, das heißt also die Erweichung, Wärmeausdehnung und Verformung der Masse Beachtung finden müssen, sondern die Haftfähigkeit auf dem Untergrund, zum Beispiel beim Schrumpfen des Holzes — insbesondere bei dessen Verkohlung — sowie die rein mechanische Beanspruchbarkeit im Betrieb und durch die vielfach turbulenten Luftströmungen beim Brand muß gegeben sein. Eine weitere Möglichkeit, die Brandausbreitung auf Holzoberflächen zu verkleinern, ist die Erzeugung von inerten Gasen aus einem entsprechenden, möglichst an der Oberfläche

befindlichen Schutzmittel. Dadurch wird praktisch eine Verdünnung der brennbaren Gase erreicht, was die Wärmebilanz günstig beeinflußt. Solche Maßnahmen können allerdings die Brennbarkeit an sich nicht verhindern; sie müssen überdies eine praktisch durchgehende und gleichbleibende Tiefenwirkung besitzen, um effektiv wirksam zu werden. Eine andere, mehr theoretische Möglichkeit, nämlich den Austritt von brennbaren Gasen an den brandgefährdeten Oberflächen gänzlich zu unterbinden, erfordert völlig geschlossene, unbrennbare und dichte Oberflächen, zum Beispiel Metallschichten; doch haben diese Maßnahmen kaum praktische Bedeutung, da sich irgendwo immer Stöße befinden, die den Gasaustritt ermöglichen. Auch wegen der übrigen physikalisch-mechanischen Gegebenheiten sind solche Anordnungen meist kritisch, zum Beispiel wegen Verbunds mit dem Trägerstoff, Wärmeleitfähigkeit, Bruchempfindlichkeit infolge Dilatation usw., besonders unter Berücksichtigung der unvermeidlichen Gasdrucksteigerungen unter Hitze.

Will man eine befriedigende «Feuerwiderstandsfähigkeit» eines Bauteils erreichen, so ist unter den normalen Gegebenheiten von erstrangiger Bedeutung, daß eine möglichst gute Wärmedämmwirkung des betreffenden Konstruktionsteils am Brandherd in der Flammenzone über geraume Zeitdauer aufrechterhalten wird, um die Tiefenwirkung des Brandes möglichst zu verlangsamen. Diese Voraussetzung ist beim Holz an sich schon recht günstig; vor allem trifft dies zu, wenn sich eine geschlossene Holzkohleschicht gebildet hat, deren thermische Isolationswirkung relativ gut ist. Andererseits kann sich sowohl eine hohe spezifische Wärme des Materials als auch eine in gewissem Umfang stattfindende Wärmeleitfähigkeit zur Vermeidung von Wärmestau positiv auswirken. Die Zusammenwirkungen derartiger Gegebenheiten sind noch wenig bekannt. Sie könnten unter ganz bestimmten Bedingungen möglicherweise vorteilhaft zur Wirkung gebracht werden, jedoch bedarf es zur Klärung von entsprechenden Anwendungen intensiver Forschungen. Die bei Brandversuchen festgestellten Temperaturverteilungen im Holz, und zwar bei ungeschütztem Nadelholz in Form von brettschichtverleimten Balken sowie von oberflächlich mit einem schaum-schichtbildenden Feuerschutzmittel auf Glasfaservlies als Trägerschicht («Feuerschutztapete») brandgeschütztem Holz, sind in Abbildung 2 wiedergegeben. Die Temperaturkurven nach 30 Minuten Branddauer beim Versuch auf «feuerhemmende Qualifikation» zeigen bei etwa 2 cm Tiefe einen deutlichen Knick beim ungeschützten Holz. Offensichtlich fällt dieser Bereich mit dem Übergang von verkohltem zu unverkohltem Holz zusammen. Bei oberflächlich geschütztem Holz ist die Zone der Holzzerstörung nur etwa halb so dick. (Auf die zugehörigen Versuche wird unten noch näher eingegangen.)

Eine wesentliche Forderung bei der Feuerwiderstandsfähigkeit eines Bauteils ist, daß dieser seine Standfestigkeit bzw. seine Tragfähigkeit unter

