

3 Analyse historischer Brandprüfungen

3.1 Historischer Kontext zur Prüfung von Bauteilen

Die Änderungen des Baurechts, welche durch die fatalen Folgen der mittelalterlichen Stadtbrände vollzogen wurden, sind grundsätzlich Vorsichtsmaßnahmen zur Vorbeugung zukünftiger Katastrophen dieser Art. Doch neben den Überlieferungen und gemachten Erfahrungen scheint ein gewisses Maß an Übervorsicht die damaligen Ordnungen stärker zu reglementieren, als sie es – nüchtern betrachtet – müssten. Besonders die vorsichtige Haltung der Feuerversicherungen und strikte Haltung der Feuerpolizei beschränkte teilweise die Entwicklung des Handwerks bis in die Moderne.

Das wohl umstrittenste Thema, welches noch bis ins 20. Jh. Kontroversen über die Feuersicherheit auslöste, war das Strohdach, „*obgleich Baupolizei- und Feuerversicherung seit Jahrzehnten die Erhaltung derselben bekämpfen und die Neuherstellung zu verhindern suchen.*“⁶¹ Die berechtigte Sorge, die sich um die „Feuergefährlichkeit“ einer solchen Bauweise gemacht wurde, widersprach dem traditionellen ländlichen Bild der Idylle. Erst der Test alternativer Lösungen konnte den Baustoff bis in die heutige Zeit erhalten. Zwar lässt die Quellenlage erste Bemühungen im Sinne Brandschutzes durch Brandprüfungen lediglich ab der zweiten Hälfte des 19. Jh. erkennen, es ist jedoch wahrscheinlich, dass bereits früher Versuche diesbezüglich durchgeführt wurden und die Erkenntnisse in das Baurecht eingeflossen sind.⁶²

Diese Erkenntnis stützt sich außerdem auf die eher beiläufige Erwähnung derartiger Initiativen. Damalige Fachzeitschriften, wie das regelmäßig erscheinende „Zentralblatt der Bauverwaltung“ – welches die Entwicklung des Bauwesens zu jener Zeit maßgeblich beeinflusste – marginalisierten die Unternehmungen und gaben „interessanteren“ Artikeln den Vorrang. Die erste baurechtlich relevante Brandprüfung des „Rabitzputzes“ 1879 wurde beispielsweise erstmals vier Jahre nach ihrer Durchführung in ebendieser einflussreichen Zeitschrift erwähnt.⁶³ Zu jener Zeit deklarierte man das bis heute bestehende Bauprodukt als „interessanten Versuch“ (s. Kapitel 3.2.2). Durchaus ist diese Bezeichnung nachvollziehbar, denn ein „*kleines massives Gebäude*“⁶⁴ stellte den kompletten Versuchsaufbau dar. Während die technischen Versuchsanstalten Berlins mit einer Vielzahl von „*den besten und zuverlässigsten Apparaten ausgestattet [sind], welche bekannt werden*“⁶⁵ scheint eine privat veranstaltete Brandprüfung wenig stichhaltig, zumal die Prüfungsstation für Baumaterialien „*Prüfungen auf Feuerbeständigkeit und auch hiernach auf Druckfestigkeit*“⁶⁶ für staatliche und auch private Zwecke anbot. Tatsächlich

⁶¹ Fischer, P., *Über Stroh- und Rohrdächer*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1908, S. 325.

⁶² Baader, J., *Nürnberger Polizeiordnungen aus dem XIII. bis XV. Jahrhundert*, Stuttgart 1861, S. 287. Für das vorliegende Beispiel der Strohdächer müssen sich lehmgetränkte Modifikationen schon im 14. Jh. als widerstandsfähig erwiesen haben, da sie parallel neben Ziegeln zugelassen wurden (s. Kapitel 3.7.2)

⁶³ *Feuersicherer Deckenputz und feuersichere leichte Zwischenwände*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, 1883, unbekannter Verfasser, S. 136.

⁶⁴ Ebd.

⁶⁵ *Die Königlichen technischen Versuchsanstalten in Berlin*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1888, unbekannter Verfasser, S. 329.

⁶⁶ Ebd., hier S. 337.

beweist die Geschichte aber ein breitgefächertes Interesse in der Bevölkerung an der Untersuchung des Brandverhaltens verschiedener (Bau)Materialien.

Entsprechend der pragmatischen Zweckerfüllung und Umsetzung nutzten viele nachfolgende Fabrikanten, Erfinder, Vereine, Behörden, Feuerwehren, Institute, Prüfanstalten etc. ein „Feuerhäuschen“ zur Erprobung der Feuersicherheit diverser Baustoffe und Bauteile. Dadurch stieg die Anzahl der veröffentlichten Versuche bis ca. 1900 rapide. Besonders prägend war in dieser Zeit die Erkenntnis über das Versagen der angeblich „feuerfesten“ und „unverbrennlichen“ Eisenkonstruktionen bei Bränden, wobei diese ursprünglich ein neues Zeitalter der Industrie einläuten sollten. Tatsächlich steigerte vor allem Preußen in den 1870er Jahren kontinuierlich die Roheisenproduktion auf mehr als das Doppelte, bevor das ungünstige Verhalten des Baustoffs offenkundig wurde.⁶⁷ Mit ingenieurtechnischen Versuchen konnten diese Annahmen wissenschaftlich detailliert ergründet werden.

Folglich mussten – wie schon eingangs erwähnt – Lösungen gefunden werden, um diesen industriellen Fortschritt weiterhin nutzen zu können (s. Kapitel 3.4.2). Zu diesem Zweck konnten zum einen neue Baustoffe (z.B. Monierkonstruktionen) verbreitet werden, zum anderen fanden auch konventionelle Rohstoffe wie natürliches Holz durch einen internationalen Austausch eine bewusstere Anwendung im Brandschutz.⁶⁸ Der Dualismus zwischen „alt“ und „neu“ ist hierbei besonders hervorzuheben, da ebensolche klassischen Baustoffe faktisch nie so umfassend geprüft worden sind wie Bauprodukte, die man der jüngeren Zeit zuordnet. „Brandmauern“ aus (Ziegel)Mauersteinen zum Beispiel sind zwar bereits seit dem Mittelalter in den Feuer- und Bauordnungen manifestiert, ihre theoretische Leistungsfähigkeit wurde aber bis ca. 1900 nie ausführlich getestet.⁶⁹ Die überwiegend sehr positiven Erfahrungen legitimierten den Einsatz bzw. verpflichteten sogar, Brandmauern über Jahrhunderte massiv aus Mauersteinen zu errichten.

Generell erfolgte die Durchführung der Prüfungen häufig nach einem iterativen Prinzip. Nicht nur die Erkenntnisse der früheren Jahrhunderte wurden für die Konstruktionsweisen der Versuchsaufbauten genutzt, sondern auch die Feststellungen, die seinerzeit bei den Brandproben gemacht wurden, beeinflussten die Planung und Durchführung weiterführender Forschung.⁷⁰ Fehlende Bestimmungen zu den Prüfbedingungen und dem Ablauf der Prüfungen machte eine permanente Wechselbeziehung zwischen Erfahrungsgewinn und -anwendung nötig. Des Weiteren schafften fortschrittliche Geräte sukzessive verbesserte Bedingungen für die wissenschaftliche Erarbeitung allgemeingültiger Angaben zur Feuersicherheit von Bauteilen. Angeführt sei hierzu exemplarisch die recht unscharfe Methodik der Temperaturmessung mittels

⁶⁷ Beck, L., *Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung*, Braunschweig 1884, S. 231.

⁶⁸ *Ueber das Verhalten starker Bauhölzer im Feuer*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1885, unbekannter Verfasser, S. 192.

⁶⁹ Gary, M., *Prüfung erhitzter Schamottesteine auf Druckfestigkeit*, in: Königliche Aufsichts-Kommission, Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde West, Berlin 1910, S. 23–40.

⁷⁰ Lehrreich waren vor allem Fehler, die während des Aufbaus gemacht wurden, wie die instabile Einspannung von Stützen, mangelhafte Bewehrung von Eisenbetonteilen oder Errichtung der „Feuerhäuschen“ unter ungünstigen Wetter- und Witterungseinflüssen.

Brennkegel und metallischer Schmelzproben⁷¹, bei denen lediglich ein Höchsttemperaturbereich angegeben werden konnte. Später verwendete man zusätzlich Pyrometer,⁷² Maximalthermometer und Thermolemente, um diesbezüglich genaue Aussagen zum Brandverlauf treffen zu können.

Über die Jahrzehnte änderten sich somit auch die Schwerpunkte, die den Prüfungen je nach Interessengruppe zugrunde lagen. Die Techniker legten zu Beginn *„den grössten Werth auf die Prüfung- von Konstruktionstheilen, sie wenden die rechnungsmässige Maximal-Pressung und künstliche, möglichst hochgesteigerte Feuerung an.“*⁷³ Oftmals wurden einzelne Bauteile individuell auf ihr Brandverhalten getestet. Die dabei herrschenden Bedingungen unterlagen dabei einer größeren Kontrolle und Übersicht, sodass diese den Bedürfnissen schnell angepasst werden konnten.⁷⁴ Demgegenüber legte die Feuerwehr *„weniger Werth auf die Prüfung von Konstruktionstheilen, als auf diejenige von Baumaterialien in Abschlusswänden, Decken, Treppen usw. Ihr erscheint es besonders bedingungsvoll, dass man die wirklichen Verhältnisse äusserlich nachahmt, z.B. durch Einbau der zu prüfenden Gegenstände in eigens errichtete Häuser, Verwendung natürlichen Brennmaterialies usw.“*⁷⁵ Solche Prüfungen nahmen zum Teil große Ausmaße an, wie die Umnutzung eines zum Abbruch freigegebenen Hauses als Versuchsgebäude für *„eine große Zahl von Constructionen, die auf besondere Feuerbeständigkeit Anspruch machen, [wie] Decken, Wände, Fußboden, Wand- und Säulenbekleidungen, Treppen, Thüren usw.“*⁷⁶ Bei nahezu allen Bränden in den „Feuerhäuschen“ oder anhand von Gebäudemodellen (s. Kapitel 3.8) wurde Holz als Brennmaterial benutzt, nur selten war der Einsatz von regulierbaren Gasbrennern möglich. Der Einsatz von Brandbeschleunigern (meist Petroleum) half auch dabei, *„den Verhältnissen der Wirklichkeit durch Nachahmung der ungünstigsten Einflüsse eines starken Feuers gerecht [zu werden]“*⁷⁷ – wie sie bei den technischen Versuchen angestrebt wurden – beeinflussten aber die Temperaturentwicklung auf unnatürliche Weise. Dadurch brachte man zwar eindrucksvolle Brände hervor, erschwerte aber die Beurteilung nach heutigen Richtlinien.

Die Prämisse der unterschiedlichen Herangehensweisen der verschiedenen Parteien verschwamm durch den bereits erwähnten zunehmenden Erfahrungsaustausch und die stetig weiterentwickelten Prüfungsgrundlagen. Zusammenfassend kann die „Entwicklung“ dieses Wissenschaftsbereiches als Lernprozess bezeichnet werden, denn fasst man die erläuterten Punkte Innovationen, neue Baumaterialien, Forschung und Erkenntnisse zusammen, tritt ebenfalls der Wandel des Bauwesens in den Vordergrund, worauf der Brandschutz einen wesentlichen Einfluss hatte und noch hat.

⁷¹ *Ueber die Sicherung von Eisenkonstruktionen in Gebäuden gegen Feuer*, in: Deutsche Bauzeitung, Berlin 1895, unbekannter Verfasser, S. 275.

⁷² Schüler, H., *Versuche über das Verhalten gusseiserner Stützen im Feuer*, in: Deutsche Bauzeitung, Berlin 1897, S. 234. Das Pyrometer konnte zwar fortlaufend die Temperatur angeben, wurde jedoch bei höheren Temperaturen ungenau.

⁷³ Ebd., hier S. 233.

⁷⁴ Bauschinger, J., *Ueber das Verhalten gusseiserner und schmiedereiserner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung*, in: Mittheilungen aus dem Mechanisch-Technischen Laboratorium, München 1885.

⁷⁵ Schüler, H., *Versuche über ...*, wie Anm. 72, hier S. 233.

⁷⁶ *Umfassende Brennproben*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1893, unbekannter Verfasser, S. 75.

⁷⁷ *Vergleichende Versuche über die Feuersicherheit von Speicherstützen*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1896, unbekannter Verfasser, S. 507.

3.2 Brandproben an Decken und Unterzügen

3.2.1 Holz (unbehandelt)

Die zu jener Zeit oft bestehenden Zweifel an der Feuersicherheit der Holzbauten erreichte durch Artikel in Tages- und sogar Fachzeitschriften ein breites Publikum.⁷⁸ Zwar ist die Brennbarkeit des unbehandelten Holzes nicht abstreitbar, trotzdem machte man häufig positive Erfahrungen mit diesen Bauteilen bei Bränden. Entscheidend ist hierbei der wesentliche Vorteil des Holzes gegenüber anderen nicht brennbaren Baustoffen (wie beispielsweise Eisen), dass der Kontakt mit Feuer zu einer Verkohlungsschicht an der Außenseite führt.⁷⁹ Diese weist eine geringe Wärmeleitfähigkeit auf, dient als natürliche Isolierschicht und schützt somit den inneren Kern vor schädlicher Wärmestrahlung. Dieses Verhalten ließ sich bei zahlreichen Bränden beobachten. Erwähnenswert ist hierfür der Brand eines Hamburger Speichers 1894, bei dem die Hauptkonstruktionsteile aus Kiefernholz, *„trotz des mächtigen, fast vier Stunden wütenden Feuers von großer Hitze eine hohe Tragfähigkeit [behielten].“*⁸⁰ Auch nach dem Brand des Lagerhauses „Teerhof“ in Bremen 1920 entschied man sich dazu, das hölzerne Tragwerk zu erhalten. Dort zerstörte das Feuer lediglich die Oberfläche der Deckenbalken bis auf 1 cm Tiefe, sodass ihre Tragfähigkeit nicht verloren ging.

Eisenbetondecken, welche herausragende feuerschutztechnische Eigenschaften darboten, wurden ab dem 20. Jh. oftmals in Industrie-, Fabrik- und Speichergebäuden statt hölzerner Decken eingesetzt. Offenbar sah man, geprägt durch die Euphorie für neue Baukonstruktionen, von einer aussagekräftigen Prüfung unbehandelter Holzbalkendecken ab. Tatsächlich waren es lediglich reale Brandereignisse, aus denen man Lehren für die Feuersicherheit zog. Dabei zeigte sich, dass der Aufbau maßgeblich den Widerstand gegen Feuer bestimmte.⁸¹ Eine offene Balkendecke hat kaum eine Schutzwirkung, da Fugen zwischen den Dielen den Durchlass der Flammen gewähren. Die Dicke der Bretter oder das Hobeln der Oberflächen beeinflusste dieses Verhalten kaum. Erst das Anbringen einer Schalung („Einschubdecke“) unterhalb der Deckenbalken verhinderte die Einwirkung der Brandgase über einen längeren Zeitraum, wenn diese verputzt wurden (s. Kapitel 3.2.2). Dennoch erteilten zuständige Behörden die Zulassungen für derartige Deckenaufbauten nur beschränkt, da der innenliegende Hohlraum nur wenig zur Abschirmung der Wärme beitrug. Ab 1853 erhielt einzig die zusätzliche Einbringung einer Isolierschicht eine vollständige bauordnungsrechtliche Anerkennung. *„Die Balkenzwischenräume in Wohngebäuden müssen mit möglichst feuersicheren Stoffen ausgefüllt werden. Es ist gestattet, daß sie gestaakt und gelehmt, zugleich unterhalb geschaalt und gerohrt, oder daß sie mit umwickelten Staakhölzern ausgesetzt werden.“*⁸² Üblicherweise verwendete man für diese Füllung Sand, Lehm oder Koksasche, aber auch Gipshohlplatten, Zementdielen und Materialien ähnlichen Feuerwiderstandes galten als vorschriftsmäßige Zwischenschichten (s. Abbildung 5).⁸³

⁷⁸ *Feuersicherheit von Holzbauwerken*, Berlin 1933, unbekannter Verfasser, S. 5.

⁷⁹ Reddemann, B., *Die Fürsorge gegen Feuersgefahr bei Bauausführungen*, Berlin/Heidelberg 1908, S. 10.

⁸⁰ *Feuersicherheit von ...*, wie Anm. 78, hier S. 12.

⁸¹ Reddemann, B., *Die Fürsorge ...*, wie Anm. 79, hier S. 45f.

⁸² Hinckeldey, K., *Bau-Polizei-Ordnung für ...*, wie Anm. 37, hier S. 19.

⁸³ Reddemann, B., *Die Fürsorge ...*, wie Anm. 79, hier S. 46.

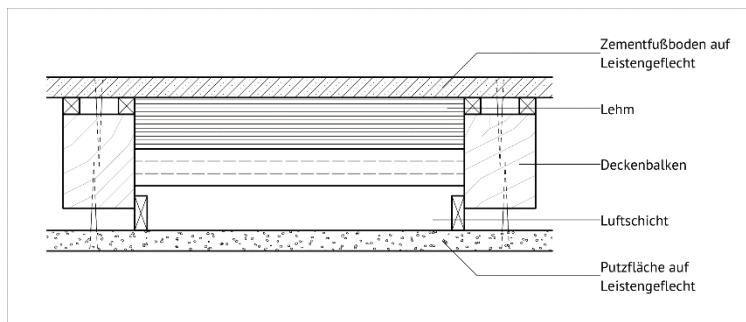


Abbildung 5: Beispiel einer historisch bauordnungsrechtlich bedenkenlosen Holzbalkendecke

Eine ebenso große Bedeutung für die Widerstandskraft dieses Bauteils bei einem Feuer hat dessen Unterstützung, denn bei einem Versagen der stützenden Konstruktion erwies sich die Decke oftmals als nicht mehr tragfähig und stürzte ein.⁸⁴ Allerdings wurden für hölzerne Decken und Unterzüge offensichtlich keine spezifischen Versuche durchgeführt, da die tragende Funktion von hölzernen Stützen scheinbar als bedeutender erachtet wurde (s. Kapitel 3.4.1).

3.2.2 Putz

Die bis Mitte des 19. Jh. angewandte Technik zum Verputzen von Decken- und Wandflächen führte oftmals zu Rissen und Unebenheiten im Putz. Daraufhin entwickelte der Maurermeister Carl Rabitz einen Deckenputz, der beständiger sein sollte. Dieser wird nicht auf einem organischen Putzträger (z.B. Schilfrohr) aufgetragen, sondern nutzt stattdessen ein Drahtgeflecht als Untergrund, welches Mittels hölzerner Leisten auf der tragenden Konstruktion befestigt wird. Diese Bauweise wurde schließlich am 1. Februar 1879 patentiert und zusätzlich - trotz fehlender Untersuchungen - als „feuerfest“ betitelt. In der entsprechenden Patentschrift heißt es: *„Die ganze Decke ist feuerfest, denn ihre dem bedeckten Raum zugekehrte Fläche ist von den Holztheilen durch den Putz genügend weit getrennt, um von dieser Seite die Weiterverbreitung eines unterhalb derselben ausbrechenden Feuers lange Zeit verhindern zu können.“*⁸⁵ Nur einen Monat später wurde dieses Patent auf eine ähnliche Bauweise von Zwischenwänden ausgedehnt, welche schriftlich die Eigenschaft „feuersicher“ erhielten, ohne dass dies nachgewiesen worden ist.⁸⁶

Der überhaupt erste baurechtlich relevante Brandversuch wurde mit diesen Produkten am 27. Mai 1879 von C. Rabitz persönlich auf seinem Grundstück in Berlin durchgeführt. Bei dieser Prüfung sollte die Feuersicherheit seines Putzes nachgewiesen werden. Hierbei waren Kommissare *„des Ministeriums der öffentlichen Arbeiten, des Polizei-Präsidiums, der Feuerwehr und der Ministerial-Baucommission“*⁸⁷ anwesend, die den Verlauf dokumentierten. Der Aufbau des Experiments bestand aus einem zweigeteilten massiven Gebäude, welches Parzellen zu je 3,0 x 2,0 x 2,5 m Größe besaß. Diese beiden Abteile wurden einerseits durch eine, mit Rabitzputz verkleidete Holzbalkendecke und eine ebenfalls von ihm entworfene Wandkonstruktion geschlossen,

⁸⁴ Reddemann, B., *Die Fürsorge ...*, wie Anm. 79, hier S. 45.

⁸⁵ Rabitz, C., *Feuerfester Deckenputz unter hölzernen Balken*, Patentschrift Nr.: DE3789, Deutschland, 1879.

⁸⁶ Rabitz, C., *Feuersichere sich selbst tragende Zwischenwände*, Zusatzpatent Nr.: DE4590, Deutschland, 1879.

⁸⁷ *Feuersicherer Deckenputz ...*, wie Anm. 63, hier S. 136.

wohingegen die benachbarte Seite eine, mit herkömmlichen Rohrputz versehene, hölzerne Decke und eine doppelt geschaltete und verputzte Holzwand erhielt.

„Es wurde nun in beiden durch eine Gurtbogenöffnung verbundenen Abtheilungen ein lebhaftes Feuer entzündet und unterhalten, das an der in gewöhnlicher Weise hergestellten Decke bereits nach wenigen Minuten die ersten Beschädigungen herbeiführte und dieselbe in 35 Minuten soweit zerstörte, daß die verbrannten Schalbretter in Stücken herabfielen und die Balken in Brand geriethen, während die mit Rabitzschem Putz hergestellte Decke nach 43 Minuten zwar einige Putzbeschädigungen erlitten, die Balkenhölzer, Stackungen und sogar die zwischen die Balken eingebrachten eichenen Hobelspähne vor jeder Beschädigung geschützt hatte. Auch der nach dem Erlöschen des Feuers durchschlagene Putz zeigte im Innern keine nachtheiligen Veränderungen. Von der hölzernen Bretterwand war nach Beendigung des Versuches an der Innenseite der Putz abgefallen und die Schalung verkoht, wogegen die nach Rabitzscher Art hergestellte Wand zwar eine starke Erhitzung an der Außenseite, aber keinerlei Beschädigung zeigte.“⁸⁸ Dieser Versuch bestätigte somit die brandschutztechnische Leistungsfähigkeit, welche den patentierten Produkten vorab zugesprochen wurde.

Eine erneute „Feuerprobe“ derselben mit ganz ähnlichem Ziel wurde im Januar 1888 von dem Königlichen Prüfungsamt durchgeführt. Die Rahmenbedingungen bezüglich des Baus, der Überwachung und der Feststellung der Ergebnisse bei diesem Versuch waren somit transparenter und für die Öffentlichkeit einsehbar. Auch hier wurde ein „Feuerhäuschen“ vergleichbarer Dimension mit entsprechenden Rabitzkonstruktionen entworfen (s. Abbildung 6). *„Zur Ermittlung der während des Feuers erreichten Hitzegrade waren, in dem ganzen Raum vertheilt, eine Anzahl kleiner Thontiegel mit Metalllegirungen verschiedener Schmelzpunkte angebracht. Zwischen Säule und Mantel befanden sich außerdem einige Stücke Pech und Schwefel sowie ein Maximalhitzemesser.“⁸⁹* In diesem Raum entzündete man anschließend etwa fünf bis sechs Raummeter aufgestapeltes Fichtenholz.

Während des Brandes stellte man vertikale Risse in den Außenwänden fest, welche man *„der Ungunst der Ausführungszeit und ihrer verhältnißmäßigen Frische“⁹⁰* zuschrieb. Die gleiche Begründung nutzte man ebenfalls, um das Brechen der Säulenummantelung zu erklären. Die Verallgemeinerung dieser Beobachtungen spricht allerdings gegen eine empirische Verfahrensweise. Eine konkrete Bestimmung, welche die Bauweise der Testgebäude vorgab, ging daraus nicht hervor. Vergleichbare Beobachtungen machte man auch in anderen Brandprüfungen und schlussfolgerte Zeitmangel oder Fehler bei der Errichtung der Versuchsanordnung.

Von Bedeutung nach diesem 70-minütigen Brand, bei dem Temperaturen von 900 bis 1020 °C erreicht wurden, waren aber vor allem die Auswirkungen auf die zu schützenden Bauteile. *„In dieser Beziehung ist durch die Prüfungsstation folgendes festgestellt worden:*

⁸⁸ *Feuersicherer Deckenputz ...*, wie Anm. 63, hier S. 136.

⁸⁹ Böttger, P., *Feuerprobe mit Wänden, Decken und Eisen-Ummantelungen nach Patent Rabitz*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1888, S. 44.

⁹⁰ Ebd.

Die Temperatur unterhalb der Holzdecke betrug etwa 100° C., mit Ausnahme der Stelle oberhalb des hölzernen Unterzuges, dessen Mantel etwas gelitten hatte, wodurch die Wärme dort bis auf 300° C. gestiegen war.

Die gleiche Höhe (304° C.) durch ein Maximum-Thermometer gemessen, erreichte die Temperatur in den oberen Theilen der Säulenummantelung da, wo dieselbe Risse erhielt.

In dem unteren und von dem unversehrten Mantel geschützten Theile hatte die Temperatur 100° C. noch nicht erreicht, denn das dort angebrachte Stuck Schwefel war scharfkantig erhalten geblieben, während das neben demselben befestigt gewesene Stück Pech herabgeschmolzen war.

Unterhalb des Fußbodens war die Temperatur unter 100° C. geblieben.

*Zwischen Holzdecke und Ummantelung sowie unterhalb des Fußbodens niedergelegte Hobelspähne waren nur theilweise leicht gebräunt.*⁹¹

Weiterführend wurden neben der Zugfestigkeit, Wasseraufnahmefähigkeit etc. auch Druckfestigkeitsversuche an kleinen Probekörpern durchgeführt, die den Einfluss des Feuers auf die Stabilität der Rabitzkonstruktionen numerisch erfassen sollte.⁹² Allerdings waren die dabei gewonnenen Daten nicht relevant für, das Bauprodukt betreffende, spätere Bestimmungen.