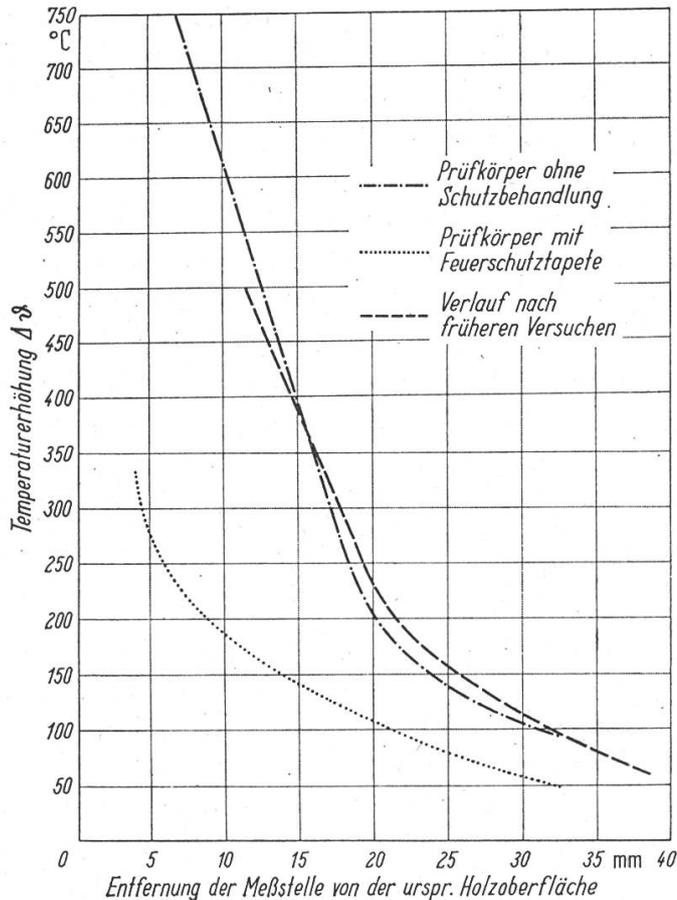


Abbildung 2

Verlauf der Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$ in der Leimfuge nach 30 min Branddauer.

der Brandeinwirkung nicht einbüßt. Die erste Eigenschaft spielt vor allem bei Wänden oder Türen eine Rolle, die zweite vor allem bei Einzeltraggliedern. Von großem Vorteil bei der Erfüllung dieser Eigenschaften ist beim gewachsenen Holz die Tatsache, daß es unterhalb seiner Verkohlungs-temperatur wenig Einbuße seiner Festigkeit erfährt.

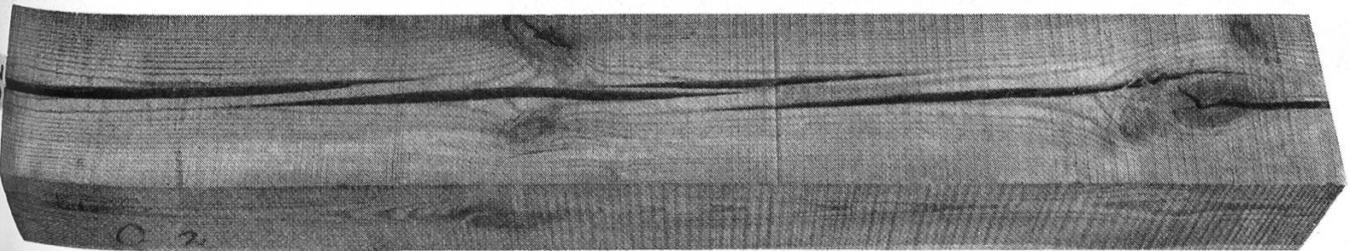
Der wirkungsvollste Schutz von Holzkonstruktionen besteht in der Aufbringung von äußeren zusätzlichen Wärmedämmschichten. So ist zum Beispiel aus den Abbildungen 3 a, 3 b, 3 c zu ersehen, in welchem Maße das

Abbildungen 3 a, 3 b, 3 c

Hölzerne Stütze mit Ausgangsquerschnitt 14 x 14 cm; links vor, Mitte und rechts nach 30 min Normalbrandversuch.

Abbildungen 4 a, 4 b, 4 c

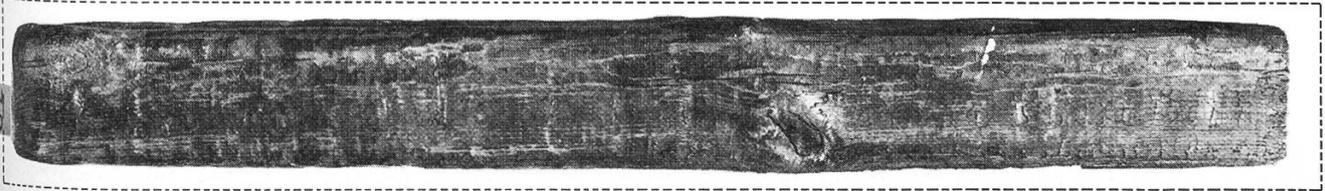
Hölzerne Stütze mit Spritzasbestummantelung, etwa 3 cm dick, links nach dem Normalbrandversuch von 60 min Dauer; Mitte nach Entfernen der Schutzschicht und der Kohle; rechts gleicher Körper (ursprünglich ummantelt) nach 90 min Brandversuch (Ummantelung und Holzkohle entfernt).



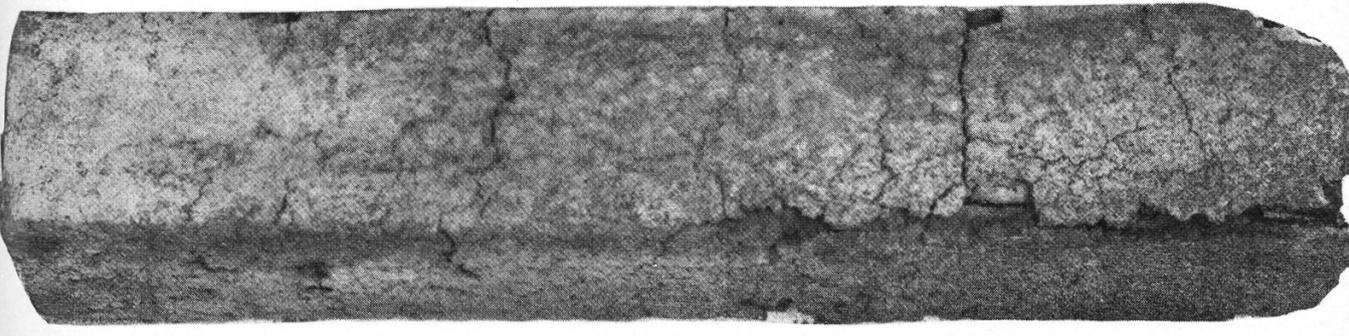
3a



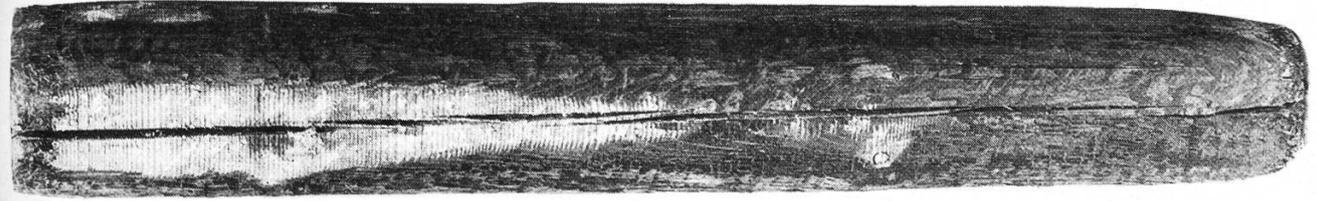
3b



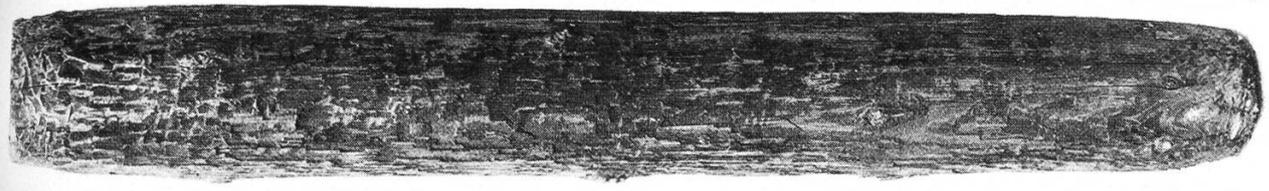
3c



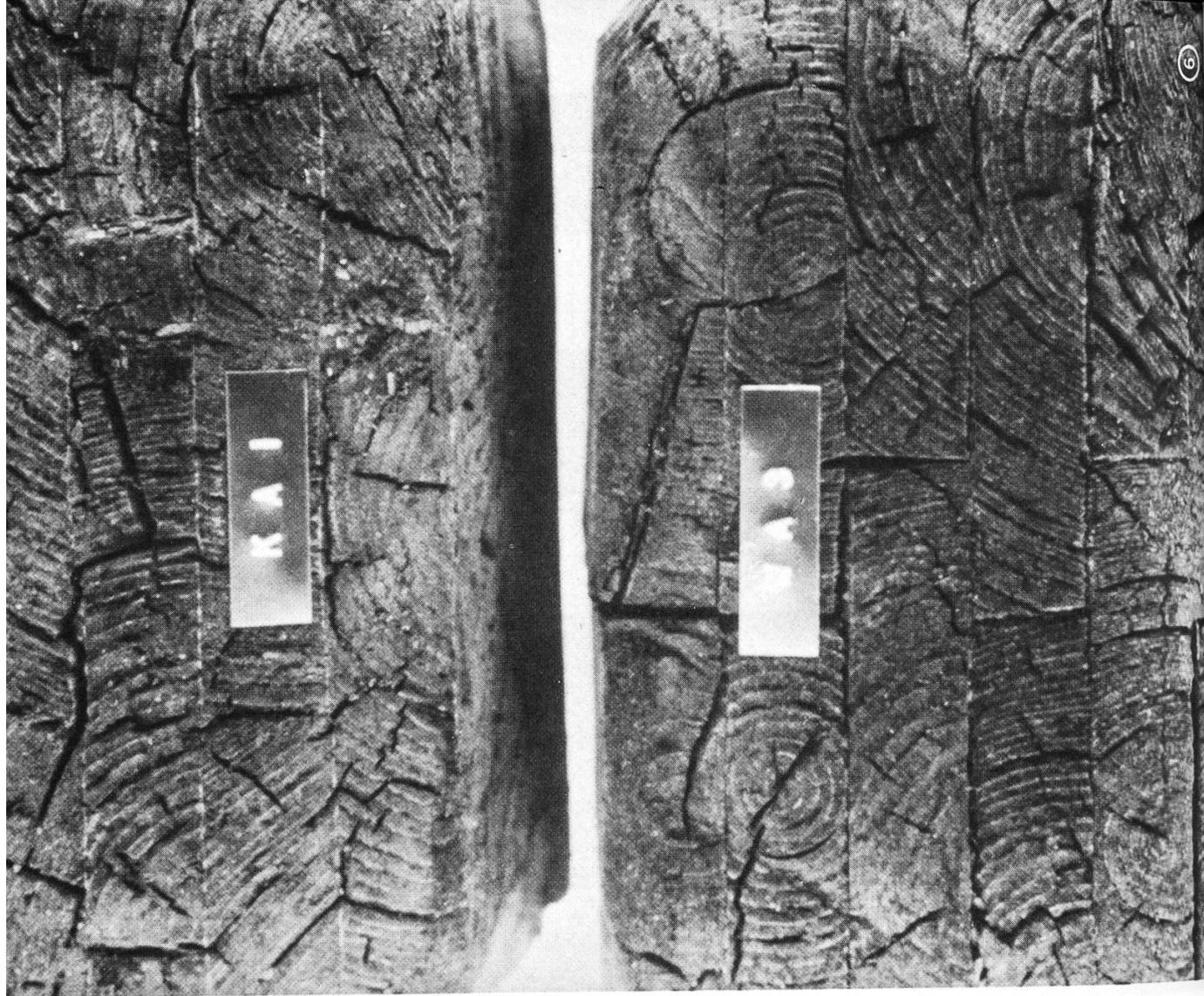
4a



4b



4c



14 cm × 14 cm dicke Weichholz innerhalb von 30 Minuten durch allseitige, intensive Brandeinwirkung (nach der ehemaligen deutschen Standard-Temperaturkurve) verkohlt. Versieht man dagegen den gleichen Körper mit einem hochwertigen, etwa 3 cm dicken Putz aus Spritzasbest, so bleibt der Abbrand bedeutend kleiner (Abbildungen 4 a, 4 b und 4 c). Die 90 Minuten lang feuerbeanspruchten Versuchskörper haben nur wenig kleinere Restdicken als die 30 Minuten lang ungeschützt im Feuer gewesenen Holzkörper. Selbst eine Schutzschicht aus normalem Kalkzementputz wird übrigens als generell ausreichend für die Erreichung der Eigenschaft «feuerhemmend» angesehen, da sie die Verkohlung innerhalb einer halben Stunde deutlich hemmt.

Gleiche Brandversuche unter Schutz der Holzoberflächen mit einem schaumschichtbildenden bzw. mit einem salzartigen Feuerschutzmittel geben relativ geringe Wirksamkeit bei der im Brandversuch vorliegenden hohen Hitzeeinwirkung. Aus den Abbildungen 5 a und 5 b ist zu ersehen, daß die Verkohlung — wenn auch in etwas feinerer Struktur — ähnlich intensiv ist wie beim ungeschützten Holz (vgl. Abbildung 3 b).

Aus den Gegebenheiten bei relativ dünnen Baugliedern mit ihrem brandschutztechnisch ungünstigen Verhältnis von Masse zu Oberfläche ergibt sich, daß aufgrund der unvermeidlichen Brennbarkeit des Holzes für besondere Widerstandsfähigkeit nur Konstruktionen in Frage kommen, die hinsichtlich dieses Verhältnisses speziell ausgebildet sind. Hierfür scheiden dünne Bauglieder, besonders wenn sie tragende Funktionen haben, zumeist gänzlich aus. Mäßig dicke Konstruktionsglieder bedürfen eines hochwertigen Schutzes, und nur relativ dicke, massive Bauteile, wie Stützen und Balken, können bereits ohne Oberflächenschutz dem Feuer über mehr oder minder lange Zeitdauer Widerstand leisten.