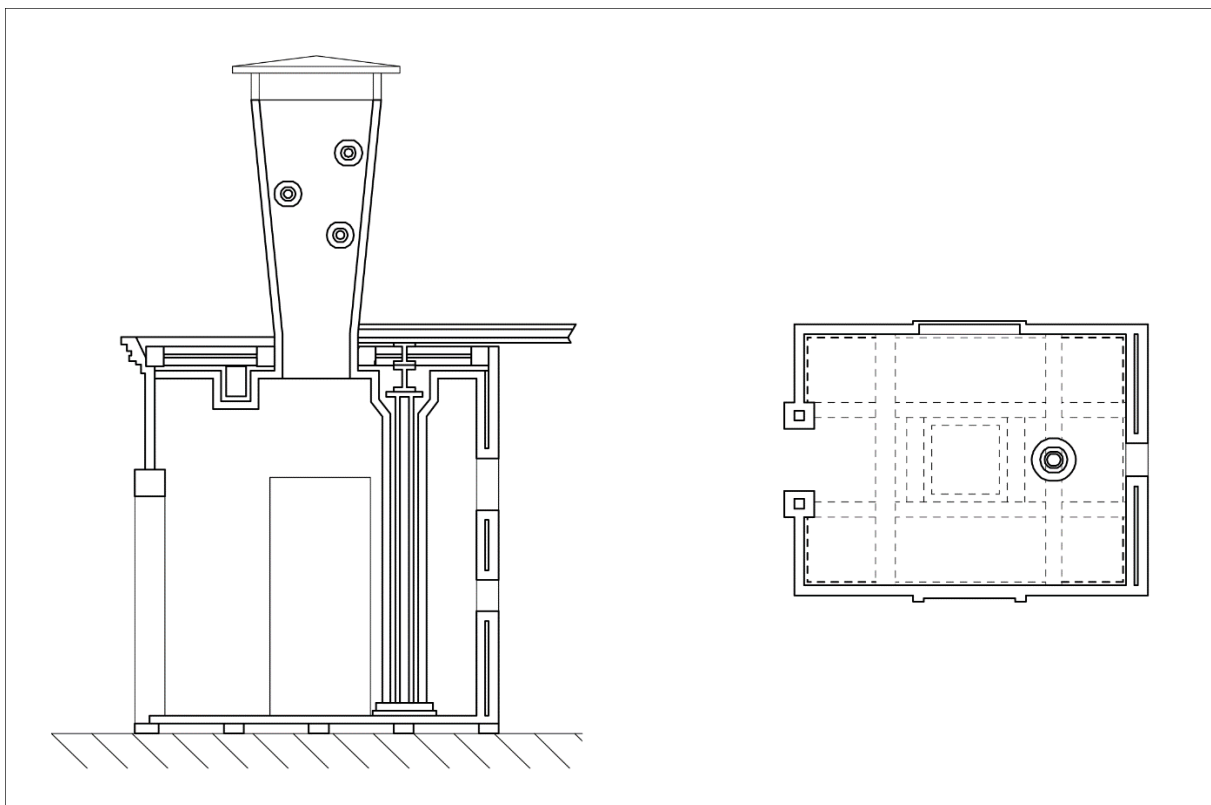


Abbildung 6: Versuchsaufbau der Brandprobe des Rabitzputzes 1888⁹³

⁹¹ Böttger, P., *Zur Frage der Feuerbeständigkeit von Constructionen nach Patent Rabitz*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, 1888, S. 265f.

⁹² Ebd., hier S. 266

⁹³ Böttger, P., *Feuerprobe mit ...*, wie Anm. 89, hier S. 44.

3.2.3 Bewehrter Beton

Der Eisenbeton in seiner bekanntesten Ausführung nach Joseph Monier (s. Kapitel 3.8.3) bewies seine Leistungsfähigkeit besonders bei Bränden in großen Hallen und Lagern bzw. mehrstöckigen Bauwerken. So widerstanden die Decken zweier Speicher einer Hamburger Spritfabrik den hohen Temperaturen des brennenden Benzins über einen großen Zeitraum.⁹⁴ Während in einem der beiden Gebäude die ungeschützten eisernen Stützen versagten und dadurch die darauf liegenden Decken zerstört wurden, behielt der zweite Speicher seine Standfestigkeit. Denn als *„dessen Dach vom Feuer ergriffen wurde, verhinderte die oberste Monierdecke sowohl das Durchbrennen als auch das Durchfließen der in die Gluth geschleuderten Wassermassen nach den unteren Geschossen. Die nur 4,5 cm starke Decke hat also dem Angriff der niederstürzenden Dachtrümmer und der plötzlichen Abkühlung durch Löschwasser vollkommen widerstanden und das darunter befindliche große Spirituslager vor Entzündung geschützt.“*⁹⁵ Neben zahlreichen gleichartigen Beobachtungen, die man bei Bränden machte, wiesen auch Prüfungen die Qualität des Bauprodukts nach.

Die bis dahin wohl fachkundigste und bedeutendste deutsche Brandschutzforschung im Bereich des Eisenbetonbaus führte das „Königliche Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde“ in seinen Versuchsreihen der 1910er Jahre durch (Aufbau und Durchführung s. Kapitel 3.8.4).^{96,97} Die Ergebnisse der zweiten Prüfung seien an dieser Stelle näher erläutert, da bei diesen ein Extrem getestet wurde, welches realistische Vorgänge simulieren sollte. Zu diesem Zweck stapelte man gusseiserne Sparren über die Fläche der jeweiligen Eisenbetondecken, wodurch eine Dauerbelastung von 500 kg/m² erreicht wurde, die der geforderten Nutzlast für Warenhäuser entsprach (s. Abbildung 7).⁹⁸ Zusätzlich sollte der Sturz temporär aufgehängter schwerer Gewichte auf die Decke ein Herabfallen von Trümmerteilen o. Ä. nachahmen. Dies geschah ebenfalls mit Gusseisenkörpern, welche über Haken an bewehrten Plattenbalken befestigt waren. Der Absturz der Gewichte beim Brand rief Absprengungen an der Ober- oder Unterseite der Decke bis zum Eisennetz hervor. Daneben waren lediglich einige Risse festzustellen, wegen einer leichten Durchbiegung der Decke.

Nachweisliche Bestimmungen für obligatorische Stoßbelastungstests in dieser Zeit lagen nicht vor, weshalb eine vergleichende Beurteilung nicht möglich ist. Dennoch wurde unter anderem dadurch das Vertrauen in die Zuverlässigkeit des Baustoffes berechtigterweise gefördert.

⁹⁴ *Zu einer Erprobung des Verhaltens der Monier-Decken gegen Feuer*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1890, unbekannter Verfasser, S. 164.

⁹⁵ Ebd.

⁹⁶ Gary, M., *Brandproben an Eisenbetonbauten*, Berlin 1911.

⁹⁷ Gary, M., *Brandproben an Eisenbetonbauten*, Berlin 1916.

⁹⁸ Ebd., hier S. 48f.

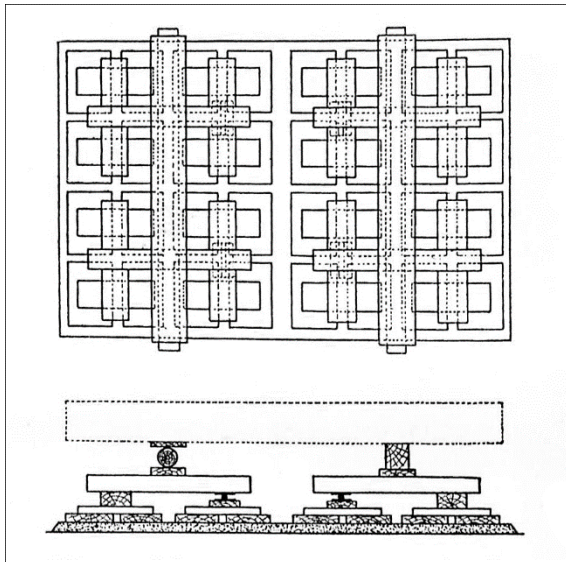


Abbildung 7: Deckenbelastungsschema über dem Erdgeschoss der Häuser III und IV⁹⁹

3.3 Brandproben an Wänden

3.3.1 Holz (behandelt)

Unbehandelte hölzerne Wände haben prinzipiell den gleichen Nachteil wie Decken in dieser Bauart, wenn sie nicht verputzt sind (s. Kapitel 3.2.1). Die zumeist ungleichmäßige Form der Bretter ermöglicht schon von Grund auf keinen kompletten Abschluss eines Raumes. Die dadurch entstehenden Fugen und die natürliche Brennbarkeit des Holzes bieten dem Feuer, auch bei doppelt beplankten Wänden, kaum Widerstand. Einen gewissen Mehrwert bieten Holzblockwände, bei denen die einzelnen Elemente glatt gehobelt und passend aufeinandergelegt wurden.¹⁰⁰ Deren Masse widersteht einem Feuer durch die bereits erwähnte Eigenschaft der Verkohlungsschicht ab einer gewissen Dicke des Bauteils. Nichtsdestominder blieb eine staatliche Zulassung reiner Holzwände aus.

Ab den 1890er Jahren forschte man deshalb an der Modifikation der Wärmewiderstandskraft des Baustoffes als Alternative zu üblichen Verbundbauweisen. Diese waren einerseits der Anstrich der Bauteile und andererseits die Imprägnierung, welche zusätzlich zum Teil den Schutz vor Fäulnis gewährleisten sollten. Grundlegend waren beide Behandlungen lediglich temporäre Lösungen, da sich die meist chemischen Mittel gegenüber den Witterungseinflüssen unbeständig verhielten und ihre Wirksamkeit allein bei Luftkontakt nachließ. Eine genaue historische Einordnung der Feuersicherung des Holzes mittels dieser Verfahren ist nicht möglich. Bereits *„die alten Römer sollen schon ein Gemisch von Essig und Thon benutzt haben, um durch Anstriche Holz und Gewebe gegen Entflammbarkeit zu schützen. Zu keiner Zeit jedoch ist das Bedürfnis nach unverbrennbarem Holz größer gewesen als jetzt, zumal man eingesehen hat, daß in der Bauconstruction das Holz bezüglich der Feuersicherheit durch Eisen nicht ersetzt werden kann, daß oft sogar das Eisen bei Einwirkung von Feuer verhängnisvoller werden kann als Holz. In vielen Fällen hat man daher an Stelle von Eisen wieder Holz verwandt.“*¹⁰¹

⁹⁹ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 49.

¹⁰⁰ Reddemann, B., *Die Fürsorge ...*, wie Anm. 79, hier S. 41.

¹⁰¹ *Feuersicheres Holz*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1900, unbekannter Verfasser, S. 556.

Der erste erwähnenswerte Versuch mit imprägniertem Holz fand im Juli 1897 in London statt.¹⁰² Die in Amerika entwickelte Erfindung garantierte eine Feuersicherheit dadurch, dass *„Das zu behandelnde Holz [...] in Cylinder geschickt [wird], in denen nach Beseitigung der flüchtigen Bestandtheile und Fermente die feuersicher machende Lösung unter einem Druck von 14 kg/qcm eingepreßt wird. Dieser Vorgang nimmt etwa 24 Stunden in Anspruch. Das Holz wird zunächst in Trockenräumen vermittelt heißer Luft getrocknet, bleibt hier ungefähr 14 Tage oder länger und ist dann zum Gebrauch fertig.“*¹⁰³ Um dieses Mittel zu testen, errichtete man zwei baugleiche hölzerne Häuschen (mit unbehandeltem und mit behandeltem Holz) mit einem quadratischen Grundriss von 3,35 m Seitenlänge, einem Zeltdach und einem darauf befindlichen Schornstein. Nachdem der ölgetränkte Holzstapel vor beiden Häusern entzündet wurde, brannte das naturbelassene Haus nach einer halben Stunde vollständig aus. Das chemisch getränkte Haus hingegen konnte nicht in Brand gesetzt werden und verblieb bis zum Ende des Versuches nahezu ohne Schaden. Zugleich blieb die Innentemperatur während der gesamten Zeit relativ konstant, sodass ein Betreten ohne Umstände möglich war, was neben der *„vollständigen Unverbrennbarkeit des chemisch behandelten Holzes“*¹⁰⁴ sehr beachtenswert anerkannt wurde. Da die Erfindung bis zu jener Zeit augenscheinlich alleinig in Amerika Eingang erfahren hatte, *„bedürfte es zunächst einer Bestätigung des Ergebnisses der eingangs erwähnten Brandprobe von maßgebender behördlicher Stelle aus.“*¹⁰⁵ Außer Acht blieb allerdings die bereits 1882 in München durchgeführte Brandprobe mit getränktem Holz. *„Diese fand fast bis in die Einzelheiten in derselben Weise statt, wie jüngst in London, und hatte ganz das gleiche befriedigende Ergebniß.“*¹⁰⁶ Aufgrund des fehlenden Interesses der Öffentlichkeit versiegte das Engagement aber. Trotz alledem stellte man später fest, dass die auf diese Art behandelte Hölzer die Luftfeuchtigkeit absorbieren, was die Wirkung des Feuerschutzes teilweise negierte.¹⁰⁷

Mit dem Ziel der Beseitigung dieser Erscheinung erprobte man 1901 im Deutschen Reich diverse Brandschutzmittel in ähnlichen Feuerhäuschen.¹⁰⁸ Dabei verglich man im ersten Brandversuch ein Holzhaus, welches durch eine Anstrichmasse geschützt wurde, mit einem ungeschützten Holzhaus, das nach einer halben Stunde zusammenstürzte. An den Flächen, die dem Feuer ausgesetzt waren, riss die Schutzschicht und platzte unter dem Druck der Holzgase ab. Folglich war an den entsprechenden Stellen das Holz dem Feuer ausgesetzt. Dies bestätigte Beobachtungen, die man bereits 1893 bei Versuchen an einem als „feuersicher“ bezeichneten, patentierten Asbestfarben-Anstrich machte.¹⁰⁹ Zu jener Zeit erkannten *„die anwesenden Vertreter der militärischen Behörden und der städtischen Baupolizei [...] an, daß der Anstrich sich insoweit*

¹⁰² *Unverbrennbares Holz*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1897, unbekannter Verfasser, S. 310f.

¹⁰³ *Unverbrennbares Holz*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1898, unbekannter Verfasser, S. 475.

¹⁰⁴ *Unverbrennbares Holz ...*, wie Anm. 102, hier S. 311.

¹⁰⁵ *Unverbrennbares Holz ...*, wie Anm. 103, hier S. 475.

¹⁰⁶ Gautsch, K., *Unverbrennbares Holz*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1897, S. 412. Der Verfasser des Artikels bzw. Erfinder der Holzimprägnierung beschreibt seine Tränkung sowohl als „feuersicher“ als auch „feuerfest“, ohne dabei auf die Definition der Begriffe einzugehen.

¹⁰⁷ *Feuersicheres Holz ...*, wie Anm. 101, hier S. 556.

¹⁰⁸ *Ueber bemerkenswerthe vergleichende Brandproben mit geschütztem und ungeschütztem Holz*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1901, unbekannter Verfasser, S. 216.

¹⁰⁹ *Als gutes Schutzmittel gegen die Verbrennlichkeit hölzerner Bautheile und Gebäude*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1893, unbekannter Verfasser, S. 487f.

bewährt habe, als er imstande sei, eine damit versehene Holzwand bei Ausbruch eines Brandes so lange zu schützen, bis Spritzen usw. zur Löschung des Feuers herangeholt werden könnten.“¹¹⁰ Der zweite Test befasste sich mit einer Imprägnierung, die vergleichbare Ergebnisse lieferte wie die bereits erläuterte Probe in London, „ohne daß – was besonders anerkennend bemerkt wurde – an dem Holze Blasen oder Abblätterungen sich gezeigt hätten. Diese Brandprobe lieferte somit einen deutlichen Beweis dafür, daß die so behandelten Hölzer recht wohl imstande sind, entstehende Brände sehr erheblich aufzuhalten und die Gefahr der Weiterverbreitung derselben gegebenenfalls wesentlich zu beschränken.“¹¹¹ Allerdings verwendete man bei dem Resultat nicht den Begriff „feuersicher“, was eine in gewissem Sinne befangene Einstellung gegenüber der Feuersicherheit des Holzes vermuten lässt.

Solchermaßen führte man den Versuch zwölf Jahre später erneut im Königlichen Materialprüfungsamt in Großlichterfelde durch.¹¹² Dabei verglich man unbehandeltes-, imprägniertes-, mit gewöhnlichem Rohrputz versehenes- und mit Drahtputz geschütztes Holz mittels aus den jeweiligen Materialien errichteten Häuschen. Es zeigte sich, dass sich getränktes Holz analog zu dem Rohrputz verhält und je nach Anwendungsgebiet (sichtbare Holzdecken, Wandpaneele, Ausstellungsbauten, Kirchtürme etc.) in etwa gleichwertig zu betrachten ist (s. Tabelle 2).

Zeit nach Entzündung	feuersicher getränktes Holz	mit Rohrputz versehenes Holz
15 min	<i>kleine Flammen auf Innenflächen</i>	/
20 min	<i>kleine Flammen durch Fugen im Dach; Holz schwitzt Salze aus</i>	/
40 min	<i>mehrere Fugen durchgebrannt</i>	<i>fast durch alle Fugen des Daches [schlagen] Flammen</i>
45 min	<i>fast alle Fugen durchgebrannt</i>	<i>fast alle Holzteile [brennen]</i>
50 min	/	<i>Putz im Inneren des Häuschens fast ganz abgefallen</i>
60 min	<i>mehrere Bretter am ganzen Gebäude herausgefallen</i>	<i>Bretter der rechten Seitenwand und Rückwand zum größten Teil herausgefallen</i>
90 min	<i>Ablöschen</i>	
Befund nach dem Brand	<i>nur noch die verkohlten Stiele, Rähme und Sparren vorhanden, an denen, bis auf einzelne äußerlich ganz gebliebene Bretter, nur noch Brettreste hingen</i>	<i>nur noch die außen geputzte Vorderwand und die stark verkohlten Stiele mit den Rahmen, an welchen noch Brettreste hingen, vorhanden</i>

Tabelle 2: Beobachtungen bei den entsprechenden hölzernen Häusern bei einem Brandversuch 1913 in Berlin¹¹³

¹¹⁰ Als gutes ..., wie Anm. 109, hier S. 488.

¹¹¹ Ueber bemerkenswerthe ..., wie Anm. 108, hier S. 216.

¹¹² Wendt, V., *Feuersicheres Holz*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1913, S. 221f.

¹¹³ Ebd., hier S. 221.

Zunächst wurde nur in Berlin das „durchtränkte Holz zu Baulichkeiten mit kurzfristiger Dauer sowie für Ausstellungen und Basare als schwer entflammbar anerkannt. Die allgemeine Zulassung erschien bedenklich, weil durch die Erfahrung noch nicht mit voller Sicherheit nachgewiesen werden konnte, daß die Unverbrennlichkeit des Holzes dauernd erhalten bleibt. Ferner ist eine Kontrolle, ob die Durchtränkung auch in genügender Weise erfolgt ist, eine schwierige.“¹¹⁴ Generell ist die programmatische Einstellung der betreffenden Berliner Ämter beachtenswert. Die bisherigen Bedenken waren durchaus verständlich. Doch wurde in Berlin die eingangs erwähnte zeitweise Schutzwirkung von Holzimprägnierungen für Bauten zugelassen, wenn es sich um ebenfalls temporäre Konstruktionen handelte und man sie dadurch mit bisherigen Versuchsgegenständen vergleichen konnte.

3.3.2 Künstlicher Stein

Kalksandstein

Bedingt durch den hohen Preis der gebrannten Mauersteine diskutierten die Vereine für Ziegel-, Kalk- und Cementfabrication 1899 über den Ersatz derselben in Form von Kalksandsteinen.¹¹⁵ Die feuchte- und schallregulierenden Eigenschaften des Materials billigten den Einsatz im Bauwesen.¹¹⁶ Betreffs der Festigkeit und Feuerbeständigkeit wusste man aufgrund der Neuheit des Baustoffs zu dem damaligen Zeitpunkt allerdings nur wenig. Deshalb wurde im selben Jahr ein Brandversuch unter der Leitung der Königl. mechanisch-technischen Versuchs-Anstalt Charlottenburg abgehalten.¹¹⁷ Um ein vergleichbares Ergebnis zu garantieren, baute man ein Häuschen, welches jeweils halbseitig aus Kalksandsteinen und Birkenwerder Klinkern bestand und mit Kalkmörtel verputzt wurde (s. Abbildung 8). Zur Durchführung wurden in den beiden äußeren Kammern gleichzeitig Holzstapel entzündet. Die Temperaturmessung erfolgte hier mit eingemauerten bzw. aufgehängten Metalllegierungen und Maximalthermometern. Zusätzlich dienten zwei kleinere Räume zur Überwachung des Wärmedurchgangs der Wände.

„Das Gebäude war am Versuchstage etwa 3 Wochen alt, während der kalten und regnerischen Zeit im März gebaut und am Tage des Versuches erst wenig ausgetrocknet. Der verlängerte Cementmörtel war zwischen den Kalksandsteinen besser erhärtet als zwischen den Klinkern. Die große Menge Wasser, die sonach namentlich in den Kalksandsteinen noch enthalten war, veranlaßte bald nach Entzündung des Holzes Risse im Schornstein und über der Eingangsthür zu dem Kalksandsteinraume Ia. Dieser Raum wurde, da der Wind in der Richtung des Pfeiles eintrat und das Feuer zu hoher Gluth entfachte, bald derart auseinandergetrieben, daß das Deckengewölbe einzustürzen begann. Im Klinkermauerwerk

¹¹⁴ Wendt, V., *Feuersicheres Holz ...*, wie Anm. 112, hier S. 221f.

¹¹⁵ *Hauptversammlungen der Ziegler-, Kalkbrenner- und Cementfabricanten-Vereine*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1899, unbekannter Verfasser, S. 105.

¹¹⁶ Rauter, G., *Eigenschaften und Herstellung der Kalksandsteine*, in: Dinglers Polytechnisches Journal, Berlin 1903, S. 576. Aufgrund der Vorwürfe, dass Kalksandstein Wasser schnell aufnahm, jedoch nur schwer wieder abgab, testeten Fabrikanten die Eigenschaft. Dabei beobachtete man ein schnelleres Trocknen der Steine gegenüber Mauerziegeln. Lediglich die starke Verfärbung nasser Kalksandsteine hatte allgemein Bedenken ausgelöst.

¹¹⁷ *Feuerbeständigkeit der Kalk-Sand-Ziegel*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1899, unbekannter Verfasser, S. 192.

traten ähnliche, wenn auch nicht so weit klaffende Risse auf. Die Decke des Klinkerraumes Ib war dem Einsturz nahe. Der Putz fiel von den Seitenwänden der Räume I schon nach wenigen Minuten ab. Während des Versuches wurde an den Thermometern a, b, c und d, die bis in die Mitte des Mauerwerks reichten, also mit ihren Quecksilbergeöäßen etwa 18 cm von der erhitzten Innenfläche entfernt waren, keine Wärmesteigerung beobachtet. Nach 70 Minuten Brennzeit, während welcher insgesamt 8 cbm Scheitholz verfeuert wurden, wurde das Feuer in beiden Räumen I gelöscht, und ein scharfer Wasserstrahl gegen die erhitzten Wände gerichtet. Selbst kurz vor Beendigung des Versuches hatten sich die Wandflächen in II noch nicht erwärmt. Die Besichtigung der Innenwände der Räume I ergab, daß die Klinker an den Kanten der Thür und der Öffnung zum Schornstein, ja selbst an den glatten Innenflächen des Schornsteins erhebliche Absprengungen und vielfach tiefgehende Risse erlitten hatten. Aehnliche Zerstörungerscheinungen zeigten die Kalksandsteinziegel; doch wiesen sie keine durchgehenden Risse auf, sondern waren nur an der Oberfläche etwa 5–6 cm tief zermürbt und an den vom Feuer stark bestrichenen Kanten abgebröckelt. Die glatte Innenfläche des Schornsteins wies, soweit sie aus Kalksandsteinen bestand, zwar eine Menge netzartig vertheilter Haarrisse, aber keine Absprengungen auf. Abgesehen von den gleich anfangs beobachteten, bei der weiteren Erhitzung sich ausdehnenden Rissen im Mauerwerk, welche zweifellos auf das mit großer Heftigkeit, verdampfende Wasser zurückzuführen sind, hatte weder das aufgehende Klinkermauerwerk noch das Kalksandziegelmauerwerk seine Standfestigkeit eingebüßt, abgesehen von den flachen Gewölbebögen der Räume I, deren Widerlagsmauern ausgewichen waren. An den im Innern des Schornsteins aufgehängten Metalllegirungen wurde festgestellt, daß die Hitze auf etwa 900 bis 1000 °C. gestiegen war. Aus den dem Feuer am meisten ausgesetzten Wänden sind beiderseits Probesteine entnommen worden, die auf Wasseraufnahmefähigkeit und Druckfestigkeit geprüft werden. Beim Abbrechen des Mauerwerks zeigte sich, daß der Mörtel an beiden Steinäxten gleich fest haftete und daß beim Herabwerfen die Birkenwerder Klinker dieselbe Neigung zeigten zu zerspringen wie die Kalksandsteine.“¹¹⁸

Eine Vielzahl von Fabrikanten entwickelte eigene Verfahren und Techniken zur Optimierung des Baustoffs. Folglich musste die Leistungsfähigkeit jedes einzelnen Produkts neu erwiesen werden. Für Kalksandsteine welche „aus reinem Quarzsand und Kalkpulver gepreßt und unter hohem Dampfdruck gehärtet werden“¹¹⁹ wurde 1901 ein weiterer Test realisiert. Bei diesem sind die verschiedenen Wandstärken hervorzuheben, welche in 1/2-Stein bis 2-Stein Dicke ausgeführt wurden (s. Abbildung 9). Der anschließende Brand richtete trotz der gemessenen Temperaturen von über 1100 °C keinen sichtbaren Schaden an. Auch das Ablöschen nach einer Stunde führte einzig zum Abplatzen der Steinkanten. Abschließende Untersuchungen ergaben eine zermürbte Schicht von 3 cm, während die dahinter liegenden Teile nicht gerissen und weiterhin tragfähig waren. „Nach Urtheil aller anwesenden Fachmänner haben die Guthmannschen Kalksandsteine die scharfe Feuerprobe vortreflich bestanden.“¹²⁰

¹¹⁸ Feuerbeständigkeit der ..., wie Anm. 117, hier S. 192.

¹¹⁹ Brandprobe mit Kalksteinen, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1901, unbekannter Verfasser, S. 489.

¹²⁰ Ebd.