Die vom Oberflächenschutz her wirkungsvollen Maßnahmen der Wärmedämmung mittels Blähschichten sind in einem fortgeschrittenen Brand nur dann brauchbar, wenn ihre Beständigkeit und Geschlossenheit aufrechterhalten bleiben. Hierzu sind besondere Maßnahmen erforderlich, wie sie in Anfängen bereits praktiziert werden, indem das organische Schaummittel auf eine geeignete Trägerschicht, zum Beispiel auf ein beständiges Gewebe, aufgebracht wird. Auch wäre denkbar, daß die Schichten in mehrfachen Streichgängen mit hohen Auftragsmengen unter entsprechender wirkungs-

Abbildungen 5 a, 5 b

Hölzerne Stützen, oberflächlich mit schaumschichtbildendem Feuerschutzmittel (links) und mit Feuerschutzsalz (rechts) behandelt, nach 30 min Brandeinwirkung unter «Normalfeuer».

Abbildung 6

Ausschnitte der Stirnenden von zwei brett-schichtverleimten Balken nach dem Normbrandversuch über 30 min Dauer: Oben mit Phenol-Resorzinharz, unten mit gefülltem Harnstoffharzleim.

voller Verankerung auf die Holzoberflächen aufgetragen werden, ähnlich den Anwendungen solcher Mittel für den Brandschutz von Stahlbauteilen.

Die vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen der Imprägnierung von Holz mit salzartigen Schutzmitteln ist beim heutigen Stande der Technik nicht sehr aussichtsreich für hohe Anforderungen. Nach vorliegenden Erfahrungen werden einerseits die in beschränktem Umfang wirksam werdende Gasverdünnung, die Verkohlungsbeschleunigung und die Erhöhung der spezifischen Wärme infolge Wasseranlagerung offenbar von der damit verbundenen Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit aufgehoben. Vor allem läßt die technische Durchführung der Imprägnierungen hinsichtlich Gleichmäßigkeit der Schutzmittelaufnahme generell zu wünschen übrig, besonders wenn es sich um eine nachträgliche Applikation des Mittels handelt.

Günstigere Möglichkeiten eröffnen sich für die Erzeugung von in der Masse brandgeschützt hergestellten Holzwerkstoffen. Theoretisch ist es grundsätzlich möglich, Holzwerkstoffe mit Zusatz- oder Füllstoffen zu versehen, die langsame Abbrandgeschwindigkeiten ergeben. Besonders bei Spanplatten ist es gelungen, das Problem spezifisch zu lösen. Wie weit derartige Verfahren allerdings wirtschaftlich anwendbar sind, muß sich erst in der Praxis erweisen. Es ist hie und da bereits vor Jahren bekanntgeworden, daß Spanplatten mit erhöhter Brandwiderstandsfähigkeit zwar ohne weiteres herstellbar sind, jedoch waren ihre mechanischen Eigenschaften nicht sehr günstig. Bei porösen Holzfaserverplatten liegt das Problem im wesentlichen bei der Verfahrenstechnik: Es ist offenbar bis heute noch nicht gelungen, geeignete chemische Feuerschutzmittel bei der Plattenherstellung wirtschaftlich einzuarbeiten. Derartigen Maßnahmen sind von seiten der Werkstoffe insofern Grenzen gesetzt, als mit der Inkorporierung von Zusatz- oder Füllstoffen andere physikalische Eigenschaften gewöhnlich erheblich verändert werden. Es bleiben dann nur die Wege, die — zunächst wohl ganz unabhängig vom Gesichtspunkt der Feuerwiderstandsfähigkeit — zum Beispiel bei der anorganischen, gebundenen Holzspanplatte bzw. den entsprechenden Holzspanwerkstoffen beschränkt wurden, indem die Holzpartikel-Oberflächen «mineralisiert» werden. Hier ist trotz weitgehendem Aufschluß der inneren Oberflächen eine Zersetzung des Holzgefüges nur sehr langsam möglich, da jegliche Holzsubstanz einen hochwertigen inerten Oberflächenschutz besitzt. Die intensive Wärmedämmwirkung solcher Gefüge nimmt gewöhnlich sogar mit fortschreitender Verkohlung noch zu, da die anorganischen Substanzen solcher Platten zumeist ein Gerüst von brauchbarer Beständigkeit bilden.

Soviel zum eigentlichen Brandverhalten von Holz und den vorbeugenden Schutzmaßnahmen gegen Brandentwicklung und -ausbreitung. Nun einige Bemerkungen zur Problematik der Auswertung von Brandversuchen.

In unserem Zeitalter der sich überstürzenden technischen Entwicklung gibt es auch auf dem Gebiet des Brandschutzes von Baustoffen eine Fülle von

Neuerungen, an die vor wenigen Jahren kaum zu denken war. Da es sich ja bei einem Brand um ein Ereignis von einmaligem, immerhin relativ seltenem Auftreten, bezogen auf die Lebenserwartung eines einzelnen Bauwerks, handelt, so ist es ausgeschlossen, für neue Konstruktionen oder Anwendungen innerhalb kurzer Zeit Erfahrungen aus der Praxis zu sammeln, die dem Fachmann eine Beurteilung der Sicherheit erlauben. Erschwert wird fast in jedem Falle, daß hierbei kaum wie bei Konstruktionen, die in festigkeitsmäßiger Hinsicht beurteilt werden müssen, vom Modell oder vom Teilglied auf die reale Anwendung geschlossen werden kann. Dies rührt daher, daß die spezifischen Erscheinungen bei einem Feuer von einer ganzen Reihe von Einflüssen abhängen, die in ihrer Gesamtheit in einem hochgradig instationären, nicht überschaubaren und scheinbar regellosen Ablauf zusammenspielen. Diese Einflußgrößen und ihr Zusammenwirken sind bis heute nicht annähernd ausreichend theoretisch erfaßbar. So kann es eigentlich nicht verwundern, wenn die Beurteilung der Brandsicherheit eines Bauteils oftmals von Ort zu Ort oder von Land zu Land sehr stark divergiert. In weitem Maße sind solche Einschätzungen auch heute noch Ansichtssache.

Um diesen Zustand zu bessern, hilft die Erforschung von Zusammenhängen im Ablauf und nach den Einflüssen beim Brandgeschehen. Dies ist nur unter systematisch isolierten Gesichtspunkten möglich, also vorzugsweise bei speziellen, reproduzierbaren Versuchen. Jedoch genügen solche Kenntnisse noch keineswegs, denn die Versuchserfahrungen basieren ja auf ganz bewußt beschränkten Anordnungen, die nur in seltenen Fällen in den maßgeblichen Details der Praxis entsprechen. Vergewahrtigt man sich zum Beispiel einen Brandversuch, der Proben einer dünnen Holzwerkstoffplatte von einigen Quadratcentimetern Flächenabmessung besitzt und mit einer Gasflamme entzündet wird. Das Versuchsergebnis drückt den Ablauf des Brandgeschehens in mehr oder weniger reproduzierbaren Kennwerten wie Temperatur, Flammenumfang, Flammenausbreitungsgeschwindigkeit, Zersetzungsverlust oder Verkohlungsausdehnung aus. Danach wird eine Klassifizierung vorgenommen, um den Stoff für bestimmte Einsatzgebiete zuzulassen oder auszuschließen. Stellt man sich vor, daß dieser Werkstoff einmal in einem Theater, zum anderen in einem Hausflur eingesetzt wird; einmal befindet er sich an der Wand, ein anderes Mal an der Decke oder auf dem Fußboden. In einem Anwendungsfall werden Platten auf einen Lattenrost genagelt, in einem anderen sind sie auf Beton gedübelt oder geklebt, in einem dritten wird Kunststoffschäum hinterlegt. Die Variationsbeispiele ließen sich noch beliebig fortsetzen. Wohl in jedem dieser Fälle wird die Brandentwicklung — bei gleichen Zündgegebenheiten — unterschiedlich ausfallen. Kann eine Zulassungsstelle nun mit gutem Gewissen sagen, diese Platte sei nach einem einzelnen Versuch positiv zu qualifizieren oder nicht, und der Einsatz kann in dieser Anwendung oder in jener oder in keiner