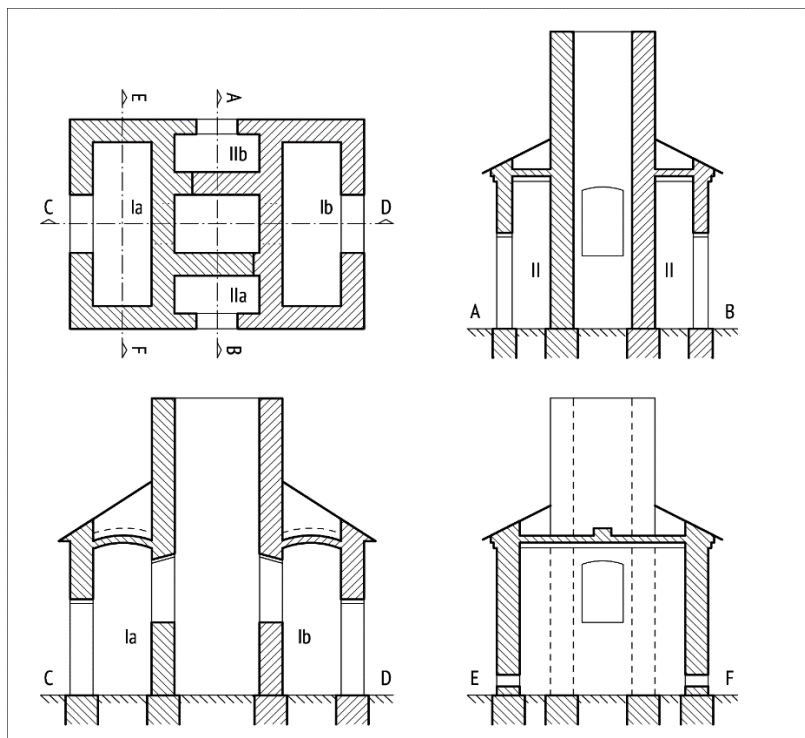


Abbildung 8:

Versuchshäuschen aus jeweils einseitig verwendeten Kalksandsteinen bzw. Klinkersteinen 1899¹²¹

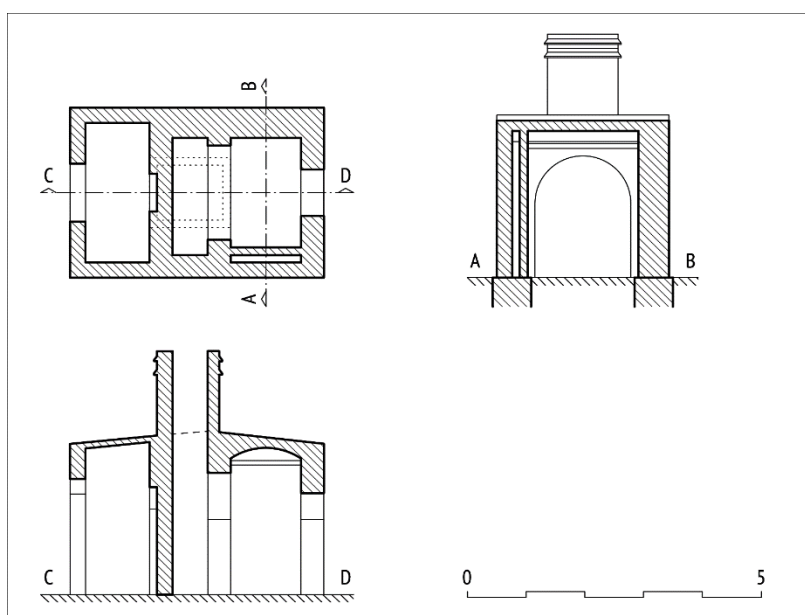


Abbildung 9:

Versuchshäuschen komplett aus Kalksandstein errichtet 1901¹²²

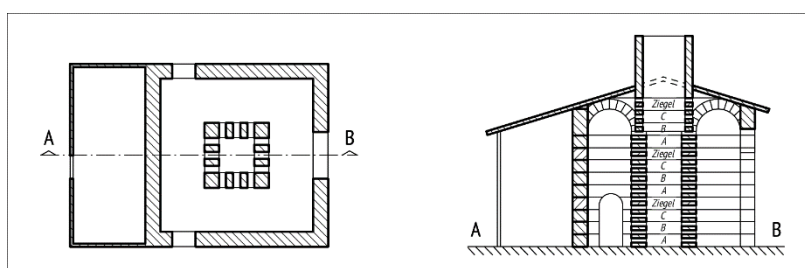


Abbildung 10:

Versuchshäuschen aus Ziegel und Kalksandstein versch. Herstellungsverfahren (Nieder- und Hochdruckverfahren) 1903¹²³

¹²¹ *Feuerbeständigkeit der ...*, wie Anm. 117, hier S. 192.

¹²² *Brandprobe mit ...*, wie Anm. 119, hier S. 489.

¹²³ *Kalksandsteine im Feuer*, in: *Tonindustrie-Zeitung*, Berlin 1903, unbekannter Verfasser, S. 275.

Eine letzte Brandprobe, die an dieser Stelle kurz erörtert werden soll, fand 1903 mit unterschiedlichen Erzeugnissen diverser Kalksandsteinfabrikanten statt. Bei dieser war das technische Verfahren von Bedeutung: *„Die Steine A waren nach dem Niederdruckverfahren hergestellt, während die Steine B und C Hochdrucksteine waren. Die Steine B zeigten sich von feinem, die Steine C von rohem Korn.“*¹²⁴ Wieder bildete ein Versuchshäuschen die Grundlage. Von den einzelnen Sorten wurden jeweils drei Ziegel übereinander gemauert, während rotgebrannte Rathenower Mauersteine als Referenzprodukt und Zwischenlage dienten (s. Abbildung 10). Der Schornstein war in gleicher Weise als Lochmauerwerk errichtet worden, wodurch ein gleichmäßiger Rauchabzug auf der kompletten Höhe gewährleistet wurde. Der eigentliche Versuch vollzog sich wie bei den genannten Vorläufern. *„Niederdrucksteine haben jedoch der Einwirkung der Flamme und des Wassers etwas weniger Widerstand geleistet als die Hochdrucksteine. Die grobkörnigen Steine C waren besser als die feinkörnigen Steine B.“*¹²⁵ Zusammenfassend ist festgehalten worden, dass alle vorgebrachten Produkte mindestens die Haltbarkeit der gebrannten Ziegel aufwiesen.

3.3.3 Bewehrter Beton

Im Gegensatz zu Wänden aus künstlichem Stein, welche in ihrer Feuerbeständigkeit wesentlich von der Dicke und Art des aufgetragenen Putzes abhängig sind, sollte bei Eisenbeton der Einfluss der Betondeckung bestimmt werden. Da gesonderte Brandversuche mit bewehrten Wänden nicht stattgefunden haben, werden hierzu die Ergebnisse der Brandproben an Eisenbetonbauten (Aufbau und Durchführung s. Kapitel 3.8.4) vorgebracht. Wände als raumabschließendes Bauteil haben die Aufgabe, der Ausbreitung eines Brandes in horizontaler Richtung vorzubeugen, weshalb in erster Linie die Wärmeleitung bei diesem Baustoff zu betrachten ist, da *„viele Feuerproben und eine ganze Reihe von Brandfällen [ergeben haben], daß eine schädliche Loslösung von Eisen oder Beton selbst bei großer Hitze und bei plötzlicher Änderung der Temperatur, z. B. durch einen Wasserstrahl, so gut wie gar nicht stattfindet; ebensowenig nimmt die Tragfähigkeit ab.“*¹²⁶

Die Zielsetzung für die Versuche an Eisenbeton war bei allen Versuchsreihen grundsätzlich die gleiche, weshalb neben der Materialzusammensetzung natürlich die Wärmeentwicklung im Fokus lag. Die zahlreichen Temperaturmessgeräte (Thermoelemente im Obergeschoss und Quecksilberthermometer unten) wurden dazu in den Obergeschossen jeweils im oberen und unteren Bereich des Raumes in unterschiedlichen Tiefen in die umfassenden Wände eingebracht (s. Abbildung 44).¹²⁷ Die Messpunkte lieferten während der Brände stets aktuelle Werte, sodass ein Temperaturverlauf aufgezeichnet werden konnte.

Zwar wurde bei Haus III, also dem Basaltbeton, die Höchsttemperatur bereits nach einer halben Stunde erreicht, doch die größte Erwärmung im Betoninneren registrierte man erst über eine Stunde später. Es wurde zusammenfassend vermerkt, *„daß nach einer Stunde die Erwärmung unabhängig von der Höhe der Betonüberdeckung in der Minute um 1 bis 2° zunimmt. Sogleich nach*

¹²⁴ Kalksandsteine im ..., wie Anm. 123, hier S. 275.

¹²⁵ Ebd.

¹²⁶ Reddemann, B., Die Fürsorge ..., wie Anm. 79, hier S. 17.

¹²⁷ Gary, M., Brandproben an ..., wie Anm. 97, hier S. 27.

*Beseitigung der Wärmequelle fällt aber auch die Innenwärme des Betons.*¹²⁸ Demgegenüber wichen die Temperaturen der größeren Betonüberdeckungen von 7, 14 und 17 cm im Erdgeschoss kaum voneinander ab, stiegen aber sogar noch nach dem Ablöschen weiter an (s. Tabelle 15).

Die Wärmeentwicklung in dem Granitbetonhaus IV weist ähnliche Erscheinungen auf. Besonders deutlich scheint hier der Unterschied zwischen der Wärmeleitfähigkeit des Eisenbetons und des Stampfbetons (s. Tabelle 17). Dieser ist jedoch – wie in Kapitel 3.8.4 weiterführend begründet – unerheblich für eine realitätsbezogene zweckentsprechende Beurteilung und kann von daher vernachlässigt werden. *„Die vor dem Versuch in die schilderhausähnlichen Anbauten [der beanspruchten Umfassungswände] eingebrachte trockene Holzwolle erlitt keine sichtbaren Veränderungen“*¹²⁹ und bestätigt dadurch die geringe Wärmeleitfähigkeit der Wände aus bewehrtem Beton.

3.4 Brandproben an Stützen

3.4.1 Holz

Die negativen Erfahrungen, welche das Verhalten von ungeschützten eisernen Tragkonstruktionen bei Bränden betrifft, warfen natürlich Fragen zur Feuersicherheit alternativer Möglichkeiten auf. Wie im Kapitel 3.2.1 bereits erwähnt, erwiesen sich hölzerne Stützwerke in diesen Fällen durchaus als zuverlässig. Der Brand eines Lagerhauses in England im Jahre 1885 regte den Londoner Feuerwehrvorstand Captain Shaw zu einem praktischen Versuch an Holzstützen an. Das dort *„[entstandene] Feuer wütete 5 Stunden lang, bis es gelöscht und ein sehr großer Theil des Gebäudes nebst seinem Inhalt gerettet wurde. Das Lagerhaus hatte Ziegelsteinmauern, aber hölzerne Flure, die auf Holzbalken ruhten, welche wiederum von etwa 12 Zoll starken Holzpfosten getragen wurden. Obgleich das Feuer viel Schaden that, wurde doch kein Theil des schweren Holzwerks zerstört.“*¹³⁰ Nach dem Löschen des Brandes trennte man einen Teil des Tragwerkes heraus (Pfosten, Holm, Tragbalken, Schwelle etc.), welcher dem Feuer ungefähr viereinhalb Stunden ausgesetzt war. Ebendiese Teilrekonstruktion wurde an einem neuen Ort wiedererrichtet und mit über einer Tonne eines petroleumgetränkten Stapels aus Brennholz und Spänen umfasst und angezündet. Nachdem die Bauteile zweieinhalb Stunden erneut dem Feuer ausgesetzt waren, wurden sie *„aus diesem Feuer genommen, und wenige Minuten nachdem dies geschehen, hörten sie auf zu brennen.“*¹³¹ Die anschließende Analyse ergab, dass der Fichtenholzpfosten *„in seinem Kern eine so große Menge noch ganz unbeschädigten und augenscheinlich frischen Holzes enthielt, daß sie wahrscheinlich genügt haben würde, das ganze Gewicht zu tragen, welches der Pfosten überhaupt ursprünglich tragen sollte.“*¹³² Trotz der recht geringen Aussagekraft, die durch diesen gesonderten Versuch getroffen werden konnte, animierte

¹²⁸ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 33.

¹²⁹ Ebd., hier S. 40.

¹³⁰ *Ueber das ...*, wie Anm. 68, hier S. 192.

¹³¹ Ebd.

¹³² Ebd. Es ist anzunehmen, dass der Kern nach der siebenstündigen Belastung im Feuer noch aus ca. acht Zoll unbeschädigtem Holz bestand, da die Außenfläche bis zu höchstens zwei Zoll zerstört werden könne.

das Ergebnis auch im deutschen Raum den Einsatz hölzerner Stützen zu überdenken und weitere Forschung in diesem Bereich anzustreben.

Hier wurden ab 1891 Versuche mit Speicherstützen unternommen – die im Kapitel 3.4.2 ausführlicher erläutert sind – wobei sich ein Teil der Probereihe mit Holzstützen befasste.¹³³ Dabei kamen sowohl Kiefern- als auch Eichenholzstützen zum Einsatz, welche jeweils einen Querschnitt von 30 cm und eine Länge von 5,5 m aufwiesen. Zu Beginn erfolgte im kalten Zustand ein Belastungsversuch, bei welchem die aufzubringende Last auf Grundlage der Formel:

$$P = \frac{n \times m \times E \times J}{l^2}$$

errechnet wurde.¹³⁴ Demnach wurden die Stützen im nachfolgenden Feuerversuch mit einem hydraulischen Druck von 50,5 Atmosphären belastet, der durch konstantes Nachpumpen während des Tests auch gehalten werden konnte.

Diese Brandprobe erfolgte gleichermaßen wie im nächsten Kapitel beschrieben, sei aber an dieser Stelle kurz erklärt: Die eingespannte Stütze wurde auf ihrer freien Länge durch einen gasbetriebenen Ofen erhitzt, der wie ein Mantel das Versuchsobjekt umfasste. Die Durchführung erfolgte bis zum Bruch der Holzstützen (s. Tabelle 3), woraufhin diese abgelöscht und erneut erwärmt wurden bis eine Flammenbildung zu erkennen war. Zur Bestimmung der Auswirkungen durchsägte man sie anschließend der Länge nach (s. Abbildung 11).

Gruppe	No. der Stütze	Art der Stütze	Größte Ofenwärme in Celsiusgraden	Verlust der Tragfähigkeit nach	Geringste Stärke des nicht verkohlten Holzes
I	1	Föhrenholz	ca. 900°	1 Std. 7 Min.	23 cm
	4	Föhrenholz	950° - 1000°	1 Std. 9 Min.	/
II	2	Föhrenholz mit Blechmantel	900° - 1000°	51 Min.	/
III	3	Eichenholz	950° - 1000°	1 Std. 21 Min.	24 cm
	5	Eichenholz	ca. 1000°	1 Std. 38 Min.	24 cm
	6	Eichenholz	zwisch. 620° u. 850°	1 Std. 5 Min.	25,5 cm
	7	Eichenholz	zwisch. 850° u. 950°	1 Std. 19 Min.	24 cm

Tabelle 3: Resultate der einzelnen Brandversuche an Holzstützen

Die Schlussfolgerungen, die man letztendlich zog, waren durchaus überraschend. Man stellte erstmals fest, „daß das nicht verkohlte Holz durch die Einwirkung der Wärme in seiner ursprünglichen Festigkeit herabgemindert ist.“¹³⁵ Dies widerlegte die Annahme Shaws, der augenscheinlich unveränderte Holzkern sei in seinem kompletten Querschnitt noch vollkommen tragfähig. Die Verringerung der mechanischen Belastbarkeit verhielt sich nicht proportional zur Verkohlung des Querschnitts. Bei dem stattgefundenen Versuch „würde sich infolge der Verkohlung die

¹³³ *Vergleichende Versuche über die Feuersicherheit von Speicherstützen*, Hamburg 1894, unbekannter Verfasser, S. 30-33.

¹³⁴ Dabei bezeichnet n = Sicherheitskoeffizient = 0,1; $m = \pi^2 \approx 10$; E = Elastizitätsmodulus = 110 t (Kiefernholz) bzw. 117 t (Eichenholz); J = Trägheitsmoment; l = frei Länge der Stützen zwischen den Plattformen = 3,5 m

¹³⁵ *Vergleichende Versuche ...*, wie Anm. 133, hier S. 33.

ursprüngliche 10fache Sicherheit herabgemindert haben für die Föhrenen Stützen auf eine 3,5fache, für die eichenen Stützen auf eine 4,3fache.“¹³⁶ Des Weiteren zeigte sich, „daß die Widerstandsfähigkeit von Föhrenholzstützen gegen Feuer durch einen Blechbeschlag nicht vortheilhaft beeinflusst wird“¹³⁷, auch wenn diese Aussage lediglich auf dem Ausgang einer einzigen Probe beruht. Erwartungsgemäß war allerdings die Überlegenheit des Eichenholzes gegenüber dem Kiefernholz bezüglich der mittleren Dauer der Tragfähigkeit. Zwar bestätigte die Versuchsreihe die berechnete Existenz hölzerner Stützen im Bereich des Brandschutzes, zeigte jedoch auch die starke Abhängigkeit des Feuerwiderstandes von der Beschaffenheit bzw. Qualität des vorliegenden Holzes.

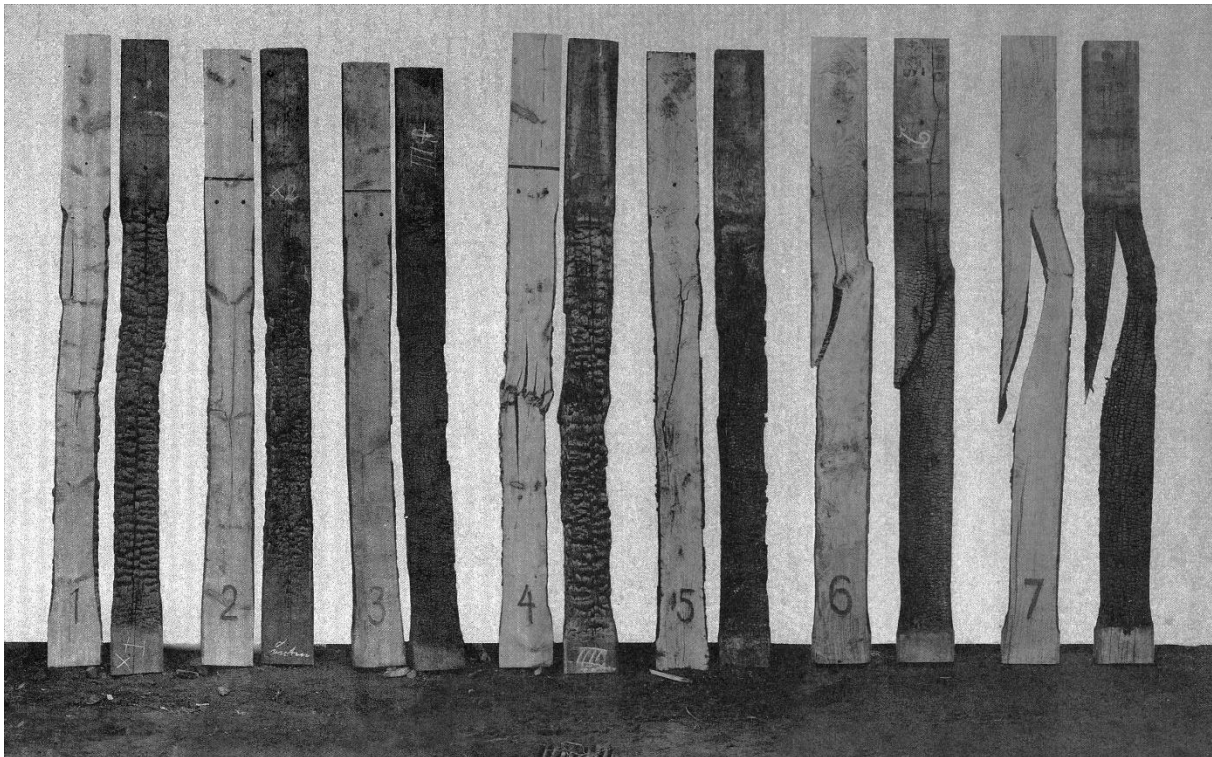


Abbildung 11: Längsschnitte durch Holzstützen nach der Brandprüfung: (1) unummantelte Föhrenholzstütze, (2) blechbeschlagene Föhrenholzstütze, (3) unummantelte Eichenholzstütze, (4) unummantelte Föhrenholzstütze, (5-7) unummantelte Eichenholzstütze¹³⁸

3.4.2 Eisen

Die im Industriebau häufig angewendete Eisenkonstruktionsbauweise etablierte sich vor allem im ausgehenden 19. Jh. auch im innerstädtischen Bereich. Die einfache Fertigung schmaler eiserner Fertigteile ermöglichte eine effiziente Flächennutzung in Form des Geschossbaus und

¹³⁶ *Vergleichende Versuche ...*, wie Anm. 133, hier S. 33. Die Tragfähigkeit wurde ebenfalls mit der o.g. Formel bestimmt.

¹³⁷ Ebd.

¹³⁸ Ebd., hier S. 58-60 – Tafel 14-16.

variable Raumnutzung.^{139,140} Daraus ging unter anderem die konventionelle Anwendung hervor, Wohnhäuser mit Geschäfts-, Waren- oder Lagereinheiten im Erdgeschoss auszuführen. Dementsprechend erregte eine Bekanntmachung des Berliner Polizeipräsidioms im April 1884 Aufsehen, „nach welcher in Gebäuden, deren untere Geschosse zu Geschäfts- und Lagerzwecken und deren obere Geschosse zu Wohnzwecken benutzt werden, gußeiserne Säulen, welche gegen die unmittelbare Einwirkung des Feuers nicht geschützt sind, unter den Tragew

XIII Über das Verhalten gußeiserner, schmiedeeiserner und steir

XIII Über das Verhalten gußeiserner, schmiedeeiserner und stemeisener Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung [Anspritzen]

Gußeiserne und schmiedeiserne Säulen.

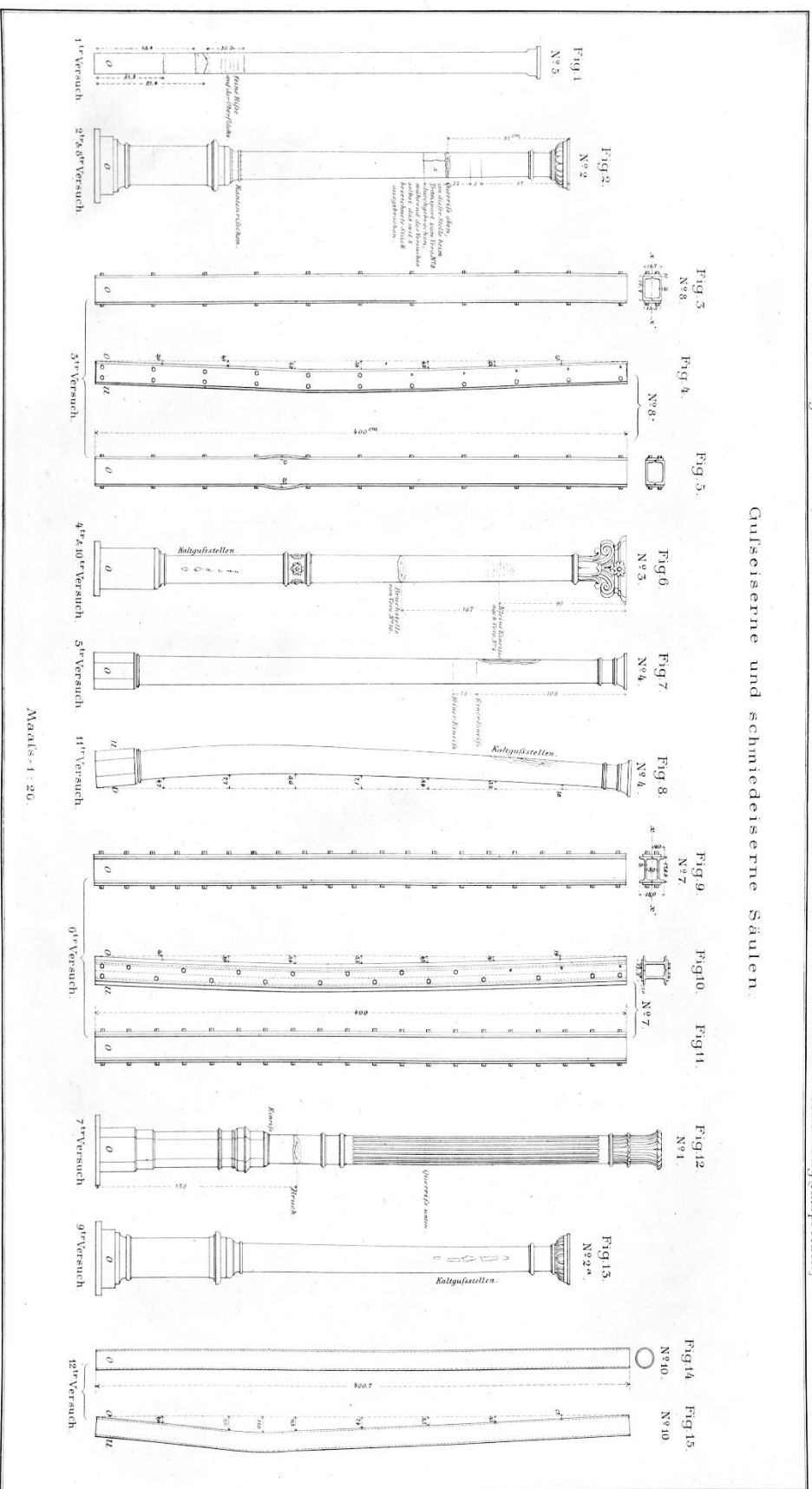


Abbildung 13: Verformung der jeweiligen Stützen nach dem Versuch¹⁴⁵

¹⁴⁵ Bauschinger, J., *Ueber das ...*, wie Anm. 142, hier S. 2 - Anhang.

Die Brandprobe wurde 1885 im Mechanisch-technischen Laboratorium der Königlich technischen Hochschule in München durchgeführt. Zur Ermittlung der Materialbeständigkeit aller Stützen nutzte man die „Werder'sche Material-Prüfungsmaschine.“ Diese Vorrichtung war ursprünglich für reine Festigkeitsprüfungen unabhängig von Temperaturänderungen vorgesehen und als „100-Mp-Universalprüfmaschine für Zug-, Druck-, Biege-, Torsion-, Schub-, Abscher- und Zerknickversuche in liegender Bauart, mit hydraulischer Kraftherzeugung und Kraftmessung durch Hebelwaage“¹⁴⁶ definiert. Angesichts des Ziels, welches die Widerstandsfähigkeit der Säulen im Brandfall aufzeigen sollte, wurden zusätzlich „Feuerungskörbe“ entlang der waagrecht eingespannten Stütze installiert (s. Abbildung 12).¹⁴⁷ Darin entfachte man bei insgesamt 27 Versuchsläufen ein Holzfeuer, welchem jeweils die Unterseiten der zu prüfenden Körper ausgesetzt waren. Zwar ist die einseitige Erwärmung konstruktionsbedingt bindend gewesen, simuliere jedoch die ungünstigeren und realistischeren Bedingungen. Ebenso verhält es sich mit der anschließenden „Abkühlung durch Anspritzen.“ Das entgegengesetzte Löschwasser von oben brächte sogar größere Temperaturdifferenzen innerhalb des Materials. Die Temperaturmessung erfolgte durch Schmelzproben verschiedener Zinn- bzw. Silber-Blei-Legierungen (Schmelzpunkte 300 °C – 600 °C). Die allerdings wichtigere Frage bezog sich auf die Verformung der Stützen, die mittels einer Messvorrichtung bestimmt wurde, indem sie die vertikale und horizontale Durchbiegung aufzeichnete.