erfolgen? Oder soll man für die verschiedenen Einsätze verschiedene Nachweise verlangen, gar für die einzelnen Anwendungen in unterschiedlichen Prüfverfahren?

Schwierigkeiten dieser Art treten offensichtlich ganz besonders bei der Beurteilung des oberflächigen Brandgeschehens im Anfangsstadium auf, wie dies bei Holz von besonderer Bedeutung ist. Die Fachleute im zuständigen ISO-Gremium sahen sich zum Beispiel außerstande, einen der von sechs beteiligten Ländern jeweils als offizielles Zulassungsprüfverfahren bisher praktizierten Flammenausbreitungstest als umfassend brauchbar zu empfehlen. Man ist sich in diesen Kreisen zwar in jüngster Zeit in etwa klar geworden, welche Voraussetzungen an einen generellen Test für brennbare Baustoffe zu stellen sind, doch sah man noch keinen Weg, dies zu realisieren. Es ergaben sich zum Beispiel beim Vergleich der Ergebnisse von Brandversuchen mit Holz, Holzwerkstoffen und einigen Kunststoffen bei speziellen internationalen Vergleichsversuchen Korrelationsfaktoren, die nur für ganz wenige Materialien und nur für einzelne Paare von Testmethoden in brauchbarem Bereich lagen; häufig waren sehr kleine Korrelationen gegeben. Es handelte sich dabei durchweg um plattenförmige Baustoffe, die nach sechs verschiedenen, ländereigenen Versuchsmethoden getestet wurden, um relative, vergleichbare Klassifizierungen, das heißt eine Rangfolge von gut zu schlecht hinsichtlich Flammenausbreitung zu ermöglichen. Allerdings war dabei einigermaßen beruhigend, daß für Holz und Holzwerkstoffe die Ergebnisse im allgemeinen deutlich besser vergleichbar waren als für etliche andere, brennbare Stoffe, bei denen zum Teil extrem gegensätzliche Einstufungen vorkamen.

Nun, zum Glück liegen die Diskrepanzen auf dem Gebiet der Bauteilqualifizierungen, das heißt der Feststellung von Feuerwiderstandsfähigkeiten — international betrachtet — nicht so kraß unterschiedlich. Dabei fügen sich auch die außereuropäischen Industrienationen hinsichtlich Methodik und Beurteilungsbasis gut in die europäischen Gebräuche ein. Hier sind die Prüfmethoden einander zum großen Teil angeglichen. Die Bewertungen der Ergebnisse werden, besonders durch die Baubehörden, allerdings zum Teil noch recht unterschiedlich gehandhabt. Dies ist an sich ja nicht weiter verwunderlich, liegen doch die Gegebenheiten hinsichtlich zugehörigen Gepflogenheiten oder Bestimmungen in verschiedenen Ländern zum Teil beträchtlich auseinander. Davon betroffen sind vor allem Wertschätzungen von Maßnahmen in bezug auf Brandmeldeeinrichtungen und abwehrendem Brandschutz im Vergleich zum vorbeugenden Brandschutz. Es leuchtet ein, daß bei einer Organisation mit sehr umfassenden Brandbekämpfungseinrichtungen die Handhabung des vorbeugenden Brandschutzes weniger streng angewendet zu werden braucht und umgekehrt.

In diesem Zusammenhang bedarf eine Gegebenheit des Hinweises, da sie eine auffallende Ausnahme bei den heute allgemein gebräuchlichen Quali-

fizierungsforderungen darstellt: Die Maßgabe, daß hierzulande bei feuerhemmenden Bauteilen im Brandversuch keine Entflammung des dem Feuer ausgesetzten Baustoffes auftreten darf. Diese Bestimmung, die durch die Verbreitung der ISO-Empfehlungen in vielen Ländern nicht mehr gebräuchlich ist, ist in der Tat wenig sinnvoll. Im Falle eines voll entwickelten Brandes an einem Bauteil, der auf Erhaltung seiner Tragfähigkeit bzw. gegen Feuerdurchdringung bemessen wurde, kann das Mitbrennen von Zersetzungsgasen bzw. die dadurch hervorgerufene mögliche oberflächige Flammenausbreitung keinen irgendwie gravierenden Einfluß haben. Darüber hinaus ist die Feststellung des Auftretens von Eigenflammen beim Brandversuch problematisch, da die Anwesenheit von brennbaren Stoffen theoretisch stets zu Eigenflammen führen kann, deren effektives Auftreten jedoch von der Sauerstoffversorgung bzw. von den Ventilationsverhältnissen im Versuchsofen — und nicht zuletzt von der Beobachtungsgabe des Experimentators — abhängt.

Obwohl für die Lösung von vielen noch offenen Problemen unausbleiblich ist, daß über die Bauteilprüfungen in Versuchsofen hinaus Modellbrandversuche durchgeführt werden, um die Brandentwicklung in realen Räumen zu berücksichtigen, können schon heute für relativ einfache Fälle bei Baugliedern Angaben über deren Standfestigkeit im Feuer gemacht werden. Dies ist zum Beispiel auf dem Gebiet der Holztüren, bei Holzwänden und bei Unterdecken in gewissem Umfang möglich. Auch bei einfachen Balken und Stützen aus Holz liegen entsprechende Versuchswerte vor.

So sind zum Beispiel bei Untersuchungen an der Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen in Stuttgart an brett-schichtverleimten Holzträgern die Verformungen und Biegebeanspruchung in Brandversuchen verfolgt worden. Anhand der Meßwerte über die Verkohlungen wurden die auch anderweitig festgestellten Abbrandtiefen des Holzes mit etwa $\frac{2}{3}$ mm pro Minute jeweils von der dem Feuer ausgesetzten Oberfläche her bestätigt. Die dabei den entsprechenden verminderten Querschnittsabmessungen rechnerisch zuzuordnenden Durchbiegungen der Träger waren jedoch etwas größer als die, die den theoretischen Werten unter Annahme gleichbleibender Materialeigenschaften entsprachen. Diese zusätzliche Durchbiegung ist durch Erniedrigung des Elastizitätsmoduls in den erwärmten, noch nicht verkohlten Außenbereichen des Holzes zu erklären. Nach den experimentellen Ergebnissen konnten die tatsächlichen Durchbiegungen einer Zunahme der Abbrandtiefen von 1 bis 1,35 mm pro Minute, entsprechend etwa 3 bis 4 cm innerhalb 30 Minuten Branddauer, gleichgesetzt werden. Der niedrigere Wert ergab sich für gedrungene Querschnitte ($h : b \sim 1 : 1$), der höhere Wert für schlanke Querschnitte ($h : b \sim 5 : 1$). Die bei Versuchen gemessenen Temperaturen im Holz sind in Abbildung 2 dargestellt. Naturgemäß wirkte sich die seitliche Dickenverminderung bzw. ein darüber hinausgehender Wärmeeinfluß bei schlanken Querschnitten unter Umständen auf die Erreichung

der Schubfestigkeitsgrenze der Leimfugen aus. Es wurde bei den Versuchen erneut bestätigt, daß der Schädigungsbereich von Fugen bei hochwertiger Bauholzverleimung kaum über die Zersetzungstiefe des Holzes reicht. Besonders bei einem Resorzinharzleim ergab sich, wie aus Abbildung 6 ersichtlich ist, daß die Leimfugenbereiche sogar bessere Kohäsionsbeständigkeit als die Holzkohle hatten. Nach diesen Gegebenheiten ist es möglich, eine rechnerische Dimensionierung von derartigen Traggliedern für eine vorzusehende Feuerwiderstandsdauer vorzunehmen, indem entsprechende Zuschläge zu den Abmessungen solcher Träger gemacht werden.

Bei den ausgeführten Untersuchungen zeigte sich übrigens einerseits, daß Imprägnierungen mit einem salzartigen Feuerschutzmittel (Vakuum-Kesseldruckverfahren) keine deutliche Verbesserung der Feuerwiderstandsfähigkeit ergaben; andererseits zeigte eine, wenn auch nur improvisierte und für die Praxis noch verbesserungsbedürftige Ummantelung solcher Balken mit einer «Feuerschutztapete» (schaumschichtbildendes Feuerschutzmittel, auf einem Glasfaservlies als Trägerbasis auf die Holzoberfläche aufgezogen), daß dieser Wärmedämmschutz sehr wirkungsvoll sein kann.

Die Frage, wie sich hölzerne Konstruktionsglieder als Stützen verhalten, kann unter Voraussetzung von Normbrandbedingungen aus den vorliegenden Erkenntnissen beantwortet werden. Da vertikale Bauglieder eher weniger intensiv vom Feuer beansprucht werden als horizontale, zumal wenn sie an einer Wand stehen, ist deren Abbrandgeschwindigkeit nicht höher anzusetzen als die von horizontalen Balken. Allerdings können in Fällen besonderer Brandbelastung von Stützfüßen infolge spezieller Betriebsbedingungen des Gebäudes besondere Schutzmaßnahmen erforderlich sein. Dies gilt unter Umständen auch für konstruktive Knotenpunkte, sofern diese gegen höhere Verformungen als unter den Normlasten empfindlich sind. Bei leichten Tragkonstruktionen, das heißt bei solchen aus feingliedrigen Holzteilen oder Werkstoffplatten etwa unterhalb 8 cm Dicke, sollte von vornherein ein hochwertiger, oberflächlich aufgebracht, wärmedämmender Schutz vorgesehen werden, sofern das Abbrennen solcher Glieder nicht in Kauf genommen werden kann.

Nach den vorliegenden Erfahrungen wurde aus den empirisch gefundenen Grenzwerten in Deutschland zum Beispiel die in Abbildung 7 dargestellte Kurve vorläufig zur Abgrenzung von *feuerhemmenden*, geleimten Holzträgern, also für eine Feuerwiderstandsfähigkeit von 30 Minuten, angesetzt. Der Grenzkurve liegt eine Sicherheit der abgeminderten Restquerschnitte von «1» hinsichtlich der üblichen, auf den Ursprungsquerschnitt bezogenen, zulässigen Spannungen zugrunde. Diese Werte wurden bei den erwähnten Versuchen praktisch durchweg erreicht.