„Wie schon gesagt, wurden die Säulen auf ihr Verhalten im Feuer und bei nachfolgender Abkühlung untersucht, indem sie in die Prüfungsmaschine mit der Belastung eingespannt wurden, die ihnen in Wirklichkeit zugemuthet werden dürfte. Diese Belastung wurde für die guss- und schmiedeisenen Säulen mittelst der Formel berechnet:

$$P = \gamma \beta_0 F \frac{1}{1 + \chi \frac{F l^2}{\Theta}}$$

wo β_0 die Druckfestigkeit des Materials für Würfelform, F den Flächeninhalt und Θ das Trägheitsmoment des Querschnitts in der Mitte, l die Länge der Säule und γ den Sicherheits-Coefficienten bedeutet, der gleich $\frac{1}{5}$ gesetzt wurde. Der Coefficient χ wurde für gußeiserne Säulen, bei denen der Excentrität Rechnung getragen werden muss, nach meinen früheren Versuchen [...] gleich 0,0006, für schmiedeiserne nach Laissle und Schübler gleich 0,00009 angenommen. Die Druckfestigkeit β_0 kann für Gusseisen gleich 7000, für Schmiedeisen gleich 4000 gesetzt werden. – Bei den Steinsäulen wurde als zulässige Belastung einfach der 20^{te} der Bruchlast genommen, unter der ein Würfel von gleichem Material und einem Querschnitt gleich dem in der Mitte der Säule zerdrückt werden würde.“¹⁴⁸

Die Messungen der ersten zwölf Tests an Eisenstützen ergab ein damals überraschendes Ergebnis, welches die eingangs erwähnte polizeiliche Bekanntmachung vollkommen widerlegte. Hiernach

¹⁴⁶ Piersig, W., *Erinnerungen an Johann Ludwig Werder anlässlich seines 125. Todestages*, München/Ravensburg 2013, S. 2. Die hydraulische Krafteinwirkung machte diesen Versuch überhaupt erst möglich. Viele Festigkeitsversuche im 19. Jh. wurden mit aufgelegten Gewichten bewerkstelligt, welche eine regelmäßige Kraftverteilung – gerade bei teilweisem Versagen eines Bauteils – nicht gewährleisteten.

¹⁴⁷ Bauschinger, J., *Ueber das ...*, wie Anm. 142, hier S. 1ff.

¹⁴⁸ Ebd., hier S. 4.

bogen sich beide Arten erwartungsgemäß schon bei teilweise unter 600 °C, wobei das Anspritzen dieses Verhalten begünstigte. „Ein förmlicher Bruch, oder auch nur ein Entstehen von Rissen findet [bei Schmiedeeisen] nicht statt, aber die Tragkraft der sich fort und fort durchbiegenden Säule sinkt weit unter diejenige herab, die ihr im kalten Zustande mit Sicherheit zugemuthet werden darf; die auf ihr ruhenden Konstruktionen müssen zusammenstürzen.“¹⁴⁹ Widerstandsfähiger verhält sich dahingehend Gusseisen, das die Formänderung nur bis zu einem gewissen Grad vollzieht „und die Säule hört nie auf, die ihr auferlegte Last zu tragen, selbst dann nicht, wenn sie in Folge des Anspritzens Risse, oft sehr bedeutende Risse erhalten hat. Während des Abkühlens, noch während des Anspritzens, richtet sie sich wieder vollständig oder nahezu gerade.“¹⁵⁰ Eine weitere kleinere Versuchsreihe zwei Jahre später ergänzte die vorhergehenden Aussagen um den Aspekt, „dass die Bestandtheile solcher [schmiedeeisernen] Säulen so durch Nieten verbunden werden, dass dieselben, in gehörig kleinen Entfernungen von einander stehend, Reihen bilden, welche durch die ganze Länge der Säule ununterbrochen fortlaufen. Für den Querschnitt dürfte die Kastenform der Kreuzform vorzuziehen sein“ (s. Abbildung 13).¹⁵¹

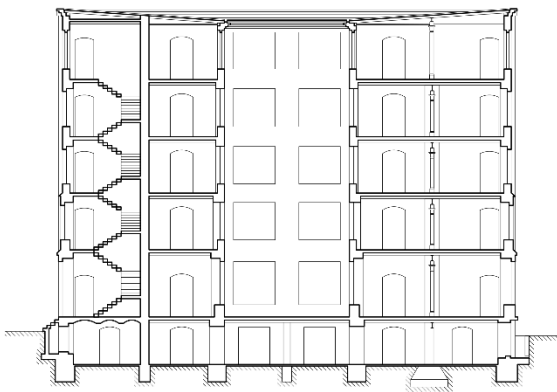


Abbildung 14: Querschnitt des Berliner Lagerhauses mit einem Innenhof der einen Kamineffekt während des Brandes begünstigte¹⁵²



Abbildung 15: Blick in den Innenhof und Ostflügel nach dem Brand¹⁵³

¹⁴⁹ Bauschinger, J., *Ueber das ...*, wie Anm. 142, hier S. 18.

¹⁵⁰ Ebd., hier S. 19. Demnach könne ein Brechen der gusseisernen Stütze vermieden werden, wenn ingenieur-/bautechnische Vorgaben eingehalten werden und die Ausübung der Brandbekämpfung im Realfall sachgemäß verläuft. Die erfolgte Rissbildung sei unabhängig von der Gestalt bzw. Ornamentik der Säulen.

¹⁵¹ Bauschinger, J., *Ueber das ...*, wie Anm. 74, hier S. 10.

¹⁵² Launer, O., *Der Brand des Lagerhauses in der Kaiserstraße in Berlin*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1887, S. 418.

¹⁵³ Ebd., hier S. 419.

Die konstruktiv ungenügende Statik eiserner Stützen im Feuer fand in Anbetracht auf das Ziel der Versuche nur wenig Ausdruck. Schwerwiegende Brände in hauptsächlich gewerblichen Anlagen prägten die folgenden Jahrzehnte diesbezüglich. Einleitend die Brände des Lagerhauses in der Kaiserstraße in Berlin am 2. Oktober 1887 (s. Abbildungen 14 und 15) und des Staatsspeichers am Santhorkai in Hamburg am 20. April 1891 machten eine Fortsetzung ähnlicher Untersuchungen notwendig.^{154,155}

„Zur Lösung der aufgeworfenen Frage, ob eine abweichende Gestaltung des bis dahin im städtischen Freihafengebiet einheitlich in Schmiedeeisen durchgeführten inneren Speicherausbaus in Bezug auf seine Feuersicherheit rathsam sei,“¹⁵⁶ wurden Brandprüfungen mit alternativen Ausführungen zur Erhöhung der Feuersicherheit von solchen Stützen veranlasst. Begonnen hatte man eine Versuchsreihe im August 1892 in Hamburg, die eine Ausbetonierung der Stützen auf ihre Belastbarkeit testen sollte. Die Ergebnisse ließen allerdings vorzeitig den Schluss zu, „daß eine innere Betonausfüllung für die Erhöhung der Feuersicherheit schmiedeeiserner Stützen keine für die Praxis genügenden Vortheile bietet.“¹⁵⁷ Aus diesem Grund soll an dieser Stelle auf eine weitere Erläuterung der einzelnen Experimente verzichtet werden.

Aufschlussreicher waren allerdings die Versuche mit entsprechenden Ummantelungen, die nach dem vorgenannten ernüchternden Ergebnis vorgeschlagen und im September und Oktober 1893 ausgeführt wurden. Der Aufbau der Prüfmaschinerie unterschied sich maßgeblich von den acht Jahre vorher stattgefundenen Tests, indem die Stützen hierbei senkrecht in eine hydraulische Presse eingespannt wurden (s. Abbildung 16).¹⁵⁸ Man hatte außerdem statt einer Holzbefuerung einen regulierbaren gasbetriebenen Ofen zur partiellen Erwärmung der Probeobjekte verwendet. Dieser konnte zweiteilig aufgeklappt werden und umschloss während der Versuche die Stützen in einem solchen Maß, dass ein Durchzug der Luft weiterhin gewährleistet blieb.

Nach anfänglichen Kaltversuchen wurden die eisernen Stützen mit ca. 1000 kg/cm² zentrisch eingespannt und auf ihren Feuerwiderstand möglichst gleichartig untersucht. Die Ausführung aller Beobachtungen der zur Verwendung gekommenen Ummantelungen ist auch hier nicht sinnvoll. Die Ergebnisse lassen sich der Tabelle 12 entnehmen (s. Abbildungen 17 und 18). *„Eine Zusammenfassung der [...] Ausführungen ergibt,*

daß Ummantelungen die Widerstandsfähigkeit von Eisenconstructions gegen die Angriffe des Feuers in beträchtlichem Maaße zu erhöhen im Stande sind und

daß von den geprüften Anordnungen unter Berücksichtigung des Wärmeleitungsvermögens und der Widerstandsfähigkeit gegen Anspritzen:

in erster Linie die aus patentiertem Korkstein, Xylolith und Blech zusammengesetzte Constructionen bzw. diejenigen aus patentirtem Korkstein, Holz und Blech und

¹⁵⁴ Launer, O., *Der Brand ...*, wie Anm. 152, hier S. 417–420.

¹⁵⁵ *Vergleichende Versuche ...*, wie Anm. 77, hier S. 246.

¹⁵⁶ *Vergleichende Versuche ...*, wie Anm. 133, hier S. 5.

¹⁵⁷ Ebd., hier S. 18.

¹⁵⁸ Ebd., hier S. 9f; 21.

in zweiter Linie die Monierconstruction mit 4 cm dicken Wandungen für Ummantelungen von Eisenconstructions in Speichern in Frage kommen.“¹⁵⁹

Eine Prüfung der entsprechenden Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Konstruktion wurde hiernach zwar empfohlen, die gewonnenen Erfahrungen aus diesen Prüfungen ist allerdings als großer Fortschritt zu verbuchen. Während die Versuchsreihe von 1885 „lediglich“ das gleiche ungünstige Verhalten von ungeschützten eisernen Stützen jeder Art bestätigte, boten die hierbei gemachten Feststellungen konkrete erwiesene Lösungsvorschläge.

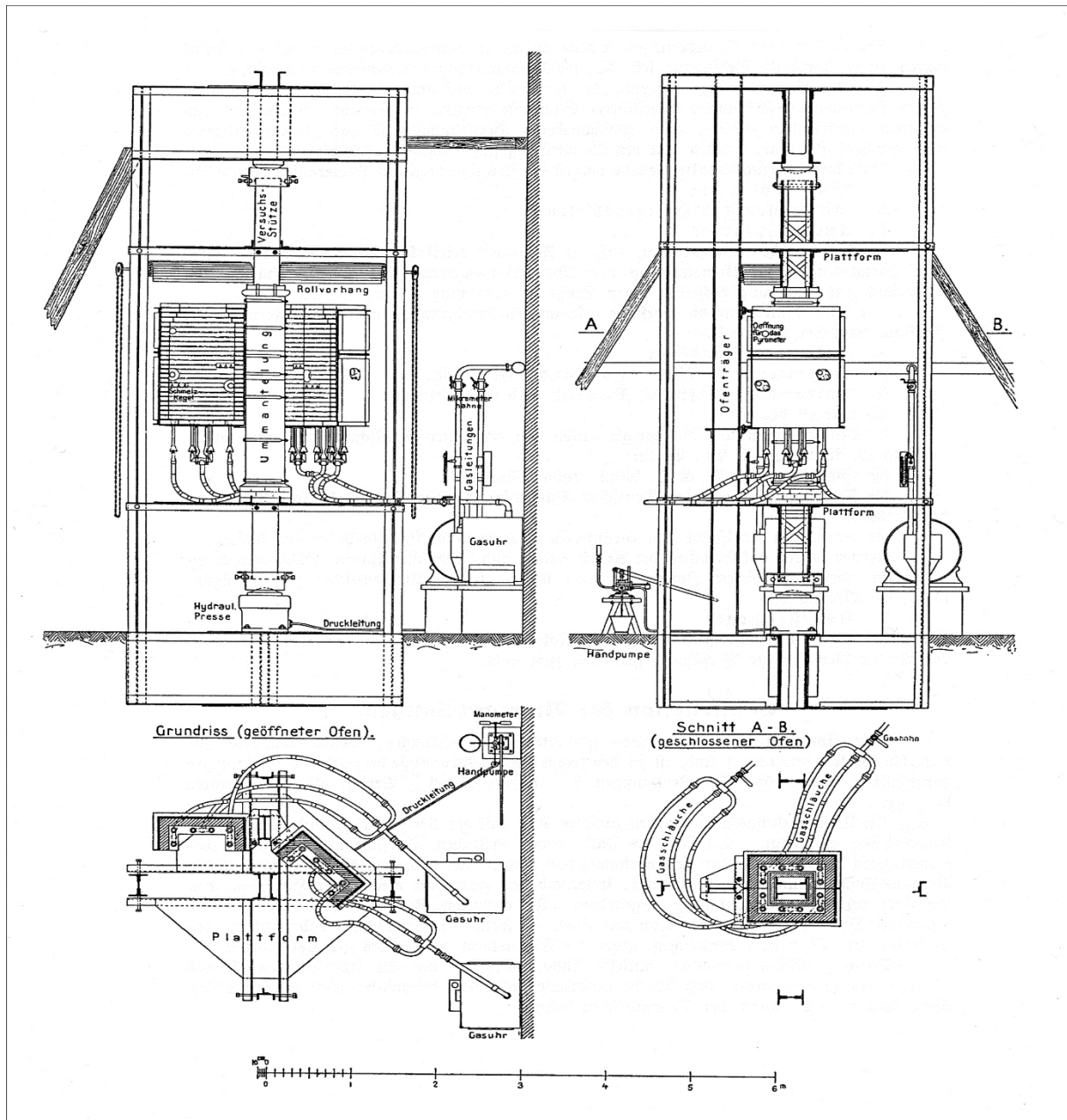


Abbildung 16: Versuchsvorrichtung für die Brandprüfungen der ummantelten eisernen Stützen¹⁶⁰

¹⁵⁹ Vergleichende Versuche ..., wie Anm. 133, hier S. 30.

¹⁶⁰ Ebd., hier S. 20.

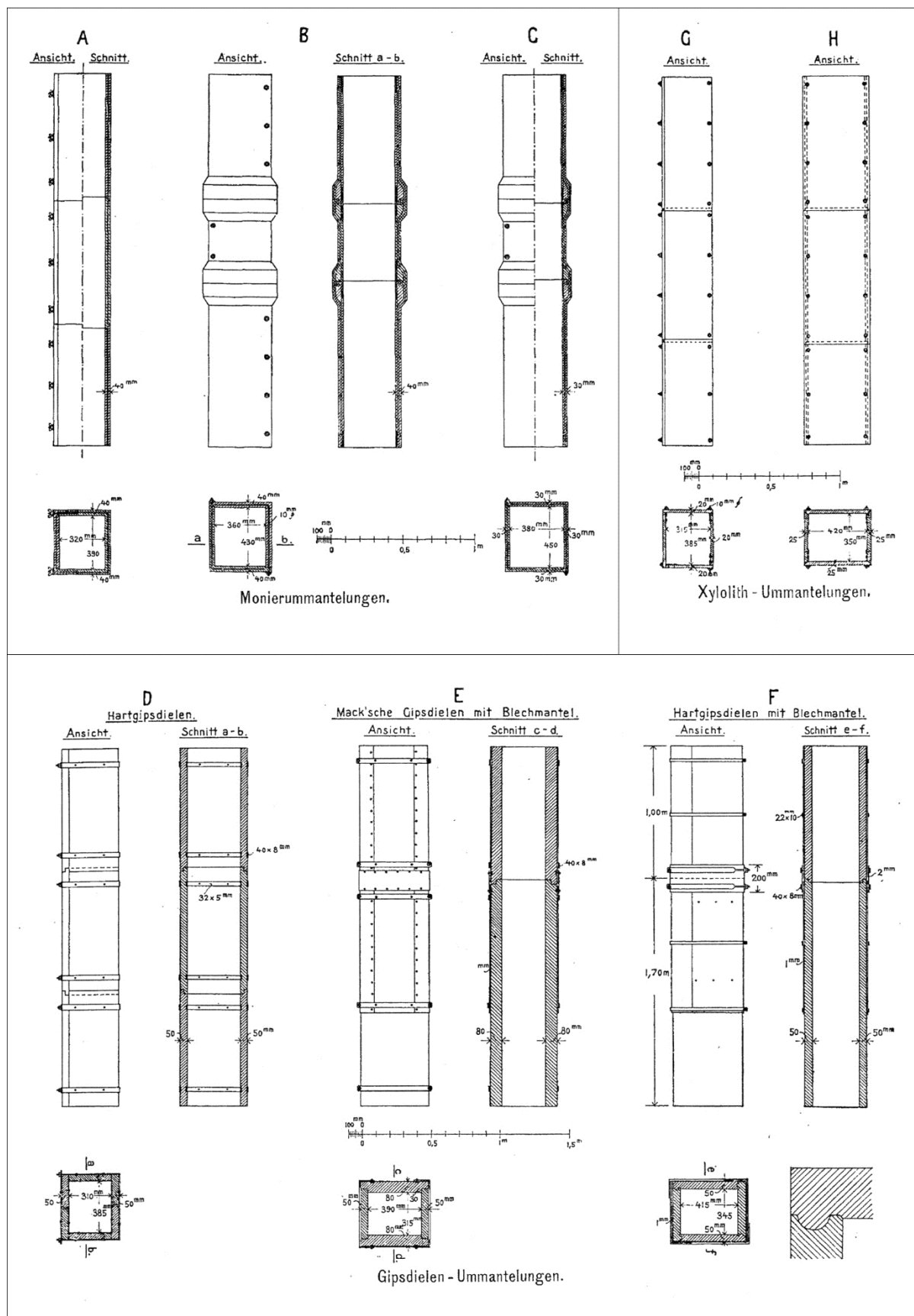


Abbildung 17: Untersuchte Ummantelungen der Gruppen I bis III¹⁶¹

¹⁶¹ Vergleichende Versuche ..., wie Anm. 133, hier S. 24f.

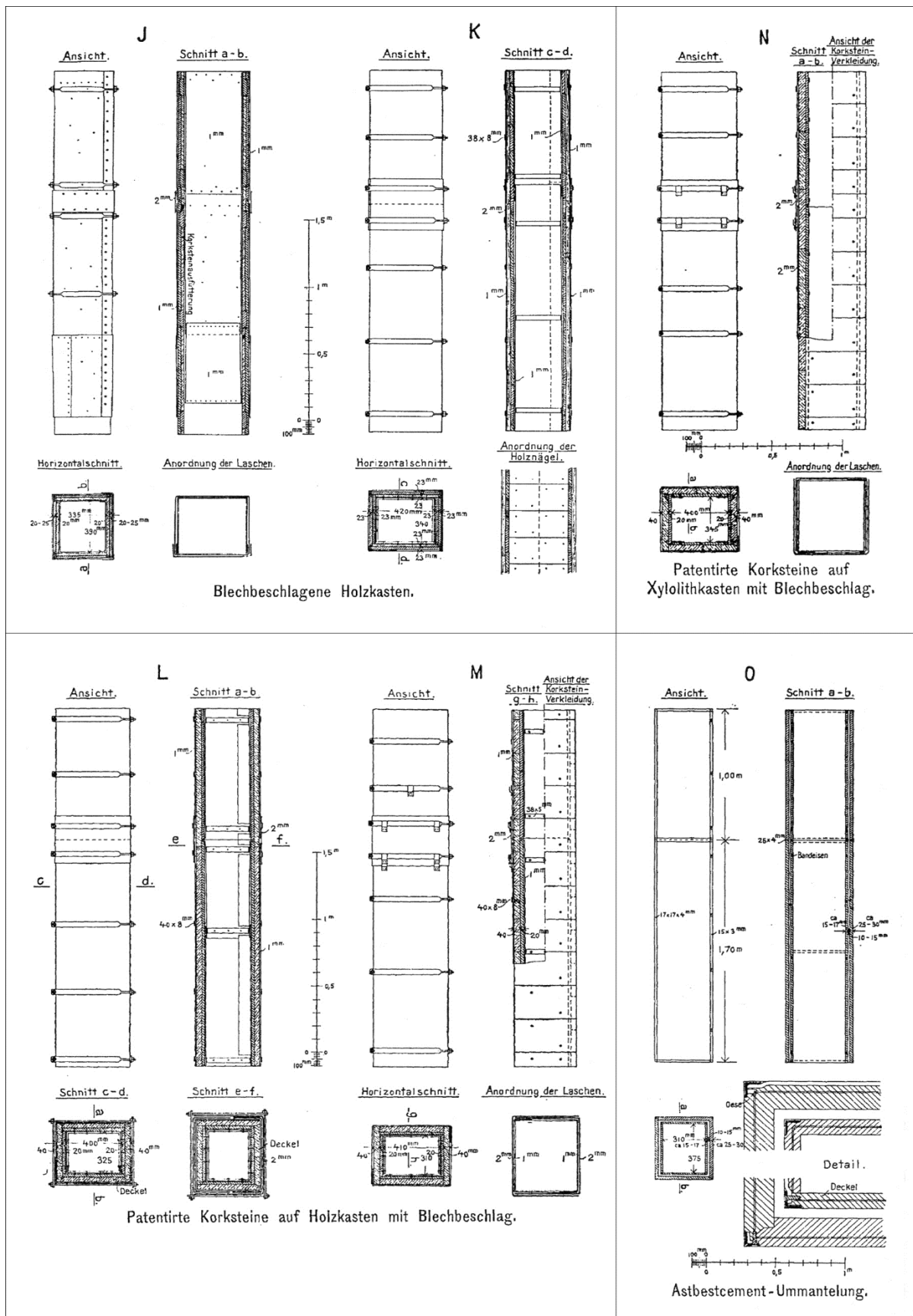


Abbildung 18: Untersuchte Ummantelungen der Gruppen IV bis VII¹⁶²

¹⁶² Vergleichende Versuche ..., wie Anm. 133, hier S. 26–28.

3.5 Brandproben an Treppen

3.5.1 Natürlicher und künstlicher Stein

Im Gegensatz zu anderen Bauteilen dienen Treppen nicht der Vorbeugung einer Brandausbreitung, sondern werden für die vertikale Erschließung der Stockwerke benötigt. Somit sind sie von besonders großer Bedeutung in Brandfällen, um die Rettung von Menschen zu ermöglichen und Angriffswege für die Feuerwehr zu bieten.¹⁶³ *„Die Sicherung der Treppen gegen Feuer wird mit Recht als eine der Hauptforderungen angesehen, die an ein von Menschen bewohntes Gebäude zu stellen sind.“*¹⁶⁴ Die Anforderungen an „unverbrennliche“ und „massive“ Treppen im 19. Jh. scheinen jedoch lange Zeit missverstanden zu sein, da diese Eigenschaften nicht zwingend einen erhöhten Feuerwiderstand garantierten (s. Kapitel 4.1).¹⁶⁵ Dies zeigte sich anschaulich in Brandversuchen, die zusammenhängende Treppen aus verschiedenen Materialien unter den gleichen Bedingungen testeten.

Eine Prüfung freitragender Stufen fand im Februar 1893 in Berlin statt. Die beiden, sich über zwei Stockwerke erstreckenden Treppen bestanden, *„am Podest des I. Stockwerks beginnend, aus:*

12 Kunstsandsteinstufen mit Eiseneinlage,

3 Winkelstufen aus Granit und

1 Kunstsandsteinstufe ohne Eiseneinlage

Der Treppenlauf im II. Stockwerk bestand, von dem hier befindlichen Podest beginnend, aus:

6 Kunstsandsteinstufen mit Eiseneinlage,

1 Granitstufe und

*9 zusammenhängenden Stufen aus Eisenblech mit Holzbelag.“*¹⁶⁶

Von Belang ist hierbei vor allem das Verhalten der Stufen aus Kalksandstein und Granit, welche 30 min einer Hitze von ca. 1300 °C ausgesetzt waren. Nach dem Brand wurde festgestellt, dass alle Granitstufen gesprungen und in Stücken herabgefallen waren. Dadurch hing die lediglich aufgelegte Eisenblechtreppe an der Wand herab und wurden aufgrund des offensichtlichen Fehlers bei der Konstruktion leider nicht weiter dokumentiert (s. Abbildung 19). *„Von den 6 Kunstsandsteinstufen im II. Stockwerk waren die 1. Und 3. Stufe ganz unversehrt, während zwei Stufen einen Längssprung aufwiesen. An allen anderen Stufen, auch an denjenigen des Treppenlaufes im I. Stockwerk, waren an der Stirnseite mehr oder weniger Stücke des Kunstsandsteines abgeplatzt, so daß die Eiseneinlagen frei lagen. [...] Im Uebrigen waren an den Kunstsandsteinstufen keinerlei*

¹⁶³ Musterbauordnung (MBO): §14 - Brandschutz, Fassung November 2002, zuletzt geändert am 13.05.2016. „Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und in Stand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.“

¹⁶⁴ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 65.

¹⁶⁵ *Hrn. Bauinspector P. in S.*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1885, unbekannter Verfasser, S. 480.

¹⁶⁶ Stude, A. u. M. Reichel, *Bericht über die am 9., 10. und 11. Februar 1893 in Berlin vorgenommenen Prüfungen feuersicherer Baukonstruktionen*, Berlin/Heidelberg 1893, S. 24.