Obwohl die geschilderten Schutzmöglichkeiten des Holzes gegen Feuer erst Ansätze zu befriedigenden Lösungen zeigen, wird es in Zukunft nicht nur darauf ankommen, die vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen zu ver-

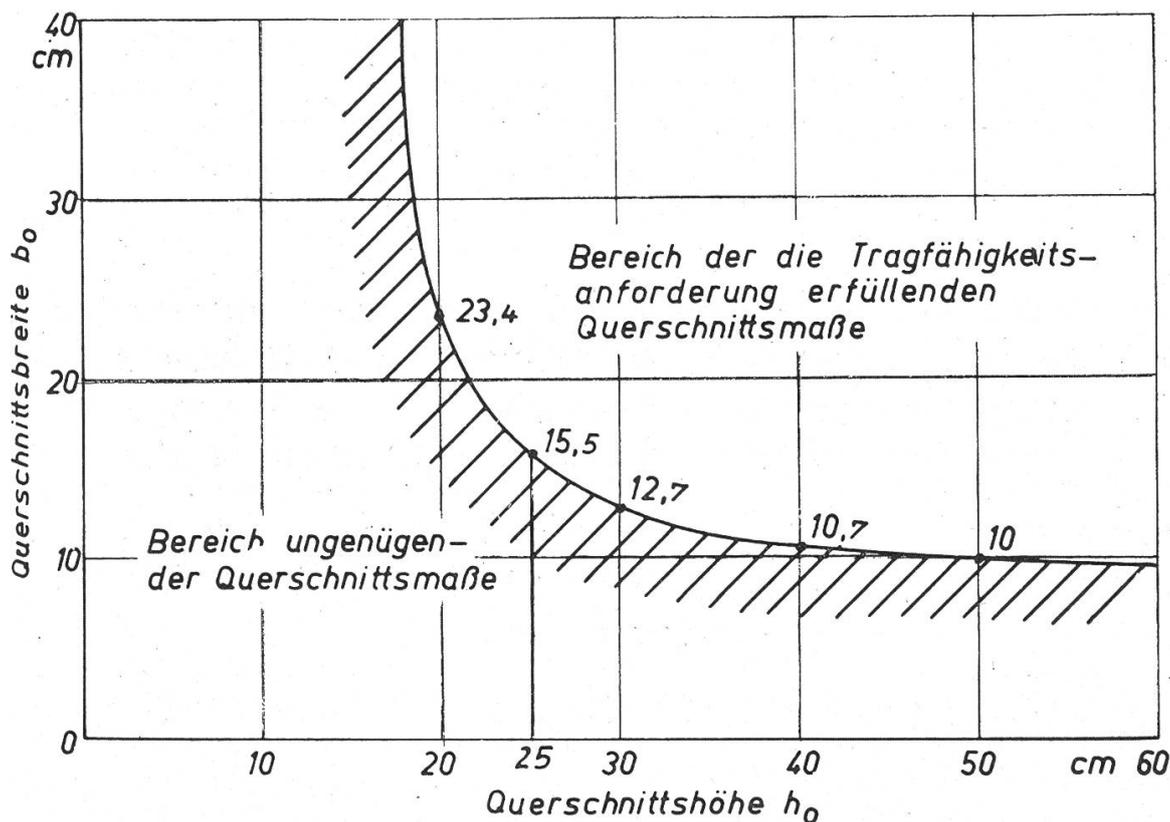


Abbildung 7

Vorschlag zur Abgrenzung der Querschnitte von brett-schichtverleimten Balken für «feuerhemmende» Qualifikation; Grenzkurve empirisch ermittelt.

bessern. Vielmehr ist zur Erzielung größerer Sicherheit und weitergehenden Schutzes von Leib, Gut und Leben die intensive Zusammenarbeit sämtlicher an diesen Problemen beteiligten Kreisen notwendig. Es ist zu hoffen, daß von den am Einsatz des Holzes im Bauwesen Interessierten zur Lösung dieser Aufgaben durch aktive Beteiligung und fundierte Argumentation tatkräftig beigetragen wird.

Résumé

Comportement au feu du bois et des matériaux ligneux

L'étude du comportement des matières inflammables s'est jusqu'ici référée à celui du bois, combustible classique. La discussion des conditions générales en cas de sinistre permet de définir les phénomènes communs ainsi que les mesures de protection à prendre dans chacun des divers stades d'un incendie. Le danger d'incendie s'étant — tant d'un point de vue absolue que subjectif — peu à peu modifié, il est nécessaire d'étendre nos connaissances des mesures constructives de protection contre le feu. C'est en grande partie l'expérimentation qui le permettra, la somme d'expérience pratique étant encore trop peu accessible. Il est également nécessaire, mais difficile vu les nombreux points de vue, de s'accorder sur la terminologie, les méthodes d'examen et les normes de taxation. Des exemples du comportement au feu de poutres collées servent de base à l'exposition des notions de principe et à la discussion des facultés de résistance à l'incendie des constructions en bois.

Traduction : J.-F. Matter