*Veränderungen wahrzunehmen, auch konnte die Treppe wie vor dem Brande begangen werden. [Sie] haben sich bewährt und müssen als durchaus feuersicher bezeichnet werden.*¹⁶⁷

Natürliche Gesteine (insbesondere feste) bilden bei großen Temperaturänderungen schnell Risse und zerspringen häufig. Sie sind deshalb für (freitragende) Treppen aus brandschutztechnischer Sicht ungeeignet. Zahlreiche positive Beobachtungen bei Treppen aus künstlichem Stein hingegen bestätigen das Versuchsergebnis, da sie als Flucht- und Rettungsweg über eine lange Zeit erhalten bleiben.¹⁶⁸



Abbildung 19: Befund der hängenden Eisenblechtreppe und der Kunststeinstufen¹⁶⁹

3.5.2 Bewehrter Beton und Eisen

Der tatsächliche Feuerwiderstand von „unverbrennlichen“ Bauteilen kann ebenfalls anhand der 1914 durchgeführten Brandproben mit Eisenbetonbauten veranschaulicht werden (s. Kapitel 3.8.4). Da ein wesentlicher Bestandteil des damaligen Arbeitsplanes darin bestand, den Kamineffekt eines Treppenraumes zu simulieren, waren in zwei Versuchsgebäuden *„Treppen mit gewundenem und gebrochenem Lauf und Podest [verwendet worden] und zwar:*

- 1) Kunststeinstufen mit Eiseneinlagen, sowie natürlicher Sandstein, im Haus III,*
- 2) Eisenbetonstufen und [...] Schmiedeeisentreppe im Haus IV.*¹⁷⁰

Daraus wird ersichtlich, dass im Haus III ein ganz ähnlicher Test stattfand wie bereits 1893 (s. Kapitel 3.5.1). Die Resultate waren hier erwartungsgemäß die gleichen wie auch schon zwei

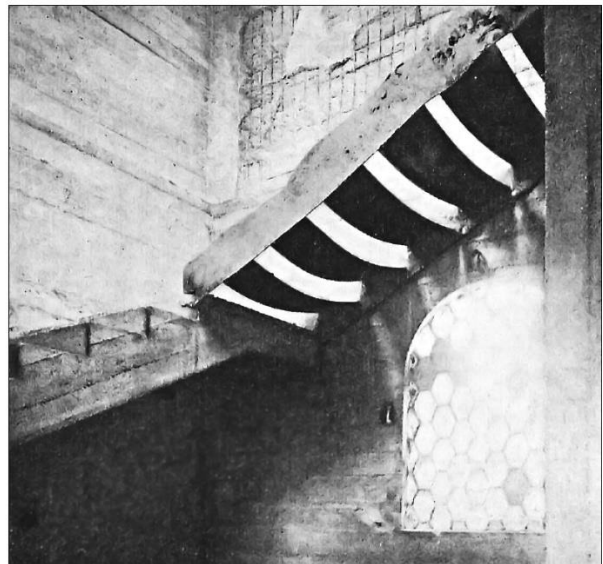
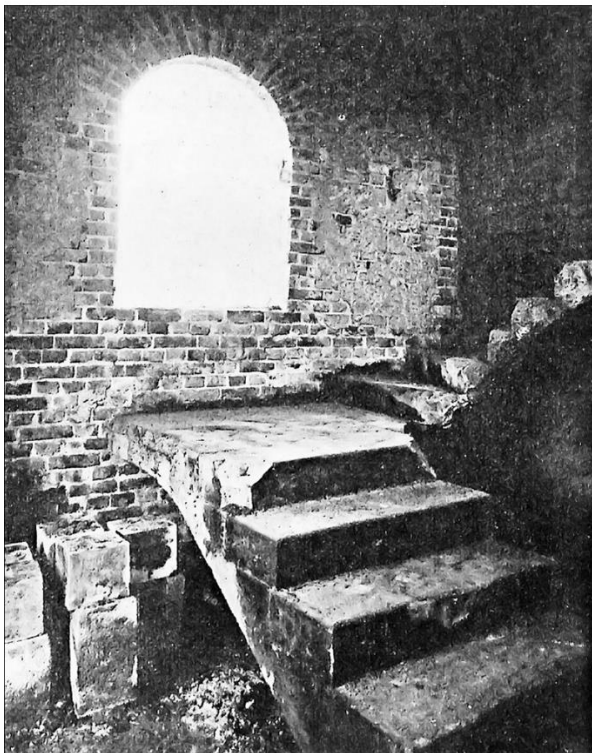
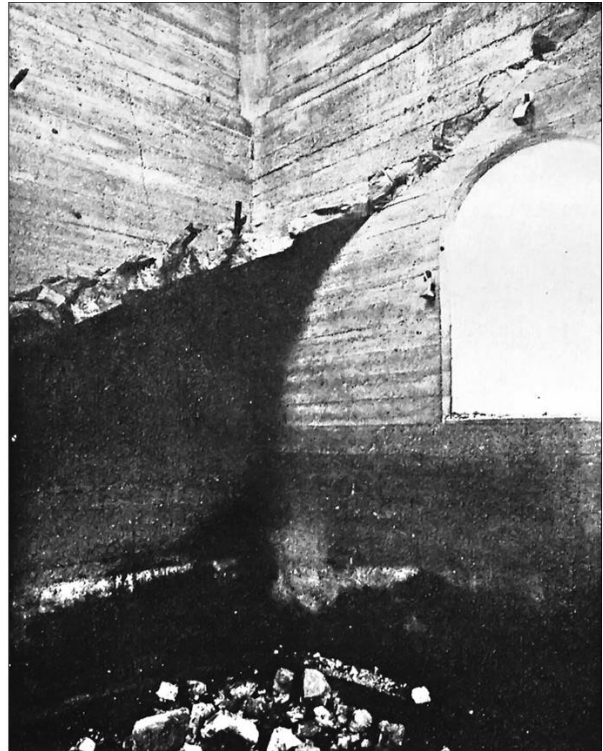
¹⁶⁷ Stude, A. u. M. Reichel, *Bericht über ...*, wie Anm. 166, hier S. 24.

¹⁶⁸ Ebd., hier S. 25.

¹⁶⁹ Ebd., hier S. 51 - Tafel 9.

¹⁷⁰ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 2.

Jahrzehnte zuvor. „Der kalte Wasserstrahl beim Löschen des Feuers hatte dann zur Folge, daß die Reste der Sandsteinstufen bündig mit der Wand absprangen. Aber auch die Kunststeinstufen, besonders die oberen, wurden durch Feuer und Wasser an ihrem äußeren Ende durch Abspringen von Ecken und Köpfen beschädigt.“¹⁷¹ Aufgrund des erneut eindeutigen Ergebnisses wird auf eine tiefergehende Schilderung verzichtet (s. Abbildungen 20, 21 und 22).



Abbildungen 20-23: Zustand der Treppen nach dem Brand (v.l.n.r.): erste Beschädigungen an Sandsteinstufen; herabgefallene Sandsteintrümmer (durch Ablöschen); nahezu unveränderte Kunststeinstufen; Eisenbeton- und Eisenstufen im Vergleich¹⁷²

¹⁷¹ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 20.

¹⁷² Ebd., hier S. 18f, 25.

In diesem Abschnitt soll daher vor allem auf die Eisenbeton- und Schmiedeeisentreppe eingegangen werden. Der Aufbau ist dabei sorgfältig beschrieben und bildhaft dokumentiert, um etwaige Abweichungen oder Konstruktionsfehler erfassen zu können. *„Die Treppe bestand in ihrem unteren Teil aus Eisenbeton und vom zweiten Podest ab aus Schmiedeeisen. Vom Fußboden bis zum ersten Podest war sie als Freitreppe ausgebildet, von hier bis zum zweiten Podest waren die Stufen an dem einen Ende in die Wand eingelassen und am anderen ruhten sie auf einem Wangenträger aus Eisenbeton, der sich seinerseits wieder auf den von der Säule zur Wand gehenden Balken stützte und am oberen Ende, unter dem Podest hinweggehend, in die Wand eingelassen war [...]“*¹⁷³ Das Erscheinungsbild der Eisenbetonstufen war nach dem Brand nahezu unverändert, bis auf wenige scheinbar unerhebliche Risse. Wie bereits in vorgenannten Versuchen erwiesen, hielt die Form des oberen Treppenteils auch hier der Hitze nicht stand, da sich die eisernen Stufen nach unten durchbogen und auch die Wangen wellenförmig verbogen. Doch trotz ihres deformierten Aussehens (s. Abbildung 23) konnte die Treppe, nachdem sie sich wieder im kalten Zustand befand, begangen werden. Es ist jedoch äußerst fraglich, ob dies als Mindestanforderung für – im heutigen Wortgebrauch – notwendige Treppen gelten sollte. Andererseits gab es auch Bestrebungen, ähnlich den eisernen Tragkonstruktionen, auch eiserne Stufen entsprechend zu ummanteln. Patentierte Produkte bekamen beispielsweise durch eine vollständige Kunststeinumfassung die Eigenschaft „feuersicher“ anerkannt (s. Abbildung 24).¹⁷⁴

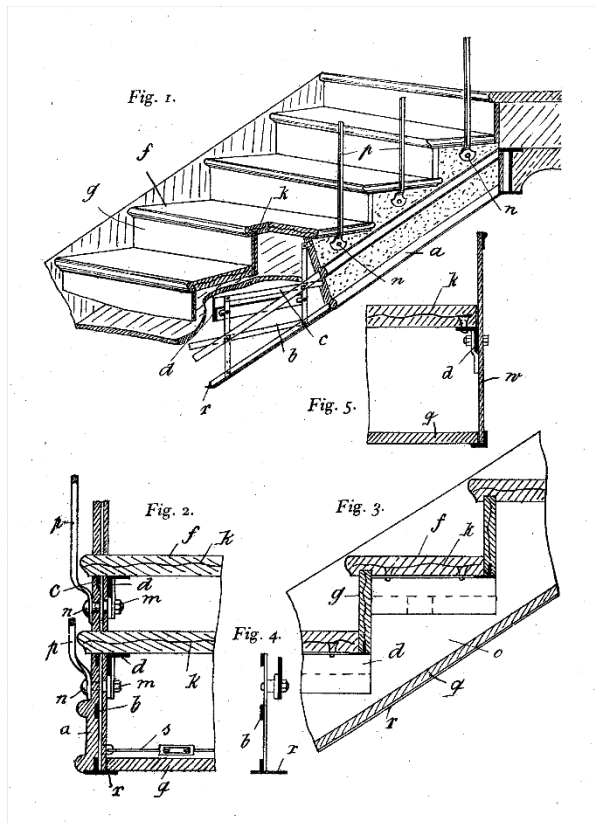
Einige Monate nach den Brandproben fand ein nachträglicher Belastungstest der Eisenbetontreppe statt, der Klarheit über die augenscheinliche Kontinuität der Tragwirkung bringen sollte. Die Messergebnisse bleiben allerdings unerwähnt, da sie *„wegen der Erschütterungen durch die vorbeifahrenden Eisenbahnzüge und den Einfluß starken Windes völlig [misslangen], die übrigen Messungen wurden stark beeinträchtigt.“*¹⁷⁵ Es sei lediglich insofern zusammengefasst, *„daß die Treppe trotz der starken zweimaligen Feuerbeanspruchung, trotz einiger äußeren Beschädigungen und der hohen Belastung nicht nur ihre Tragfähigkeit, sondern im wesentlichen auch ihre Elastizität bewahrt hat.“*¹⁷⁶ Der Eisenbetontreppe hätte also entschieden die Eigenschaft „feuerfest“ bzw. – zu dieser Zeit noch nicht endgültig definiert – „feuerbeständig“ zugesprochen werden müssen. Doch in dem wortreichen Bericht sucht man gerade diese Vokabeln vergeblich.

¹⁷³ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 23f.

¹⁷⁴ Lang, J., *Eiserne Treppe mit feuersicherer Ummantelung*, Patentschrift Nr.: DE232802, Deutschland, 1911.

¹⁷⁵ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 51.

¹⁷⁶ Ebd., hier S. 54.



Holztüren widerstanden zumindest in Bezug auf die Haltbarkeit in der Praxis länger einem Brand.¹⁸⁰ Trotz der Brennbarkeit des Baustoffes erfüllten sie bei entsprechender Qualität länger die Aufgabe eines Feuerabschlusses. Doch auch bei diesen Modellen war keine Rauchdichtheit gewährleistet, wodurch die Anwendung vorzugsweise auf Wohnräume beschränkt wurde.

Die Lösung dieser Problematiken suchte man in der Kombination dieser Werkstoffe. Dabei galt eine mit Eisenblech beschlagene Holztür in dehnbarer Definition als „feuersicher“.¹⁸¹ Türen solcher Bauart unterzog man erstaunlicherweise erst ab den 1890er Jahren dokumentierten Brandversuchen. Bei einem der ersten Tests im Februar 1893 baute man die Tür in ein bestehendes abbruchreifes Haus ein. Mittels eines Z-Eisens wurde die Zarge in das Mauerwerk eingelassen und an seitlich befindliche Bänder die selbsttätig schließende Tür aufgehängt. *„Der Thürrahmen bestand aus einem starken U-Eisen, welches an den vier Ecken auf Gehrung, d. h. in Winkeln von 45° abgeschnitten war. In diesem Rahmen befand sich eine doppelte, gekreuzte Lage von Holzlatten, welche auf beiden Seiten der Thür durch aufgeschraubte Eisenplatten gegen Entzündung geschützt waren. Die einzelnen Latten lagen etwa 1 cm auseinander.“*¹⁸²

Bereits nach wenigen Minuten nach dem Entzünden eines Feuers beobachtete man aus den Fugen der Konstruktion austretenden Rauch. Dieser lies in seiner Intensität mit dem Verkohlen der innenliegenden Holzbretter bis Minute 40 nach. Daraufhin schlugen Flammen aus ebendiesen Fugen und verformten die Eisenplatten bei über 1000° C. Nach 50 Minuten wurde der Versuch beendet und die Tür abschließend weder als feuer- noch als rauchsicher erachtet. *„Lobend hervorzuheben indessen ist die handliche Bauart der Thür und die gute Gangbarkeit derselben nach dem Brande.“*¹⁸³

Der damals immer präsenter werdende Bedarf an rauchsicheren Türen veranlasste das Königliche Materialprüfungsamt in Groß-Lichterfelde im April 1905 zu einer Prüfung verschiedener Tür-Bauarten (s. Abbildungen 25 und 26).¹⁸⁴ Getestet wurden dabei eine Holz-Eisen-Tür mit trockenem Holz, eine baugleiche Tür mit frischem Holz und eine patentierte Berner-Tür.¹⁸⁵ Während des 75-minütigen Brandes bei einer Maximaltemperatur von mehr als 1020 °C gaben die beiden Holz-Eisen-Konstruktionen den Flammen nach (s. Tabelle 4). Bemerkenswert ist hierbei das äußerst unterschiedliche Verhalten beider Systeme aufgrund der Frische des Holzes. *„Das wichtigste Ergebnis dieses Versuches ist indessen, daß das Vertrauen auf die Feuersicherheit mit Blech beschlagener Holztüren stark erschüttert worden ist: denn wenn schon bei der Brandprobe eine so gebaute Tür nach 10 Minuten Qualm entwickeln und nach 36 Minuten Flammen durchlassen konnte, so liegt die Gefahr vor, daß im Ernstfälle, wo die Angriffe des Feuers sehr viel heftiger sind und die Hitze bis auf 1400° C. und mehr steigt, schon in 3 bis 5 Minuten Treppenhäuser verqualmen und in 15 bis 20 Minuten die Flammen an den sogenannten feuersicheren Türen kein Hindernis mehr finden.“*¹⁸⁶

¹⁸⁰ Wendt, V., *Neue feuersichere Türkonstruktionen*, in: Deutsche Bauzeitung, Berlin 1909, S. 662.

¹⁸¹ Reddemann, B., *Die Fürsorge ...*, wie Anm. 79, hier S. 50.

¹⁸² Stude, A. u. M. Reichel, *Bericht über ...*, wie Anm. 166, hier S. 33.

¹⁸³ Ebd., hier S. 34.

¹⁸⁴ Hohenberg, *Feuer- und rauchsichere Türen*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1906, S. 190f.

¹⁸⁵ Wendt, V., *Neue feuersichere ...*, wie Anm. 180, hier S. 662.

¹⁸⁶ Hohenberg, *Feuer- und rauchsichere ...*, wie Anm. 184, hier S. 191.



Abbildungen 25 und 26:
Türen A, B und C (v.l.n.r.)
während des Brandversuchs
nach 10 bzw. 17 min¹⁸⁷



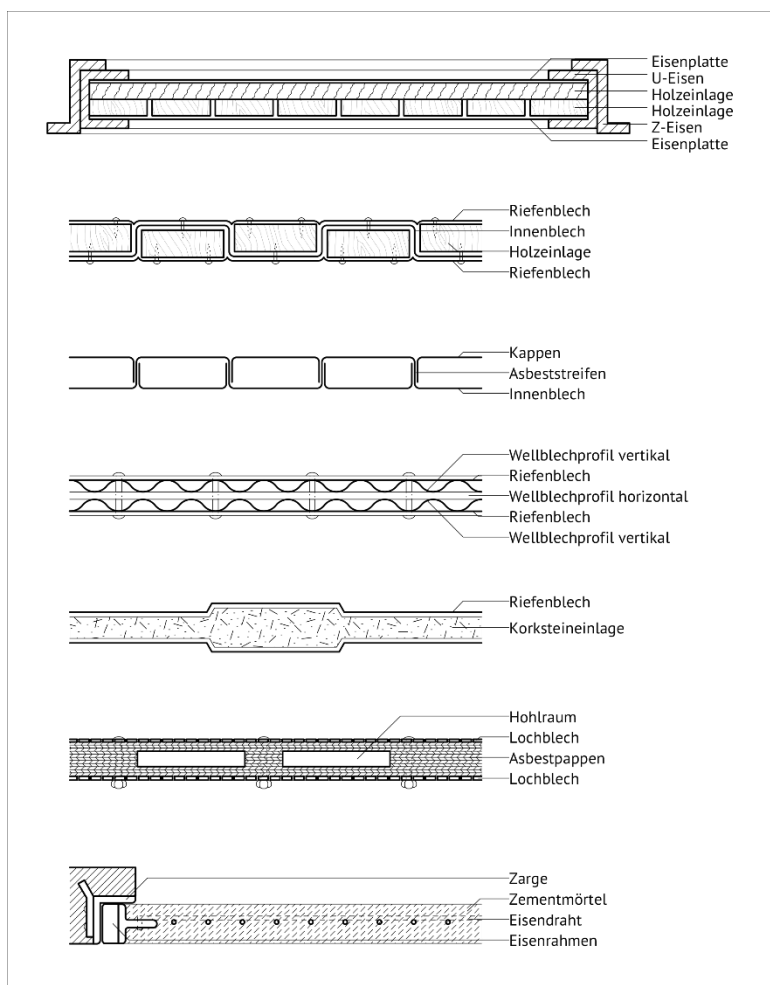
Zeit nach Entzündung	Holz-Eisen-Tür C aus altem Holz	Holz-Eisen-Tür B aus neuem Holz	Patenttür A mit Asbestpappe
10 min	dichter weißer Qualm zwischen den Blechen am Rand; Abtropfen dünnflüssiger schwarzer Masse an der Außenseite	/	/
17 min	Flammen im Anschlag; Stichflamme aus Schlüsselloch	vereinzelt weißer Rauch	/
22 min	Zerstörung der Farbe auf der Außenseite mittig	/	/
33 min	/	/	leichtes Abbiegen der Türober- und Unterseiten
36 min	kompletter Brand der Tür	starke Rauchentwicklung	/
42 min	/	Durchbiegen in der Mitte	/
52 min	/	Herausschlagen der Flammen	/
75 min - Ablöschen	Holzanteil in Tür völlig zerstört	Holzanteil in Tür teilw. vorhanden	weiterhin leicht öffnbar; gut schließbares Schloss

Tabelle 4: Beobachtungen an den jeweiligen Türen während des Brandversuches¹⁸⁸

¹⁸⁷ Hohenberg, *Feuer- und rauchsichere ...*, wie Anm. 184, hier S. 190.

¹⁸⁸ Ebd., hier S. 191.

Ab 1901 stellten namenhafte Firmen ihre Entwicklungen der Öffentlichkeit vor (s. Abbildung 27). Die größtenteils patentierten Produkte erhielten nahezu alle amtliche Zeugnisse für ihre Feuer- und Rauchsicherheit.¹⁸⁹ Dazu führte man häufiger Versuche mit diesen Konstruktionen durch, deren Ergebnisse ähnlich günstig ausfielen, wie die 1905 getestete Berner-Tür.¹⁹⁰ Bei Verwendung von nicht brennbaren Materialien und entsprechender Widerstandsfähigkeit wurden diese sogar als „Vorzugs-T-Türen“ annonciert.¹⁹¹ Die Ansprüche für eine solche Benennung gingen theoretisch über eine einstündige Widerstandsdauer bei einer Brandprobe von 1000 °C hinaus, denn auch Speicher- und Fabrikbränden mit höheren Temperaturen sollten diese widerstehen können. Oftmals wurde aber bereits anhand der Feststellungen bei einer Brandprüfung ein erster Eindruck über deren Verhalten bei Realbränden vorgebracht, was den Zusatz „Vorzugs-“ zu einer nicht zwingend geprüften Aufwertung macht.



Abbildungen 27: Aufbau der üblichsten „feuersicheren“ Türen

¹⁸⁹ Hohenberg, *Feuer- und rauchsichere ...*, wie Anm. 184, hier S. 191f. Es kristallisierten sich namentlich drei Hersteller heraus, welche durch innovative Verbindungen aus den Materialien Holz, Eisen, Asbest und Korkstein – gemäß der Bauordnung Berlins von 1897 – feuer- und rauchsichere Türen herstellten und vertrieben: König, Kücken u. Ko. in Berlin; August Schwarze in Brackwede; Eugen Berner in Nürnberg. Die tatsächliche Rauchdichtigkeit ist allerdings fraglich, da sogar ein vorübergehender Durchlass des Rauches für 30 Minuten geduldet wurde.

¹⁹⁰ Ebd., hier S. 197-199.

¹⁹¹ Reddemann, B., *Die Fürsorge ...*, wie Anm. 79, hier S. 56–58. Als „Vorzug-T-Türen“ der damals namenhaften Firmen waren z.B. die Verbesserte Kücken-Tür und die Berner-Tür anzusehen.

3.6.2 Bewehrter Beton

In Anbetracht der wesentlichen Nachteile, welche die vorgenannten Materialien aufweisen, entschied man sich kurzweilig, Türen auf mineralischer Basis zu entwickeln. *„Es wurden Türen hergestellt aus Tafeln von Rabitz- oder Moniermasse, auch aus Asbestzement auf eisernen Gestellen mit Winkeleisenrahmen oder aus doppeltem Wellblech mit Ausfüllung der Zwischenräume.“*¹⁹² Das Gewicht und die damit verbundene schwere Handhabung derselben resultierte jedoch in einer überwiegenden Ablehnung solcher Systeme.

Ein Brandversuch an einer *„feuersicheren Thür nach dem System Monier, Eisengerippe mit Zementumhüllung“*¹⁹³ fand im Zuge der bereits erläuterten Prüfung einer Holz-Eisen-Tür unter ähnlichen Bedingungen im Februar 1893 statt (s. Kapitel 3.6.1). Während des 40-minütigen Brandes beobachtete man ein starkes Abbiegen der oberen Teile und folglich das Durchschlagen der Flammen. Trotz des – wie vom Preisgericht angemerkt wurde – sehr guten Verhaltens von Zementmörtel und Eisendrahtgeflecht bewährte sich dieser Feuerabschluss nicht. Es blieb allerdings offen, wie sich diese Bauweise verhalten würde, wenn *„jede Umrahmung (Zarge) fortbleibt und die Thür mittels einfacher Angeln in vertieftem Falz befestigt wird, wodurch kein Eisen, sondern nur die Monierkonstruktion dem Feuer ausgesetzt ist.“*¹⁹⁴ Entgegen dem ursprünglichen Bestreben, eine unverwüstliche „feuersichere“ Öffnung zu konstruieren, ernüchterte das Ergebnis der Prüfung. Durch die Verwendung offenkundiger Eisenkonstruktion bot diese Tür im Feuer keinen Vorteil gegenüber der bis dahin vorrangig verwendeten Eisentür, zuzüglich des Nachteils der Schwergängigkeit. Dementsprechend verlor diese Bauart nachfolgend ihre Bedeutung.

3.7 Brandprobe mit Dächern

3.7.1 Harte Bedachung

Die verschiedenen Dachdeckungsarten unterschied man allgemein in ihrer Eigenschaft „feuersicher“ oder „nicht feuersicher“. Weniger üblich waren demgegenüber im 19. Jh. die Bezeichnungen „leichte“¹⁹⁵ oder „weiche“¹⁹⁶ Bedachung. Grundsätzlich aber sind den einzelnen Begriffen die gleichen Materialien zuzuordnen. *„Das weiche, zu dem Holz, Schindeln, Rohr, Schilf, Stroh [...] gehören, ist nicht feuersicher, wohl aber das harte. Zu ihm gehören Ziegel, Schiefer, Steine Glas, Metall, Zement, Holzzement, Dachpappe, Dachfilz u. a.“*¹⁹⁷

Die ununterbrochenen Kontroversen zwischen diesen Materialien bezüglich ihrer „Feuersgefahr“, welche verstärkt seit dem Ausbau der mittelalterlichen Städte aufkam, repräsentierte die harte

¹⁹² Reddemann, B., *Die Fürsorge ...*, wie Anm. 79, hier S. 55.

¹⁹³ Stude, A. u. M. Reichel, *Bericht über ...*, wie Anm. 166, hier S. 29.

¹⁹⁴ Ebd.

¹⁹⁵ Schams, F., *Nachdrucksvolle Worte an die ungarischen Winzer über bessere Bereitung und Verwendung des Düngers, als das Lebensprinzip des Weinbaues und der Landwirthschaft*, in: Zeitschrift für Weinbau und Weinbereitung in Ungarn, für Weinbergsbesitzer, Winzer und Landwirthe, Preßburg 1856, S. 51.

¹⁹⁶ *Verhandlungen der Württembergischen Kammer der Standesherrn auf dem ordentlichen Landtage 1868-70*, Stuttgart 1868, unbekannter Verfasser, S. 43f.

¹⁹⁷ Reddemann, B., *Die Fürsorge ...*, wie Anm. 79, hier S. 26. Zwecks der Übersicht und entsprechend der gegenwärtig geläufigen Begriffe werden diese nachfolgend als „weiche“ bzw. „harte“ Bedachung bezeichnet.

Bedachung stets die sichere Bauweise. Brände in den Städten konnten sich faktisch aufgrund der Empfindlichkeit der Stroh- und Reetdächer gegenüber Funkenflug schnell ausbreiten (s. Kapitel 2.2.1). Die Feuerversicherungsgesellschaften verlangten zwar für eine alternative Dachdeckung mit Ziegeln geringere Beiträge, jedoch waren die anfänglichen Baukosten für einige Bürger nur schwer aufzubringen. Durch den argumentativen Vergleich der Eigenschaften beider Arten wurde die billige Variante, aufgrund des „einzigen Nachteils“ der unzureichenden Feuersicherheit, besonders auf dem Land bevorzugt eingesetzt. Bei der Betrachtung einiger Brandereignisse scheint sich diese aber lediglich auf Flugfeuer zu beziehen, da der dichte Dachabschluss bei Bränden innerhalb der Gebäude sogar zum Teil negative Auswirkungen zeigte.

Hierzu sei der Brand eines dreigeschossigen Wohnhauses angeführt, bei dem sich ein Küchenfeuer schnell über den Dachboden ausbreitete.¹⁹⁸ Paradoxerweise wurde später der entfernteste der drei im Haus befindlichen Treppenträume stark verrauchte und angrenzende Zimmer mit einer teerartigen Schicht bedeckt. *„Das Feuer hatte nicht vermocht, das nach Art der Holzcementdächer mit einer dicken Schicht von Lehm und Grand bedeckte flache Dach zu durchbrechen, und [...] noch unverbrannten Dämpfen verwehrt das dicht schließende Dach den Ausweg, den sie sich schließlich über den 38 m langen Bodenraum hinweg durch den mittleren und den letzten Treppenaufgang nach unten zu erzwingen.“*¹⁹⁹ Einerseits verhinderte der schwere Dachaufbau hierbei offensichtlich die Ausbreitung des Feuers inner- und außerhalb des Gebäudes, andererseits gefährdete die unzureichende Abzugsmöglichkeit erheblich die Sicherheit der Bewohner. Inwiefern entsprechend dimensionierte Entrauchungsmöglichkeiten im Dachraum die Entwicklung des Brandes beeinflusst hätte, blieb allerdings ungeklärt.

3.7.2 Weiche Bedachung

Die verheerenden Auswirkungen bei der Verwendung von brennbarer Dachdeckung zeigen viele historische Brände in Städten. So beschleunigte die Dachdeckung, welche *„fast durchweg aus Hohlziegeln auf Strohpuppen [bestand], die Verbreitung des Feuers.“*²⁰⁰ Wohingegen „das freistehende, schiefergedeckte Schulhaus und eine neu errichtete große Tabakfabrik mit Wellblechbedachung verschont blieben.“²⁰¹ Beobachtungen wie diese bestätigen zwar die Klassifikation der Baustoffe, doch neben finanziellen Gründen charakterisierten die weichen Bedachungen oftmals auch eine regionale Identität. Ferner verwendete man diese Bauweise vorrangig in ländlichen Gebieten, da sie *„den praktischen Anforderungen der Landwirtschaft ganz besonders angepaßt ist.“*²⁰² Die oppositionellen Stimmen aus den Reihen der Baupolizei und Feuerversicherern sorgten allerdings für hohe Prämien, welche bei der Anwendung einer weichen Bedachung an die Feuerversicherung gezahlt werden mussten oder wiederum Prämien für das

¹⁹⁸ Ueber einen eigenthümlichen Vorgang beim Brande eines Miethswohnhauses, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1892, unbekannter Verfasser, S. 199.

¹⁹⁹ Ebd.

²⁰⁰ Bennisstein, F., *Die Feuersbrunst ...*, wie Anm. 39, hier S. 331.

²⁰¹ Ebd.

²⁰² Fischer, P., *Über Stroh- und ...*, wie Anm. 61, hier S. 325. Hervorzuheben ist dabei die günstigen Eigenschaft der Stroh- und Lehmschindeldächer, welche eine natürlichen Entlüftung bei guter Wärmeisolierung zulassen.

Entfernen der Strohdächer ausgezahlt wurden.²⁰³ Daher war es besonders ein Anliegen der Bevölkerung auf dem Land, dass man sich mit der Feuersicherheit der umstrittenen Bauart befasse.

Bereits im 14. Jh. versuchte man den feuergefährlichen Strohdächern vorzubeugen, wie es eine nürnbergische Polizeiverordnung²⁰⁴ bezeugt: „*Nieman sol in der vorstat decken mit rohen schauben er sliere si denne.*‘ Dieses ‚Slieren‘ ist tränken mit Lehm, also nichts weiter, als dasselbe Verfahren, mit dem man in unserer Zeit Strohdächer „feuersicher“ machte, nur daß man noch Ochsenegalle zusetzte.“²⁰⁵

Der ästhetische Anspruch einer traditionellen Stroheckung wird durch eine, vom Worpsweder Heimatschutzverein durchgeführte, Brandprobe verdeutlicht. Wohl vorrangig wegen des malerischen Empfindens einer dadurch geprägten Landschaft, veranstalteten sie einen Versuch mit dem sogenannten „feuersicheren Gernentzdach“. Angelehnt an die überlieferte Erkenntnis wurde dieses Dach „aus einzelnen Strohplatten von je 8½ cm Stärke hergestellt, welche im Verband in drei sich überdeckenden Lagen verlegt werden. Die Platten werden in einen Tränkbrei getaucht, welcher aus Lehmwasser, Gips und Ammoniakwasser oder aus Lehm, Zement und Salzwasser besteht, und sind sofort gebrauchsfertig. Sie werden mit verzinktem Eisendraht an den Sparren befestigt“²⁰⁶ (s. Abbildung 28). Gleichermaßen errichtete man 1907/08 „ein 12 m langes, 4 m breites, und bis zur Traufe 1,75 m hohes provisorisches Gebäude mit abgewalmtem Satteldach errichtet, welches folgendermaßen gedeckt war:

1. in einer Breite von 4 m mit Gernentzdach aus Stroh, getränkt mit Lehm, Gips und Gallwasser.
2. in einer Breite von 1 m mit unverstrichenem Ziegelpfannendach.
3. in einer Breite von 4 m mit Gernentzdach aus Stroh, getränkt mit Lehm, Gips und Salzwasser.
4. in einer Breite von 1 m mit unverstrichenem Zementpfannendach.
5. in einer Breite von 1 m mit Gernentzdach aus Stroh, getränkt mit Lehm, Zement und Salzwasser.
6. in einer Breite von 1 m mit Dachpappe auf 2 cm starker Schalung.
7. in einer Breite von 3 m mit gewöhnlichem Strohdach, 20 cm stark, mit Weiden gebunden
8. ein Walm bestand aus gewöhnlichem, mit Draht gebundenen Strohdach.“²⁰⁷

Üblicherweise begann man mit dem Versuch, das Dach von außen anzuzünden, wobei „nur das Anschwülen einiger loser Strohalme bemerkt [wurde].“²⁰⁸ Nachfolgend wurde ein darunterliegender Stapel aus Holz und Stroh entzündet und die einzelnen Beobachtungen protokollarisch festgehalten. Dabei zeigte sich ein ähnlicher Feuerwiderstand der Gernentzdächer und des Ziegelpfannendaches, wonach der Einsturz der Konstruktionen nach 14 Minuten eintrat. Zwar konnte ein Durchschlagen der Flammen bei dem „feuersicheren“ Strohdach deutlich früher festgestellt werden, als bei dem Konkurrenzprodukt, verglichen mit der Dachpappe und dem Zementpfannendach hingegen, hielt der Aufbau nahezu doppelt so lange dem Feuer stand. Des

²⁰³ Kortüm, A., *Über Stroh- und Rohrdächer*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1909, S. 293.

²⁰⁴ Baader, J., *Nürnberger Polizeiordnungen ...*, wie Anm. 62, hier S. 287.

²⁰⁵ *Das feuersichere Strohdach*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1920, unbekannter Verfasser, S. 51.

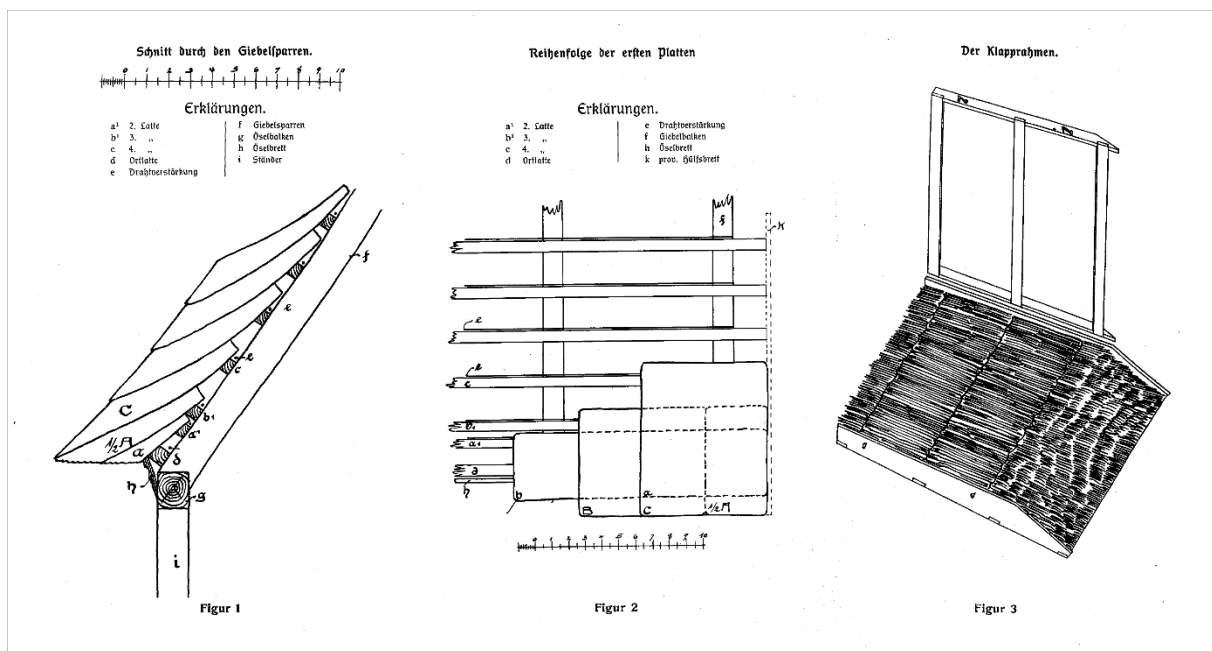
²⁰⁶ Kortüm, A., *Über Stroh- und ...*, wie Anm. 203, hier S. 294.

²⁰⁷ Am Ende, H., *Das feuersichere Strohdach*, Hamburg 1908, S. 5.

²⁰⁸ Ebd.

Weiteren erkannte man nach dem Ablöschen, „daß einige imprägnierte Strohplatten in ihrer Form erhalten geblieben und nur am Rande angekohlt waren.“²⁰⁹

Dieser Brandversuch erscheint für seine Bedeutung im 20. Jh. unzureichend, da ein Verband aus einer so großen Anzahl an Dachbauweisen bei gleichzeitiger Protokollführung während des Brandes an der Stichhaltigkeit zweifeln lässt. Dass die Ergebnisse eines solchen Tests andererseits ein großes Interesse erweckten, zeigt sich in der Anwesenheit eines breiten Publikums (unter anderem Regierungspräsident, Baurat, Landrat, Architekten).²¹⁰ Es bezeugt das Engagement für eine Prüfung, welche vordergründig nicht einem wirtschaftlichen Nutzen oder der Sicherheit dient, sondern die Erhaltung einer Tradition bzw. eines Bildes fördert.



Abbildungen 28: Herstellung eines Gernentzdaches nach traditionellem Vorbild²¹¹

Das uns heute bekannte Lehmshindeldach (s. Abbildung 29) erregte besonders nach dem Ersten Weltkrieg Interesse, da die Baustoffknappheit eine Nutzung alternativer Bauweisen zu Ziegel- und Shindeldeckung forderte. Aus diesem Grund wurden unter der Leitung der „Lehr- und Versuchsstelle für Naturbauweisen in Sorau Niederlausitz“ im Juni des Jahres 1920 zwei Lehmsteinbauten errichtet und deren Verhalten bei einem Feuer geprüft. Trotz der kurzen Ausführung des Berichtes, ist dieser sehr prononciert verfasst und bedarf an dieser Stelle der nahezu vollständigen Wiedergabe des Versuchsaufbaus, welcher innerhalb von drei Tagen bewerkstelligt wurde. „Größe außen 3,30 m, Breite 2,80 m, Mauerstärke 25 cm, Höhe bis zum First 3,60 m, Höhe bis zur Traufe 1,80 m, Dachneigung 45 Grad. Die Mauern sind innen und außen geputzt in verschiedener Ausführung. In der einen Giebelwand befindet sich ein Fenster in der Größe von 47x45

²⁰⁹ Am Ende, H., *Das feuersichere ...*, wie Anm. 207, hier S. 6.

²¹⁰ Ebd., hier S. 4.

²¹¹ Ebd., hier S. 14–16.

cm, in der gegenüberliegenden Giebelseite eine Türöffnung von 1,75 m Höhe und 1 m Breite. [...] Das Firsträhm besteht aus Kantholz 10 auf 10 cm und ruht auf dem Giebelmauerwerk. Die Dachfläche ist mit Lehmshindeln eingedeckt, wie sie von der Lehr und Versuchsstelle in Sorau N.-L. angefertigt werden. Die einzelnen Schindeln haben eine Größe von 70 cm in der Breite, 120 cm in der Länge und sind 5-7 cm stark. Die dem Dachraum zugekehrte Seite der Schindeln ist in der Stärke von 2-3 cm mit Lehm verstrichen, der mittels eines Stabes in die Strohlage eingearbeitet wurde. Bei der dreifachen Überdeckung ist die Stärke der Bedachung 15-20 cm. Die einzelnen Schindeln sind, wie beim Biberschwanzdach, im Verband eingedeckt und mit 2 mm starkem verzinktem Draht an die Rundholzlatten angebunden. [...] Die Firsteindeckung besteht bei Bau I (nördliches Gebäude) aus Strohlehm, bei Bau II (südliches Gebäude) ebenfalls aus Strohlehm, über den je eine Reihe Biberschwänze mit Firststeinen gedeckt ist. Die Lehmsteindeckung reicht auf beiden Seiten der Dachfläche etwa 40 cm herab.²¹² Die generelle Gestalt orientiert sich demnach an Konstruktionen, wie sie bereits in vorherigen Kapiteln erläutert wurden. Die im Allgemeinen, bereits Jahrzehnte zuvor für andere Versuchszwecke erbauten kleinen „Feuerhäuschen“, fanden auch in diesem Fall Anwendung, um einen Brand maßstäblich bewerten zu können.

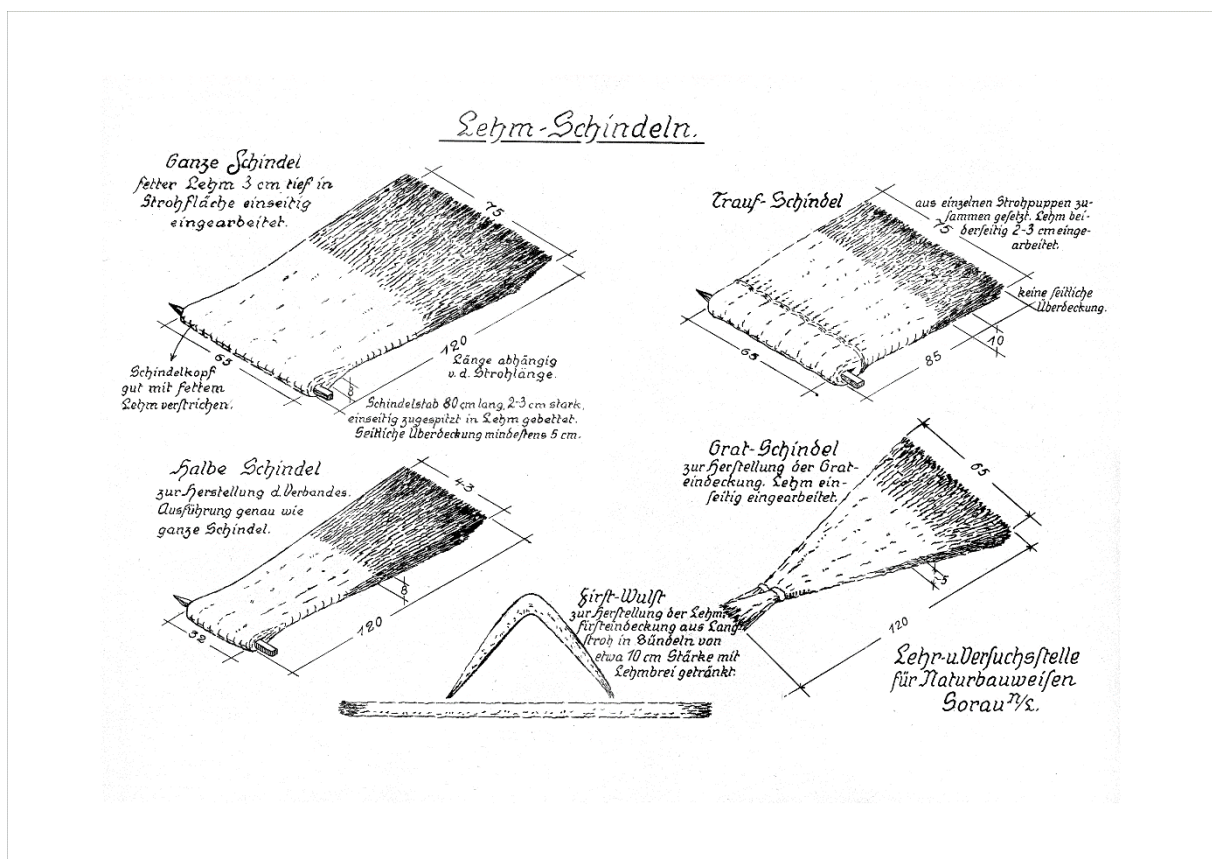


Abbildung 29: Anleitung zur Herstellung von Lehmshindeln²¹³

²¹² Fauth, W., Bericht über das Ergebnis der am 29. Juli 1920 in Sorau N.-L. mit der Lehmshindel-Bedachung veranstalteten Brandproben, Sorau N.-L. 1920, S. 1.

²¹³ Fauth, W., Das Lehmshindel-Dach, Sorau N.-L. 1920, S. 34f - Anhang.



Abbildung 30: Erste Brandprobe: Entzündung der äußeren Oberfläche des Lehm-schindeldaches²¹⁴

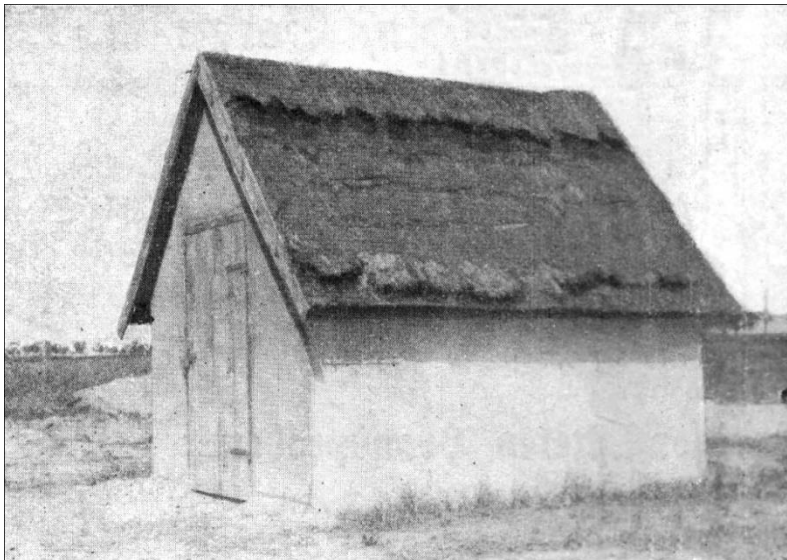


Abbildung 31: Zweite Brandprobe: Zustand zehn Tage nach dem Versuch, hölzernes Tragwerk vollkommen intakt²¹⁵



Abbildung 32: Dritte Brandprobe: Feuer im Inneren des Häuschens bei starker Rauchbildung²¹⁶

²¹⁴ Fauth, W., *Bericht über ...*, wie Anm. 212, hier S. 1.

²¹⁵ Ebd., hier S. 2.

²¹⁶ Ebd.

Bei den anschließend im Juli stattgefundenen Proben sollten die natürlichen Erscheinungen und Auswirkungen des Feuers von außen und innen untersucht werden. Dazu wurde bei den ersten beiden Tests ein Flugfeuer durch aufgelegte petroleumgetränkte brennende Faserknäuel auf den jeweiligen Dachflächen simuliert (s. Abbildung 30). Die obere ungeschützte Strohlage fing anfänglich Feuer, erlosch aber nach kurzer Zeit und glomm mit einer starken Rauchentwicklung weiter, die sich durch einzelne Stöße der Schindeln auch bis ins Innere auswirkte. Durch diese Fugen und die schwankenden Windverhältnisse traten vereinzelt kurzzeitig Stichflammen auf, die jedoch keine Schäden am Tragwerk anrichteten. Weiterhin war die Temperatur im Innenraum sowie der dortigen Oberfläche der Schindeln nahezu unverändert. Bei dem ersten Versuch auf der nördlichen Dachfläche entwickelte sich kein Flugfeuer. *„Die abgebrannten Strohhalme blieben als Asche auf dem Dache liegen. Sämtliche Schindeln blieben festgefügt auf den Latten und an keiner Stelle brannte das Feuer durch.“*²¹⁷ Der anschließende zweite Versuch auf der gegenüberliegenden Dachschräge glich insofern dem ersten, als dass diese Seite nach 23 Minuten erst großflächig, danach gezielt mit einem 1 bar starken Strahl gelöscht wurde. Die dabei entstandenen kleinen Öffnungen waren so marginal, dass lediglich das eingedrungene Wasser als Schaden zu erwähnen wäre. Bei der nachfolgenden Besichtigung blieb *„das gesamte Holzwerk des Gespärres und der Latten [...] vollkommen unversehrt“* (s. Abbildung 31).²¹⁸

Für den letzten Brandversuch wurden etwa 0,75 Raummeter Holzscheite und petroleumgetränkte Späne im Inneren des Gebäudes entzündet. Wie aus dem Aufbau ersichtlich, verzichtete man auf einen Schornstein im Dach, schuf aber durch die Fenster- und Türöffnung gute Ventilationsbedingungen (s. Abbildung 32). Die zerstörerische Wirkung des Feuers auf das Dach lässt eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Lehmshindeln nicht zu (s. Tabelle 5). Der Bericht erwähnt nur das vollständig erhaltene Mauerwerk und einige Risse im Lehmputz.²¹⁹ Als Resultat wird angemerkt, *„bei Haus I [sei] lediglich die Dachdeckung zu erneuern, um es wieder gebrauchsfähig zu machen. Haus II bedarf, da das Gespärre abgebrannt ist, der Erneuerung von Holz- und Lehmshindelbedachung.“*²²⁰ Während die Dachdeckung bei den Flugfeuerversuchen einen Feuerwiderstand bewies, ist das Ergebnis der dritten Brandprobe hauptsächlich auf das Durchbrennen des hölzernen Tragwerks zurückzuführen. Zwar entspräche ein solcher Aufbau maßstäblich den tatsächlichen Gegebenheiten, ungeklärt bleibt jedoch das Verhalten der gesamten Dachkonstruktion bei beispielsweise ausreichend dimensionierten Holzsparren (s. Kapitel 3.4.1).

²¹⁷ Fauth, W., *Bericht über ...*, wie Anm. 212, hier S. 2.

²¹⁸ Ebd.

²¹⁹ Sonntag, R., *Die Lehr- und Versuchsstelle für Naturbauweisen in Schweizerberge-Zepernick bei Berlin*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1921, S. 205. Die Prüfungen wurden ständig nach Neuaufbau durch Schüler wiederholt und brachten das gleiche Ergebnis.

²²⁰ Fauth, W., *Bericht über ...*, wie Anm. 212, hier S. 2.

Zeit nach Entzündung	Beobachtung
> 0 min	starke Rauchentwicklung und bald darauf ein Auflodern der Flammen bei starker Hitzeentwicklung
6 min	an der Außenseite des Daches nach starker Rauchentwicklung Stichflammen an zwei Stellen sichtbar
15 min	nach Herabfallen einzelner Schindeln vergrößerten sich die zwei entstandenen Öffnungen in der Dachfläche, wodurch nun stärkere Flammen schlugen
17 min	Größe der beiden Öffnungen nun insgesamt ca. 0,5 m ²
21 min	Großteil der Dachlatten durchgebrannt
24 min	erstes Gespärre stürzt ein
31 min	sämtliche Sparren, bis auf das Giebelgebinde und das Firsträhm, mit der Eindeckung durchgebrannt; Holzverkleidung des Dachüberstandes an den beiden Giebeln blieb unversehrt; untersten beiden Schindelreihen an der Traufe blieben erhalten
34 min	Ablöschen

Tabelle 5: Beobachtungen bei der Brandprüfung von Haus II am 29. Juli 1920 in Sorau Niederlausitz.²²¹

Schon über 20 Jahre vor der Notwendigkeit eines neuen Baumaterials beschäftigte man sich mit der Feuersicherheit der Lehmschindelbedachung. Bei einem Versuch 1894 wurde ein Häuschen in ähnlicher Ausführung und Dimension errichtet und das Dach außen oberflächlich angezündet.²²² Die Beobachtungen dabei waren die gleichen wie sie auch 1920 gemacht wurden, sodass man „nach 25 Minuten auf dem Dachboden, worauf man sich begeben konnte, noch nicht die geringste Hitze [verspürte].“²²³ Ebenso wurde mit dem Löschen einer Seite bzw. dem Ausbrennen der zweiten Dachfläche verfahren. Bei dem nachfolgend getesteten Brandverhalten von innen machte man grundsätzlich ähnliche Feststellungen, wobei der zeitliche Verlauf variiert. Dies ist vermutlich auf den Einfluss des Löschwassers bzw. des quantitativ nicht näher beschriebenen Brennmaterials zurückzuführen. Deshalb soll das Protokoll an dieser Stelle nicht weiter ausformuliert und auf die Ergebnisse der obigen Brandprobe verwiesen werden.

Dem Lehmschindeldach ist entsprechend der Versuche das Prädikat „feuersicher“ zuzuschreiben.²²⁴ Die Widerstandsdauer bei einem Brand des Innenraumes bzw. des Dachbodens ist zu vergleichen mit der einer harten Bedachung und keinesfalls minderwertiger. Den entscheidenden Vorteil bringt dieser Materialverbund vor allem durch seine geringe Flammenbildung hervor, welche sich auch bei dem Realbrand zweier Brauhäuser 1894 bewies, bei dem die Häuser selbst, als auch die umliegenden gerettet werden konnten. Daraufhin wurde angemerkt, „daß die Deckungsart mit Lehmschindeln besser als mit Ziegeln ist, denn es kann besser gerettet werden, man darf so leicht nicht besorgen, daß das Feuer geschwinde durchbrennt.“²²⁵

²²¹ Fauth, W., *Bericht über ...*, wie Anm. 212, hier S. 2.

²²² Mareinowski, K., *Über die Feuersicherheit des Lehmschindeldaches*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1921, S. 374f.

²²³ Fauth, W., *Das Lehmschindel-Dach ...*, wie Anm. 213, hier S. 11f.

²²⁴ Ebd., hier S. 11.

²²⁵ Ebd., hier S. 13.

3.8 Feuerversuche anhand von Gebäudemodellen

3.8.1 Linzer Theatermodell

Der eingangs beschriebene Brand des Wiener Ringtheaters 1881 mit seiner hohen Opferzahl von mehreren hundert Menschen gab Anlass, die bisher ungenügenden Vorschriften beim Theaterbau und -betrieb zu überdenken und neue Forderungen zu stellen.²²⁶ Der Verein der Techniker in Oberösterreich nahm sich daraufhin der Untersuchung dieser Problematiken an. Dazu wurde 1884/85 in Linz ein maßstäbliches Modelltheater hergestellt, dessen Größe ungefähr einem Zehntel des Ringtheaters entsprach (ca. 3,70 x 2,30 m). Schließlich wollte man die Annahme überprüfen, dass im Brandfall auf der Bühne eine ordentliche Dimensionierung und Funktion der, im heutigen Sinne, Rauchklappen eine Rettung der Personen ausreichend lange ermöglicht.²²⁷

*„Bei sämtlichen Versuchen wurden im Bühnenraume 2 bis 3 kg Papier aufgehängt und sodann angezündet, und zwar wurde als Brennstoff, der Kosten wegen Papier verwendet, weil es sich hauptsächlich um die Demonstration der Erscheinungen im ersten Stadium eines Bühnenbrandes handelte.“*²²⁸ Zur anschaulicheren Kontrolle der Druckdifferenzen und Auswirkung der entstehenden Gase wurden verschiedene Lampen, Laternen und Manometer inner- und außerhalb des Gebäudes angebracht. Anschließend beobachtete man die Ereignisse jeweils in Abhängigkeit der Zeit. Der Hauptsache nach wurden zwei Gruppen von Prüfungen durchgeführt: Während bei der ersten die Abzugsöffnungen in der Decke geschlossen blieben, wurden sie bei der zweiten Gruppe geöffnet.

Die Auswertung der Manometermessungen der ersten Gruppe ergaben, *„dass wohl kein eiserner Vorhang so stark ist, um einen einseitig wirkenden Druck von $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{60}$ Atmosphären Widerstand zu leisten.“*²²⁹ Ebenfalls breiteten sich die toxischen Gase und Rauch mit einer solchen Geschwindigkeit in den Zuschauerraum aus, sodass eine Selbstrettung der Menschen im Inneren des Gebäudes innerhalb kürzester Zeit unmöglich wäre. Als Lösung dieses Hergangs empfahl der Verein den Einsatz von „Luftabzugsschläuchen.“ Diese senken die Druckdifferenz auf ein Minimum, wodurch der Rauch bestimmungsgemäß über das Dach abgeführt werden könne und der eiserne Vorhang in seiner Gangbarkeit nicht beeinträchtigt würde. *„Bei den gemachten Annahmen berechnet sich somit, die Geschwindigkeit der abziehenden Gase nach der einfachen und für den vorliegenden Fall genügend genauen Formel:*

$$V = 0,5 \sqrt{2 g h \frac{t_1 - t}{273 + t}}$$

mit 11,97 m per Sekunde.

²²⁶ Sarrazin, O. u. H. Eggert, *Der Brand ...*, wie Anm. 52, hier S. 350f. Demnach sollten unter anderem die Ausgangstüren und Fluchtwegbeleuchtung strenger reglementiert werden, sowie Metallvorhänge und die Imprägnierung brennbarer Einrichtung und Bauteile vorgeschrieben sein.

²²⁷ Verein der Techniker in Oberösterreich, *Versuche an einem Theatermodelle und Massregeln zum Schutze des Publikums bei Theaterbränden*, in: Oberösterreichische Bauzeitung, Linz 1904, S. 33f. Die Zeitschrift reproduzierte den Bericht des Vereins, wodurch nur sehr vage Angaben zum tatsächlichen Aufbau des Modells entnommen werden konnten.

²²⁸ Ebd. Das „erste Stadium“ meint hier die Phase der Brandentstehung, Rauchausbreitung und die mit zunehmender Hitze verbundene Druckerhöhung.

²²⁹ Ebd., hier S. 35.

Die Temperatur der Aussenluft wurde in diesem Falle gegen die Temperatur $t_1 = 800^\circ$ vernachlässigt. Der Koeffizient 0,5 ist vielleicht zu klein angenommen, da aber keine der massgebenden Ziffern genau ermittelt werden konnte und die Temperatur innerhalb ziemlich weiter Grenzen schwanken kann, ist grosse Vorsicht geboten. Nach einer genaueren Rechnung wäre die Geschwindigkeit bei 800° 18,5 m pro Sekunde.

Für 1000 m³ Bühnenraum sind daher

$$F = \frac{2200}{60 \times 12} = 3,06$$

oder, wenn man knapper rechnen will

$$F = \frac{2200}{60 \times 18,5} \cong 2,0 \text{ m}^2$$

Querschnittsfläche der Essen erforderlich.²³⁰ „Durch diese Versuche ist der Beweis geliefert, dass es durch Anbringung von genügend grossen Ventilationsschläuchen (Essen) über der Bühne möglich ist, bei einem auf der Bühne ausbrechenden Brande das Eindringen der heissen Verbrennungsgase in den Zuschauerraum zu verhindern, das Auslöschen der Gasflammen im entscheidenden Momente zu verhüten und dadurch den Zuschauern die Möglichkeit zu bieten, das Haus zu verlassen.“²³¹

In seinem Umfang war dieser initiale Test eine Neuerung bei der Erforschung von Bränden. So waren bisher lediglich einzelne Bauteile oder Bauprodukte einer Brandprüfung unterzogen worden. Ein derartiges Modell konnte nun das Verhalten aller Bauteile im System aufzeigen. Durch die vordergründige Betrachtung der Rauchentwicklung und -ableitung kann man allerdings kaum von einem Brandversuch im herkömmlichen Sinne sprechen, vielmehr entspricht es einem Rauchversuch, der das Brandverhalten der Bauteile überwiegend nicht thematisierte. Die gewonnenen Erkenntnisse waren grundsätzlich interessant für die weitere Forschung, wurden aber stattdessen als „wertvolles Material“ eingelagert. „Sei es, dass die dem Vereine zu Gebote stehenden Geldmittel auf die Länge nicht ausreichten, sei es, dass die Sache in der Oeffentlichkeit nicht jene Beachtung fand, die sie verdiente, [...] der fernere Theaterbau wurde durch sie fast gar nicht beeinflusst. Nur eine nützliche Wirkung hatten sie, es wurde der Wunsch rege gehalten, solche Brandproben in grossem Massstabe, womöglich von offizieller Seite, veranstaltet zu sehen.“²³²

3.8.2 Modelltheater zu Wien

Ein weiterer folgenschwerer Brand, der sich am 30. Dezember 1903 in Chicago ereignete, brachte erneut Forderungen zur Sicherung von Theatern hervor. Ein über der Bühne des Iroquois Theatres entstandenes Feuer brannte sowohl die Bühne selbst als auch den Zuschauerraum aus, wobei über 600 Menschen starben. Eine Bilanz, die noch größeres Aufsehen erregte, da das Gebäude als „absolut feuersicher“ galt.²³³ Dieses Ereignis „hat in Wien zur Bildung eines Ausschusses Veranlassung

²³⁰ Verein der Techniker in Oberösterreich, *Versuche an ...*, wie Anm. 227, hier S. 44. Aufgrund der Modellhaftigkeit des Versuches waren die Ergebnisse des rechnerischen Abschnitts teils sehr abstrakt.

²³¹ Ebd., hier S. 43.

²³² *Schutz bei Theaterbränden*, in: Die Welt der Technik, Berlin 1906, unbekannter Verfasser, S. 35.

²³³ Hatch, A. P., *Tinder Box*, Chicago 2003, S. 12.

gegeben, der sich zur Aufgabe stellte, die bei einem Theaterbrande auftretenden Erscheinungen durch Versuche an einem Modelltheater in größerem Maßstabe aufzuklären und die Ergebnisse für die Sicherung des Verkehrs in den Theatern und ihre bauliche Anlage nutzbar zu machen.“²³⁴

Dazu wurde in den Jahren 1904/05 wiederholt ein Theatermodell konstruiert. Um die erwähnten Mängel des ersten Modellversuches 20 Jahre zuvor einzuschränken, schuf man ein umfangreicheres Gebäude aus Eisenbeton im Maßstab 1:3 auf dem Bauplatz eines Betonbauunternehmens in der niederösterreichischen Stadt Krems. Gemäß der Abbildungen 34 bis 36 wurde es zweigeschossig, bestehend aus einer Bühne mit Schnürboden und Zuschauerraum mit Galerie ausgeführt. Um den Brandvorgang beobachten zu können, trennte man durch eine Wand und darin liegende Fenster einen Teil des Zuschauerraums ab. Ähnlich dem ersten Versuch befanden sich auch hier verschiedene Lampen (zusätzlich elektrische) und Einrichtungen zur Überwachung diverser Parameter der Luft an mehreren Stellen im Gebäude. Als Schutzvorrichtungen dienten „Rauchklappen und Rauchessen“ über beiden Theaterräumen, sowie eine „Regenvorrichtung“ und ein Eisenvorhang.²³⁵ Die Errichtung wurde demzufolge entsprechend den damals gültigen Theaterbauvorschriften durchgeführt.

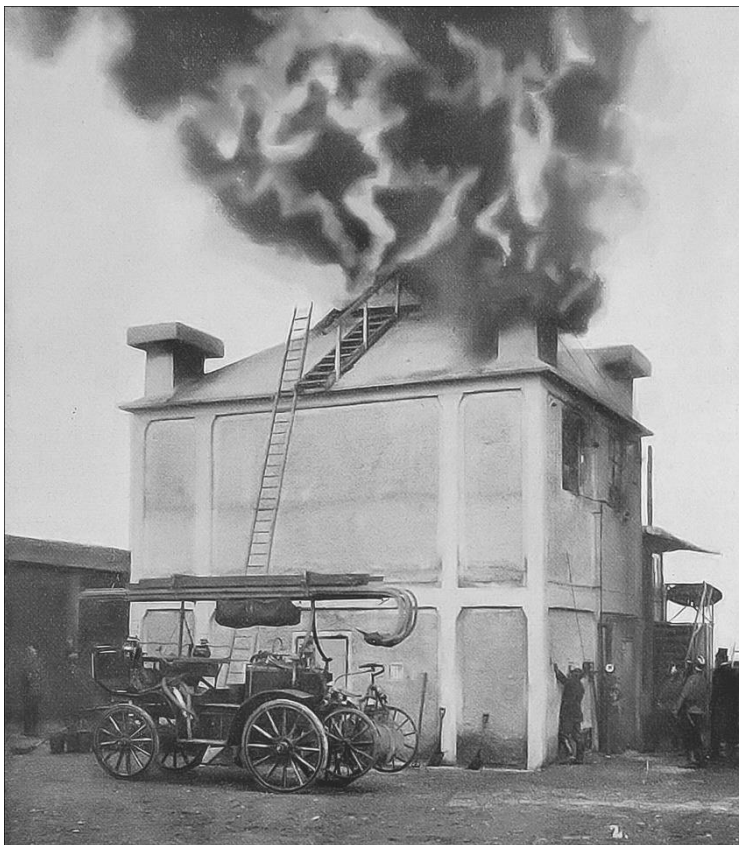
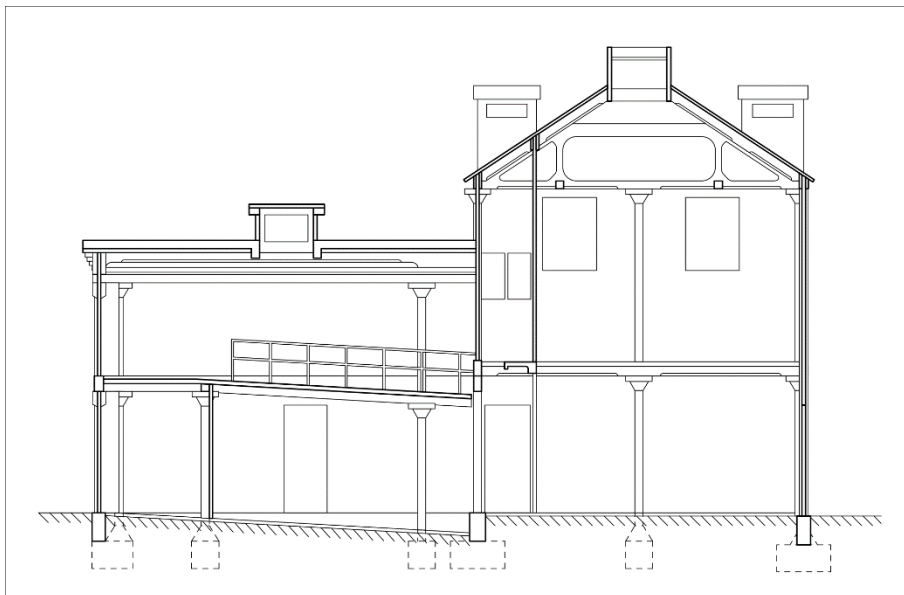


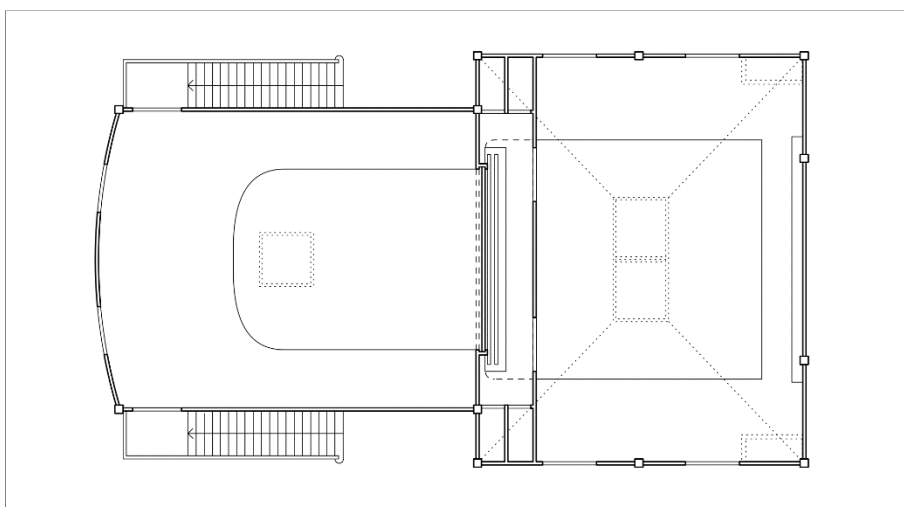
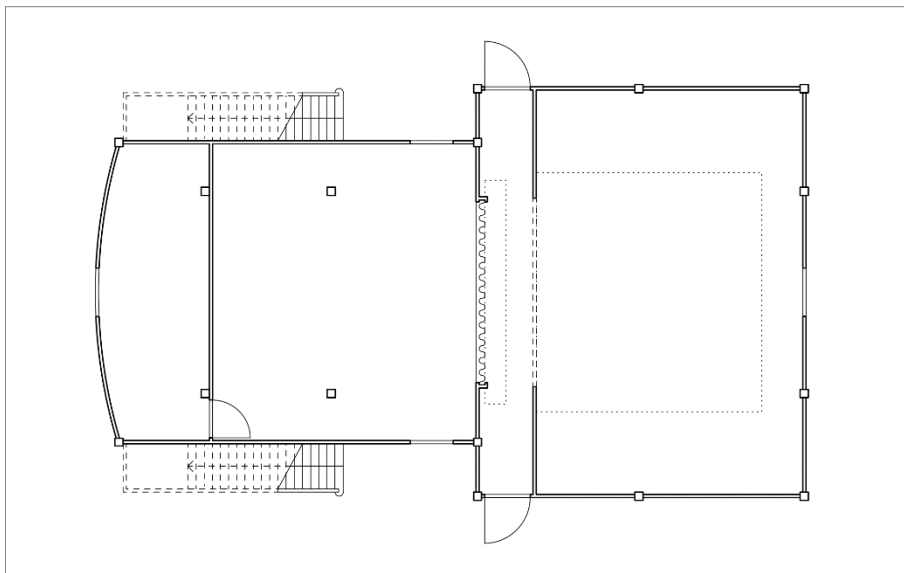
Abbildung 33: Blick auf die Bühnenrückwand während des Brandversuchs

²³⁴ Graßmann, O. J. W. W., *Brandversuche in einem Modell-Theater in Wien*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1905, S. 634.

²³⁵ Schönhöfer, R., *Über Theaterbrände und die Brandproben*, in: Bühne und Welt, Berlin 1906, S. 374f.



**Abbildungen 34, 35
und 36: Längsschnitt
und Grundrisse des
Wiener Theater-
modells²³⁶**



²³⁶ *Die Brandversuche im Modelltheater zu Wien*, in: Schweizerische Bauzeitung, Zürich 1906, unbekannter Verfasser, S. 123.

Der öffentliche Brandversuch wurde am 22. November 1905 nach bereits erfolgten Testläufen abgehalten. Durch die bedeutungsvolle Rolle, die diese Prüfungen einnahmen, zeigten auch länderübergreifend Feuerwehr- und Behördenvertreter des Deutschen Reiches Interesse an der Teilnahme. Der Ablaufplan setzte sich dabei aus verschiedenen Szenarien zusammen, die vor allem die Wirkungsweise der Brandschutzvorrichtungen unter bestimmten Bedingungen feststellen sollten. Dazu wurden Theaterdekorationen und Papierrollen entzündet, die verhältnismäßig der gelagerten Menge von zwei Vorstellungen entsprachen.²³⁷

„Erster Versuch. Die Entlüftungsvorrichtungen über der Bühne sind geschlossen, im Zuschauerraum halb geöffnet, der Stoffvorhang heruntergelassen, Lichte und Lampen brennen. Nach Entflammung der Stoffe auf der Bühne bauchte sich zunächst der Stoffvorhang gegen den Zuschauerraum etwas aus bis dann plötzlich eine Feuergarbe unter dem durch weitere Ausbauchung gehobenen Vorhang hervorschoß und den Zuschauerraum in kürzester Frist mit Rauch und Qualm füllte. Die Gasflammen erloschen alsbald infolge des Ueberdruckes der heißen Gase, bald darauf auch die Kerzen und dann die Oel-(Fettstoff-) Lampen, zuletzt die Petroleumlampen, Kerzen und Lampen infolge Mangels an atmosphärischer (sauerstoffhaltiger) Luft, bzw. von Luftströmungen. Die elektrischen Lampen erloschen nicht, wurden aber so von Rauch und Qualm eingehüllt, dass sie nicht zu sehen waren. In der mit kohlensauren Gasen gefüllten Luft wurden Spannungen bis zu 160 mm Wassersäule beobachtet und Hitzegrade bis zu 400 ° C, Zustände, die jedes Menschenleben in wenigen Sekunden vernichten.

*Zweiter Versuch. Allgemeine Anordnung wie vor, mit der Abänderung, dass die Bühnenöffnung offen ist, während des Brandes aber durch den eisernen Vorhang geschlossen wird. Es treten im wesentlichen dieselben Erscheinungen wie vor ein, zum Teil ergeben sich noch ungünstigere Verhältnisse für die Parkettbesucher, weil sich mit dem Sinken des Vorhangs die Bühnenöffnung verkleinert und Stichflammen mit grosser Gewalt in Bühnenhöhe in das Parkett dringen. Es sind bei den Vorversuchen Ausbauchungen des eisernen Vorhanges bis zu 4 mm und Durchsetzung der Luft mit Kohlenoxyd bis zu 8 % beobachtet worden, während eine Menge von 0,5 bis 1 % schon tödlich ist. Die beobachtete Durchbiegung des Vorhangs kann auf normale Verhältnisse nicht übertragen werden, weil der Vorhang wegen Fehlens der für einen so kleinen Vorhang erforderlichen Eisenstärken, stärker konstruiert ist, als dies für Vorhänge in grossen Theatern üblich ist.*²³⁸

Dritter Versuch. Die Entlüftungsvorrichtungen über der Bühne werden nach erfolgter Brandlegung geöffnet, die im Zuschauerraum sind geschlossen, die Vorhänge bleiben oben. Der Brand entwickelte sich wie in einem grossen Kamin, die Rauchgase zogen durch die offenen Schlote und Oeffnungen im Dach ab, der Zuschauerraum bleibt frei von Rauch und Qualm, der Aufenthalt in demselben ist ohne Gefahr, nur die vom Feuer ausstrahlende Wärme belästigt die Zuschauer in der Nähe der Bühnenöffnung, die Beleuchtung erlischt nicht.

Vierter Versuch. Die Entlüftungsvorrichtungen über der Bühne werden erst, nachdem der Brand sich entwickelt hat, teils durch die Zerstörung verbrennbarer Verschlüsse, teils von Hand geöffnet, der eiserne Vorhang wird nach Entzündung des Brennstoffes heruntergelassen, die

²³⁷ Graßmann, O. J. W. W., *Brandversuche in ...*, wie Anm. 234, hier S. 634f.

²³⁸ Wie man bereits bei früheren Versuchen herausfand, verhält sich die Stärke der Stützenwandung unproportional zur Feuerwiderstandsdauer. vgl.: Schüler, H., *Versuche über ...*, wie Anm. 72, hier S. 246.

Entlüftungsvorrichtung über dem Zuschauerraum bleibt geschlossen. Die Zuschauer werden nicht gefährdet, die Beleuchtung erlischt nicht. Um die Wirkung der Regenvorrichtung zu prüfen, wurde ein weiterer Versuch angeschlossen.

Fünfter Versuch. Die Entlüftungsvorrichtungen über der Bühne bleiben geöffnet, über dem Zuschauerraum geschlossen, die Bühnenöffnung unverschlossen. Nachdem das Feuer den grössten Teil des Brennstoffes ergriffen hatte, trat die Regenvorrichtung in Tätigkeit, ein kräftiger Regen ergoss sich über die Bühne, der das Feuer wesentlich dämpfte. Dampf und Rauch entwichen durch die Entlüftungsöffnungen der Bühne und drangen nicht in den Zuschauerraum; als jedoch einzelne Türen desselben, besonders die an der Rückseite gelegene Ausgangstür, geöffnet wurden, fegte ein heftiger Luftzug Rauch und Dampf und brennende Fetzen in den Zuschauerraum. Die Oeffnung der Türen war nicht unbedenklich, einzelne sich im Zuschauerraum aufhaltende Personen wurden von dem heissen Luftstrom empfindlich getroffen; jegliche Gefahr beseitigte jedoch der herabströmende Regen. Bemerkt sei hier noch, dass ein Ausströmen von Rauch und Dampf nur aus der in dem First des Bühnendaches befindlichen, etwa 5 % der Bühnenfläche betragenden Entlüftungsöffnung beobachtet wurde, aus den an den vier Ecken der Bühne etwa 0,80 m² im Querschnitt messenden tiefer hinabgeführten Schloten war ein Entweichen von Rauch und Dampf nicht zu bemerken²³⁹ (s. Abbildung 33).

Die auf den Erkenntnissen des ersten Linzer Modellversuches aufbauende Prüfung brachte eine Evidenz der damaligen Ergebnisse, welche nun auch von den zuständigen Behörden verwertet werden konnten. Zusammenfassend wurde festgestellt, „dass es tatsächlich nur ein einziges zuverlässiges Mittel gibt, um Theaterbrände für die Zuschauer ungefährlich zu machen, [...] es sind dies die Bühnenessen und Klappenvorrichtungen.“²⁴⁰ Da bei diesem Test erneut der Schwerpunkt auf den Brandschutzvorrichtungen lag, verpasste man allerdings die Möglichkeit, weitere Bauteile oder „feuersicher“ differenzierte Theaterdekorationen einzubeziehen. Es wurde lediglich der „ausgezeichnete Zustand“ des Zement-Eisenbetonbaus festgestellt, der seine Widerstandsfähigkeit bezeuge.²⁴¹ Die dogmatische Bewertung der – im heutigen Sinne – Rauchabzüge führte zu einer unvollständigen Dokumentation, welche keine Temperaturmessung vorsah.

3.8.3 Erste Versuche mit Eisenbeton

Die Erfindung des Vorläufers des heutigen Stahlbetons revolutionierte in der zweiten Hälfte des 19. Jh. das Bauwesen. Aufgrund der häufigen Annahme, die Innovation sei dem namenhaften Joseph Monier zuzuschreiben, soll an dieser Stelle die Entstehungsgeschichte des Verbundwerkstoffes kurz aufgezeigt werden. Die ersten Versuche bewehrter Bauteile lassen sich um 1700 in der St. Paul's Cathedral in London finden. Bei dieser nutzte der Architekt Christopher Wren teilweise Eisenketten, um das Gussmauerwerk zu verstärken.²⁴² Der tatsächliche Beginn des

²³⁹ Graßmann, O. J. W. W., *Brandversuche in ...*, wie Anm. 234, hier S. 635.

²⁴⁰ *Schutz bei ...*, wie Anm. 232, hier S. 35.

²⁴¹ Seeling, H., *Das Wiener Modelltheater und die Brandversuche am 22. November 1905*, in: Deutsche Bauzeitung, Berlin 1906, S. 8.

²⁴² Huberti, G., *Vom Caementum zum Spannbeton*, Wiesbaden 1964, S. 12.

bewussten Einsatzes von Eisen in Beton liegt in den 1840er Jahren, in denen der Agrarwirt Joseph-Louis Lambot den sogenannten „Ferciment“ entwickelte.²⁴³ Aus diesem stellte er ab 1845 Pflanzkübel und Wasserbehälter vorerst für den eigenen Gebrauch her. Drei Jahre später folgte die Konstruktion seines Lambot'schen Bootes, welches auf der Weltausstellung in Paris 1855 veröffentlicht wurde. Im dem gleichen Jahr wird diese Erfindung auch patentiert, wodurch dies als offizielles „Geburtsjahr“ des Eisenbetons angesehen werden kann. Lambot weist *„in einer allgemeinen, gedruckten Mitteilung auf die Vorzüge seiner Erfindung hin:*

- *Unbrennbarkeit*
- *Geringe Herstellungskosten*
- *Keine Unterhaltungskosten*
- *Schnelligkeit der Ausführung*
- *Rasche Reparatur im Havariefall*
- *Unverwüsthche Haltbarkeit*
- *Wasserundurchlässigkeit*²⁴⁴

Aufgrund gescheiterter Verhandlungen distanzierte er sich in den folgenden Jahrzehnten von seiner Erfindung. Eine spätere praktische Anwendung des „Ferciments“ im Bauwesen scheint nicht stattgefunden zu haben.

Im gleichen Zeitraum strebte auch der französische Bauunternehmer François Coignet eine Optimierung des Betons an. Das wohl bedeutendste Resultat dieser Forschung ist sein privates, vollständig in Betonbauweise errichtetes Wohnhaus, welches Anfang der 1850er Jahre entstand und bei dem er das Flachdach erstmals mit Eisenstäben verstärkte.²⁴⁵ Dies ist damit wohl das älteste dokumentierte Bauwerk, das eine Bewehrung einzelner Bauteile ähnlich der heutigen Art erhielt. Am 26. November 1855 ließ er sich schließlich diese Konstruktion in England unter der Nummer 2659 patentieren. Darin beschreibt er: *„[...] Eisenstäbe, in angemessenem Abstand voneinander, die die vier deckentragenden Begrenzungswände völlig durchdringen und zwar so, daß sie symmentrisch, nach Art eines Schachbrettes, einander kreuzen. Diese Stäbe, verdreht und mit Verdickungen (nuts) an beiden Enden, werden die Decken am Durchhängen hindern.“*²⁴⁶ Die tragende Funktion der Eisenstäbe definiert er in dem französischen Patent des darauffolgenden Jahres, in dem diese als „Zugstangen“ betitelt werden. Im Jahre 1861 veröffentlicht Coignet sein 400 Seiten umfassendes Buch *„Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire“*, welches die konstruktive Wechselwirkung der Eisenstäbe und des Betons bezüglich der Lastenverteilung aufzeigt.²⁴⁷ Das breite Interesse der Öffentlichkeit in dem folgenden Jahrzehnt fördert sein Engagement in diesem Bereich und etabliert den Baustoff. Der schlechte Geschäftssinn Coignets veranlasst aber auch

²⁴³ Huberti, G., *Vom Caementum ...*, wie Anm. 242, hier S. 34f. Der Aufbau dieses „Eisenzements“ ähnelt der heute bekannten Stahlbetonbauweise und ist nicht als Zement im vermeintlichen Sinne zu verstehen.

²⁴⁴ Ebd.

²⁴⁵ Ebd., hier S. 15f.

²⁴⁶ Ebd., hier S. 17.

²⁴⁷ Kurrer, K.-E., *Geschichte der Baustatik*, Berlin 2016, S. 667.

ihn unter den Nachwirkungen des deutsch-französischen Krieges, seine Arbeit mit Beton aufzugeben.²⁴⁸

Den lapidaren Umgang mit dem Patentrecht zur damaligen Zeit nutzte der französische Gärtner Joseph Monier mit der Anmeldung „seiner“ Erfindung des *„Système de caisses-bassins mobiles en fer et ciment applicables à l'horticulture“* – zu Deutsch: „Bewegliche Kübel und Behälter aus Eisen und Cement für den Gartenbau“ – am 26. November 1867.²⁴⁹ Es ist anzunehmen, dass auch er mit der Entwicklung des Eisenbetons in den 1840er Jahren begann, jedoch konkrete Nachweise dieser Arbeit nicht veröffentlichte.²⁵⁰ Ferner bestand sein wesentliches Ziel bei betonummantelten Eisenskelettstrukturen in der leichteren Formgebung der Behälter. Die Tatsache der dadurch erhöhten mechanischen Belastbarkeit blieb vorerst außer Acht. Auch in den nachfolgenden Zusatzpatenten, in denen er sich armierten Rohren und unbeweglichen Behältern im Jahre 1868 widmet, wird diese kennzeichnende Eigenschaft nicht erläutert.^{251,252} Dem Stammpatent folgten bis ins ausgehende 19. Jh. zahlreiche weitere Anmeldungen und Zusätze im In- und Ausland.²⁵³ Sein Erfolg geht aus dem geschickten Geschäftssinn und vor allem aus den vielzähligen Experimenten und Versuchen hervor, die allerdings praktischen Ursprungs waren. Dadurch verpasste Monier die Möglichkeiten der Tragfähigkeit des Eisenbetons vollends auszunutzen.

Erst der Amerikaner Thaddeus Hyatt beschäftigte sich mit der statischen Belastbarkeit und dem mechanischen Zusammenspiel der beiden Werkstoffe. Diesbezüglich meldet er parallel zu seinem französischen Mitstreiter ab 1871 regelmäßig neue Patente an.²⁵⁴ Schließlich fasste er seine Feststellungen seiner Forschung im Jahre 1878 in dem US-amerikanischen Patent: *„Composition Floors, Roofs, Pavements, &c.“*²⁵⁵ zusammen. Hyatt *„stellte die Theorie des bewehrten Betons auf eine rationale Grundlage, und erhielt zur selben Zeit ein Patent mit einem beachtlichen breiten Anwendungsbereich.“*²⁵⁶ Inhaltlich bestand die wesentliche Errungenschaft in der Erkenntnis, dass *„Zementbeton [...] mit Band- und Rundeisen zu Platten, Trägern oder Gewölben so verarbeitet [wird], daß das Eisen nur auf der Zugseite Verwendung findet.“*²⁵⁷ Mit dieser Aussage widerlegte er die Überzeugung, sodass *„der ahnungslose Monier sich bei einem seiner Besuche in Berlin höchlichst*

²⁴⁸ Huberti, G., *Vom Caementum ...*, wie Anm. 242, hier S. 22f. Das wohl markanteste Bauwerk, an dem Coignet mitarbeitete, war die Pfarrkirche St. Margarethe von Le Vésinet. Bei dieser wurden die Gusseisensäulen im Inneren mit Beton umgossen, was eine schlankere und billigere Ausführung derselben ermöglichte. Beiläufig schuf man so außerdem einen Beitrag zum vorbeugenden Brandschutz.

²⁴⁹ Ebd., hier S. 15f.

²⁵⁰ Ebd., hier S. 65f.

²⁵¹ Monier, J., *Procédé pour des tuyaux*, Zusatzpatent Nr.: FR77165, Frankreich, 1868.

²⁵² Monier, J., *Procédé pour des bassins fixes et immobiles en ciment et fer pour retenir l'eau des jardins*, Zusatzpatent Nr.: FR77165, Frankreich, 1868.

²⁵³ *Éditorial Joseph Monier*, in: *Revue Générale de la Construction*, Paris 1907, unbekannter Verfasser, S. 323. Die Schwerpunkte aller Patente Moniers sind sehr vielfältig und schildern unter anderem das Verfahren zur Herstellung von Fassadenplatten, Treppen, Balken und Brücken in Monierbauweise.

²⁵⁴ Huberti, G., *Vom Caementum ...*, wie Anm. 242, hier S. 42. In den von ihm angemeldeten Patenten befasste sich Hyatt mit bewehrten Betongussdecken, -hohlkörpern, -formsteinen und -säulen.

²⁵⁵ Hyatt, T., *Composition Floors, Roofs, Pavements, &c.*, Patentschrift Nr.: US206112, Vereinigte Staaten, 1878. Auch nach diesem Patent entwickelt Hyatt die bestehenden britischen Patente weiter bzw. lässt sich Fortschritte bei der Konstruktion der Eisenbewehrung (besonders spezielle Details bei der Fertigung) patentieren.

²⁵⁶ Ransome, E. L. u. A. Saurbrey, *Reinforced concrete buildings*, London 1912, S. 33.

²⁵⁷ Huberti, G., *Vom Caementum ...*, wie Anm. 242, hier S. 42.

darüber entrüstete, die Eiseneinlagen in die jeweilige Zugzone legen zu wollen. Er bestand vielmehr darauf dieselben ‚in die Mitte‘ zu legen.²⁵⁸ Diese Auffassung, die ihn sein Leben lang begleitete, beweist das unausgereifte Verständnis Joseph Moniers in Bezug auf die konstruktive Besonderheit dieses Verbundwerkstoffes. Hyatt hingegen zog 1877 in seinem Buch *„Versuche mit Beton und Eisen zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Metallverwendung und ihrer Feuersicherheit bei Dächern, Decken und Fußsteigen“*²⁵⁹, welches er ausschließlich an Freunde versandte, „die folgenden Schlussfolgerungen:

- a) Der Beton ist als feuersicherer Baustoff anzusehen;
- b) das Eisen muß, um feuersicher zu sein, vollständig mit Beton eingeschlossen werden;
- c) der Verbund zwischen Beton und eisernen Bändern ist ein vollkommener und gibt eine wirtschaftlichere Lösung als T-Träger;
- d) die Wärmedehnung ist bei beiden Baustoffen hinreichend gleich;
- e) das Verhältnis der Elastizitätszahlen ist mit 20 anzusetzen;
- f) Beton mit Eisen auf der Zugseite eignet sich nicht nur für Tragwerke im Hochbau, sondern wegen seiner Wetterfestigkeit und geringen Unterhaltungskosten auch für Brücken.²⁶⁰

Dabei belegte er die Punkte a) und b) anhand eines praktischen Initialversuches, der einen bedeutsamen Einfluss auf die Anerkennung des Eisenbetons im späteren Baurecht ausübte.²⁶¹ Insbesondere erkannte er eine Abhängigkeit zwischen der Betondeckung und der Temperatur der innenliegenden Eisenstäbe (s. Abbildungen 37 und 38).²⁶²

²⁵⁸ Schlüter, F., *Aus den Anfängen der „Beton-Eisen-Bauweise“*, in: Beton und Eisen: internat. Organ für Betonbau, Berlin 1942, S. 4.

²⁵⁹ Hyatt, T., *An account of some experiments with Portland Cement concrete combined with iron as a building material with reference to economy of metal in construction and for security against fire in the making of roofs, floors and walking surfaces*, London 1877.

²⁶⁰ Huberti, G., *Vom Caementum ...*, wie Anm. 242, hier S. 42.

²⁶¹ *Experiments with iron and concrete*, in: The Builder, London 1878, unbekannter Verfasser, S. 231. Neben den in gebräuchlicher Weise als „feuersicher“ bezeichneten Materialien, verdiene ausschließlich der Eisenbeton die Bezeichnung „wirklich feuersicher.“

²⁶² Hyatt, T., *An account ...*, wie Anm. 259, hier S. 28.

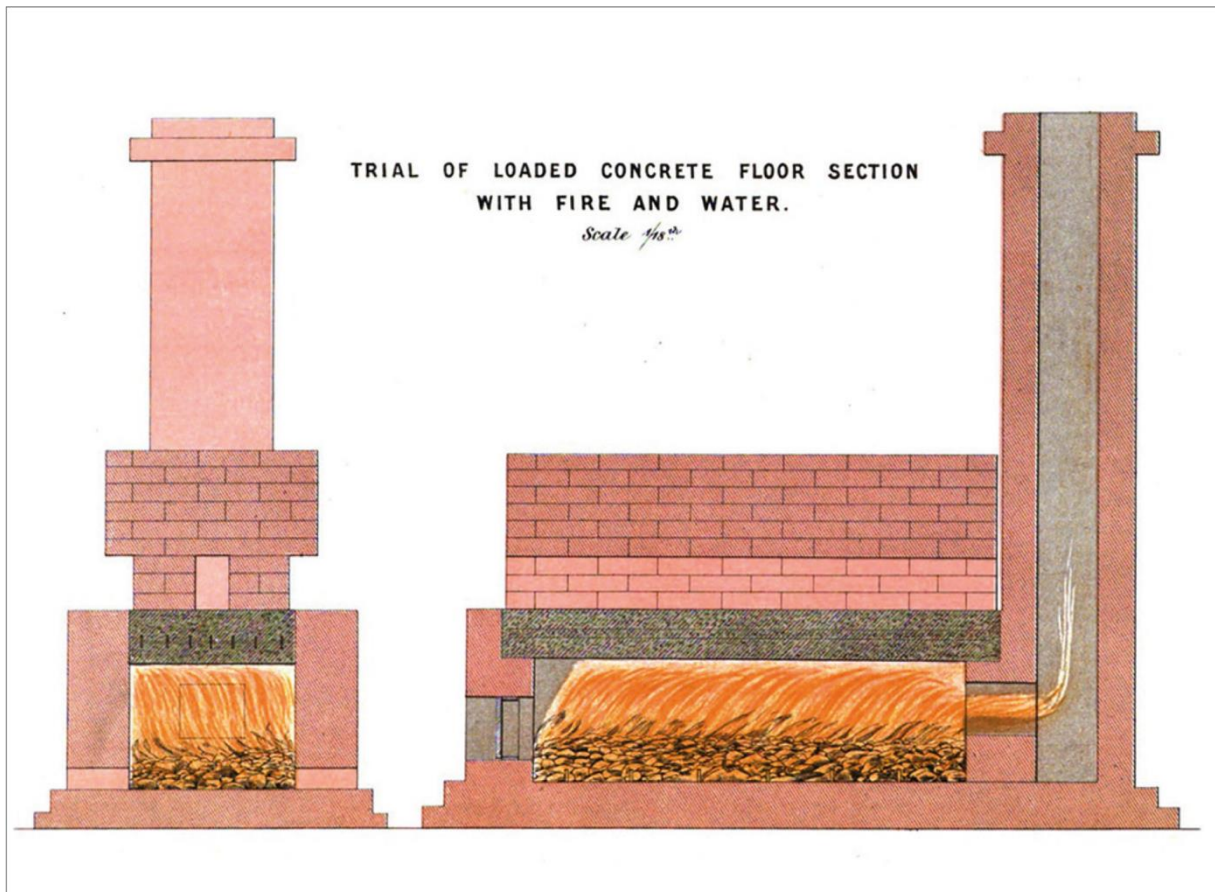


Abbildung 37: Titelbild des Buches „Versuche mit Beton und Eisen zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Metallverwendung und ihrer Feuersicherheit bei Dächern, Decken und Fußsteigen“²⁶³

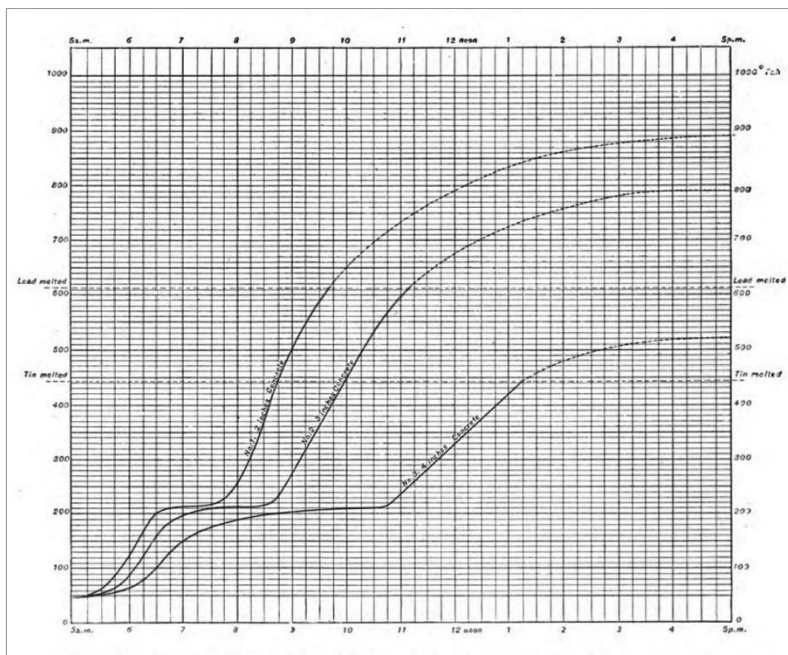


Abbildung 38: Ausschnitt aus Hyatts Buch, in dem Ergebnisse seines Tests zum Wärmeverhalten von Eisenstäben mit unterschiedlicher Betonüberdeckung in einem Temperatur-Zeit-Diagramm zu sehen sind²⁶⁴

²⁶³ Hyatt, T., *An account ...*, wie Anm. 259, hier S. 0 - Titelseite.

²⁶⁴ Ebd., hier S. 28.

3.8.4 Eisenbetonbauten

Neben den zahlreichen Versuchen zur mechanischen Belastbarkeit von Eisenbetonelementen fanden auch ausführlich dokumentierte Brandproben zu diesem Zweck statt. Eine Reihe der aufschlussreichsten Tests begann im Dezember 1910. Ziel dieser sollte sein, „nach vier Richtungen hin Aufklärung [zu] liefern:

1. Messung der Wärmeübertragung im Beton;
2. Widerstandsfähigkeit verschiedener Betonmischungen gegen Feuer und Löschwasser, bei Verwendung verschiedener Stoffe,
3. Feststellung der zu einem zuverlässigen Eisenschutz bei Feuersgefahr erforderlichen Dicke der umhüllenden Betonschicht;
4. Feststellung der etwaigen Einbuße bestimmter Konstruktionen an Tragfähigkeit durch Feuer und Wasser während des Brandes und nach dem Brande.

Es wurde ferner beschlossen in Vergleich zu stellen:

- a) Sand-Beton,
- b) Flußkies Norddeutschlands (vorwiegend Granit und Quarzit),
- c) Flußkies Süddeutschlands (vorwiegend Jurakalk),
- d) Grutz und Kleinschlag aus Muschelkalk,
- e) Grutz und Kleinschlag aus Basalt,
- f) Grutz und Kleinschlag aus Granit.²⁶⁵

Ein erster Vorschlag, die Versuche in einem verhältnismäßig großen Ofenhaus durchzuführen, scheiterte an der Kostenfrage. Deshalb baute man im Sommer des Jahres 1910 letztendlich zwei eigene aus Eisenbeton bestehende Gebäude, die bei erfolgreichem Ausgang der Versuche „später für den Einbau anderer Konstruktionen nutzbar zu machen wären.“²⁶⁶ Zur Bestimmung der vorgenannten Ziele konstruierte man die beiden Häuser unterschiedlich (s. Abbildung 39), sodass bei Haus I die Bauteile eine Betondeckung von 2 cm und bei Haus II die Bewehrungen 0,5 cm bedeckt sind (beide teilweise verputzt). Des Weiteren führte man die Säulen unter den Unterzügen mittels Kiesbeton bzw. Kalksteinschotterbeton aus. Zur Temperaturmessung hängte man an mehreren Punkten Metalllegierungen mit unterschiedlichen Schmelzpunkten in Schamotteschalen auf. Ferner wurden weitere Vorkehrungen getroffen, welche den Wärmedurchgang des Betons und die Durchbiegung der Decken feststellen sollten.

²⁶⁵ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 96, hier S. 1.

²⁶⁶ Ebd., hier S. 2.

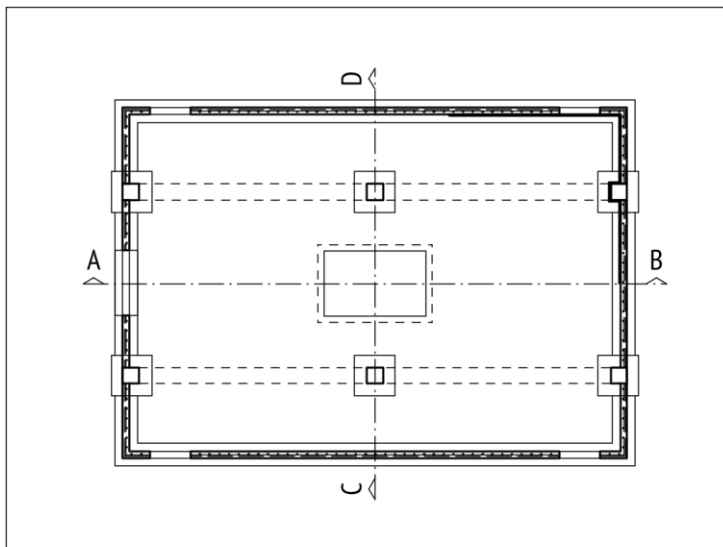
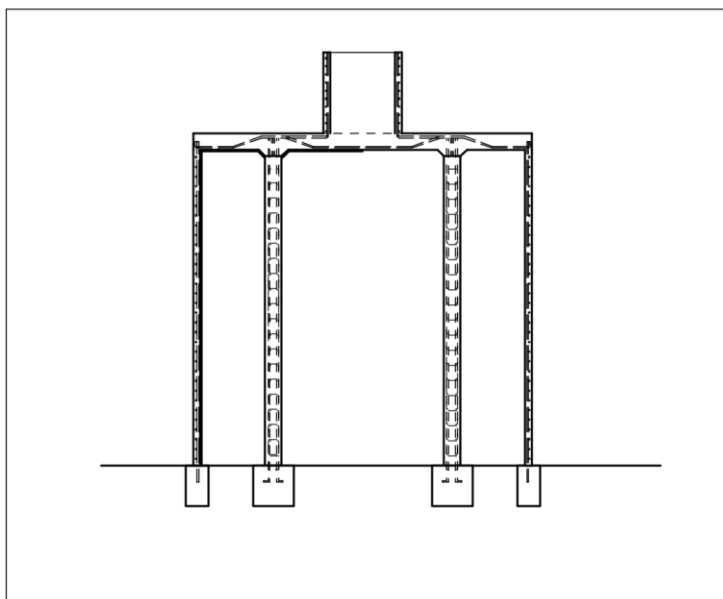
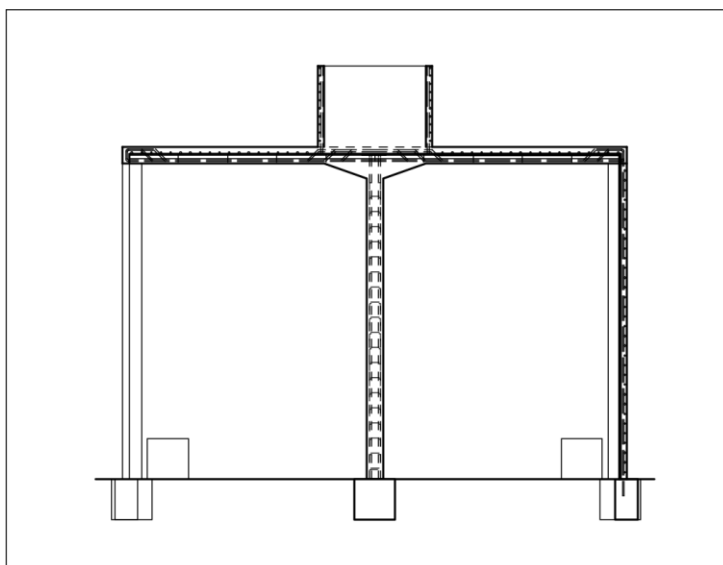


Abbildung 39: Grundriss und
Schnitte der ersten beiden
Eisenbetonhäuser 1910²⁶⁷



²⁶⁷ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 96, hier S. 4f.

Zu Beginn wurden die Deckenfelder beider Häuser mit bis zu 500 kg/m² belastet, wobei sie sich bis zu etwa 0,25 mm elastisch durchbogen. Nach deren Entlastung verfielen sie wieder in die Ausgangslage, ohne Schäden aufzuweisen.²⁶⁸ Anschließend entzündete man jeweils 24 m³ getränkte Kiefernscheitholzstapel. Während der Brandprobe erfasste man protokollarisch das Verhalten des Gebäudes.²⁶⁹ Dabei waren vor allem Risse in den Außenwänden erkennbar, die sich bis zum Ablöschen teilweise stetig bis auf mehrere Zentimeter vergrößerten. Eine Wölbung der umfassenden Wände trug zur Bildung weiterer Risse bei.²⁷⁰ Nach einer halben Stunde traten Wasserflecken um die entstandenen Risse auf, welche bis zum Zeitpunkt der Höchsttemperatur verdampften. Eine Steigerung der Temperatur war, trotz des Nachlegens von Holz, nach ca. 1 $\frac{3}{4}$ Stunde nicht mehr zu bewirken. Das Ablöschen erfolgte nach 140 Minuten *„wobei der kalte Strahl hauptsächlich auf die tragenden Konstruktionsteile (Unterzüge und Säulen) gerichtet wird.“*²⁷¹

Der Befund über die Optik der Bauteile, der nach der Abkühlung beider Häuser verfasst wurde, unterschied hauptsächlich die verwendeten Materialien, nicht aber die Betondeckung.²⁷² Auffallend ist jedoch, dass die Häuser nach dem Versuch äußerlich kaum ihr Aussehen verändert hatten. *„In den Flächen sämtlicher Wände sind die Risse im großen und ganzen so weit wieder zusammen gegangen, daß sie bei oberflächlicher Besichtigung kaum noch erkennbar sind.“*²⁷³ Auch die Temperaturmessungen bezüglich des Wärmedurchgangs bezogen sich lediglich auf zwei Betonarten. Bei beiden zeigte sich indessen ein markanter Temperaturanstieg der Wände trotz Abkühlung des Innenraumes.²⁷⁴

„Aus den Versuchen lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen, die indessen auf ihre Allgemeingültigkeit noch nachzuprüfen wären

- 1. Auf die Standfestigkeit eines Eisenbetonhauses ist es im Falle eines gewöhnlichen Schadenfeuers ohne nennenswerten Einfluß, ob die Ueberdeckung der Eiseneinlagen mit Beton 2 cm oder nur 0,5 cm dick ist. Auch die 0,5 cm dicke Ueberdeckung vermag die in den Wänden liegenden Eisen ausreichend lange vor starker Erwärmung zu schützen.*
- 2. Der Kalksteinschotterbeton ist dem Flußkiesbeton in bezug auf Langsamkeit der Wärmeübertragung und Haltbarkeit der Ueberdeckung der Eisen im Feuer und gegenüber dem Löschwasser überlegen.*
- 3. Die Verbindung an ihren Enden sich kreuzender Eisenstäbe nur mit Bindedraht hat sich, wie vorauszusehen war, nicht als ausreichend erwiesen, um den Wärmedehnungen stand zu halten. Die Eisen müssen, wenn dieser Zweck erreicht werden soll, untereinander verhakt werden.*

²⁶⁸ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 96, hier S. 11.

²⁶⁹ Ebd., hier S. 14–18.

²⁷⁰ Überraschenderweise begann die Wölbung der ersten Wände bei Haus I (2 cm Betondeckung) bereits nach 10 Minuten, wohingegen die Wände des Hauses II (0,5 cm Betondeckung) bis 40 Minuten nach Beginn senkrecht blieben.

²⁷¹ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 96, hier S. 15.

²⁷² Ebd., hier S. 23f.

²⁷³ Ebd., hier S. 23.

²⁷⁴ Ebd., hier S. 24f.

4. *Die Haltbarkeit der dem Feuer zugekehrten Flächen leidet, wenn der Beton an der Außenhaut und über den Eisen zu dicht wird. Schalenförmige Absprengungen durch Bildung von Wasserdampf innerhalb des Betons sind die Folge.*
5. *Bei richtiger Konstruktion der Decken, Unterzüge und Stützen vermögen die Decken auch im Feuer höhere Lasten als die Nutzlast zu tragen, ohne dem Feuer den Durchgang in die Obergeschosse zu gestatten.*
6. *Im allgemeinen ist nicht anzunehmen, daß ein richtig konstruiertes und gut ausgeführtes Eisenbeton-Gebäude durch ein Schadenfeuer zerstört werden kann. In der Regel werden bei örtlichem Brande in einem Betongebäude die dem Brandherd benachbarten Räume ohne Gefahr betreten werden können. Die in solchen Räumen lagernden brennbaren Gegenstände werden in der Regel vom Feuer nicht angegriffen oder beschädigt werden.“²⁷⁵*

Drei Jahre später folgten letzte Belastungsversuche, bevor die Häuser abgerissen wurden.²⁷⁶ Diese waren gleichartig zu den vorhergehenden Tests gestaltet. Trotz der stärkeren Durchbiegung und einer bleibenden geringen Formänderung, kam man zu dem Schluss, *„daß die Decken beiderlei Zusammensetzung durch das Feuer und das Löschwasser keine erhebliche Schädigung in ihrem inneren Zusammenhang, in ihrer Tragfähigkeit und in ihrem elastischen Verhalten erlitten haben“²⁷⁷* und auch die Säulen hätten *„ihre elastischen Eigenschaften innerhalb der 1½ fachen Nutzlast bewahrt.“²⁷⁸*

Es ist bemerkenswert, in welchem Umfang dieser Versuch seinerzeit durchgeführt und vor allem dokumentiert wurde. Entsprechend der damaligen Angaben wäre eine Simulation in der heutigen Zeit detailliert möglich. In Anbetracht der erstmaligen Durchführung einer repräsentativen Brandprobe an einem Eisenbetonbau sind bereits viele Faktoren berücksichtigt worden. Die dabei festgestellten Fehler bei der Durchführung (Rissbildung durch fehlerhafte Ausführung der Ecken und hohe Feuchtigkeit des Betons etc.) sollten bei späteren Versuchen vermieden werden.

Bereits im April 1913 begann man schließlich mit dem Bau zweier neuer Eisenbetonhäuser (III und IV) an der Stelle ihrer Vorgänger, um das Verhalten dieser bei Feuer tiefergehend erforschen zu können.²⁷⁹ Bei diesem Versuch sollte aber, im Gegensatz zum vorherigen, eine größere und realitätsnähere Baulichkeit die Grundlage darstellen. Dazu errichtete man zweigeschossige Gebäude, durch welche ein starker Luftzug bei einem Brand und das Verqualmen des zehn Meter hohen Treppenraumes simuliert werden sollte (s. Abbildung 40). Vergleicht man nun die Eisenbetonbauten von 1910 und 1913, sind wohl lediglich die jüngeren tatsächlich als Gebäudemodell zu betiteln, da bei diesen *„möglichste Anlehnung an Verhältnisse der Praxis gesucht wurden.“²⁸⁰* Auch bei den Häusern III und IV verwendete man verschiedene Materialien für die Bauteile. So nutzte man neben dem hauptsächlich zu prüfenden bewehrten Basalt- bzw.

²⁷⁵ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 96, hier S. 30f.

²⁷⁶ Gary, M., *Belastung und Abbruch von zwei auf Widerstandsfähigkeit gegen Feuer geprüften Eisenbetonbauten*, Berlin 1913.

²⁷⁷ Ebd., hier S. 4.

²⁷⁸ Ebd., hier S. 5.

²⁷⁹ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 3.

²⁸⁰ Ebd., hier S. 1.

Granitbeton unter anderem auch diverse unbewehrte Betonarten, Sandstein, Mauerziegel und Schmiedeeisen, um daraus Wände, Treppen und Decken zu fertigen.²⁸¹ Den Eisenbetonkonstruktionen gingen die Erfahrungswerte des ersten Versuches voraus, denn die Ziele des damaligen Arbeitsplanes waren weitestgehend übernommen worden.

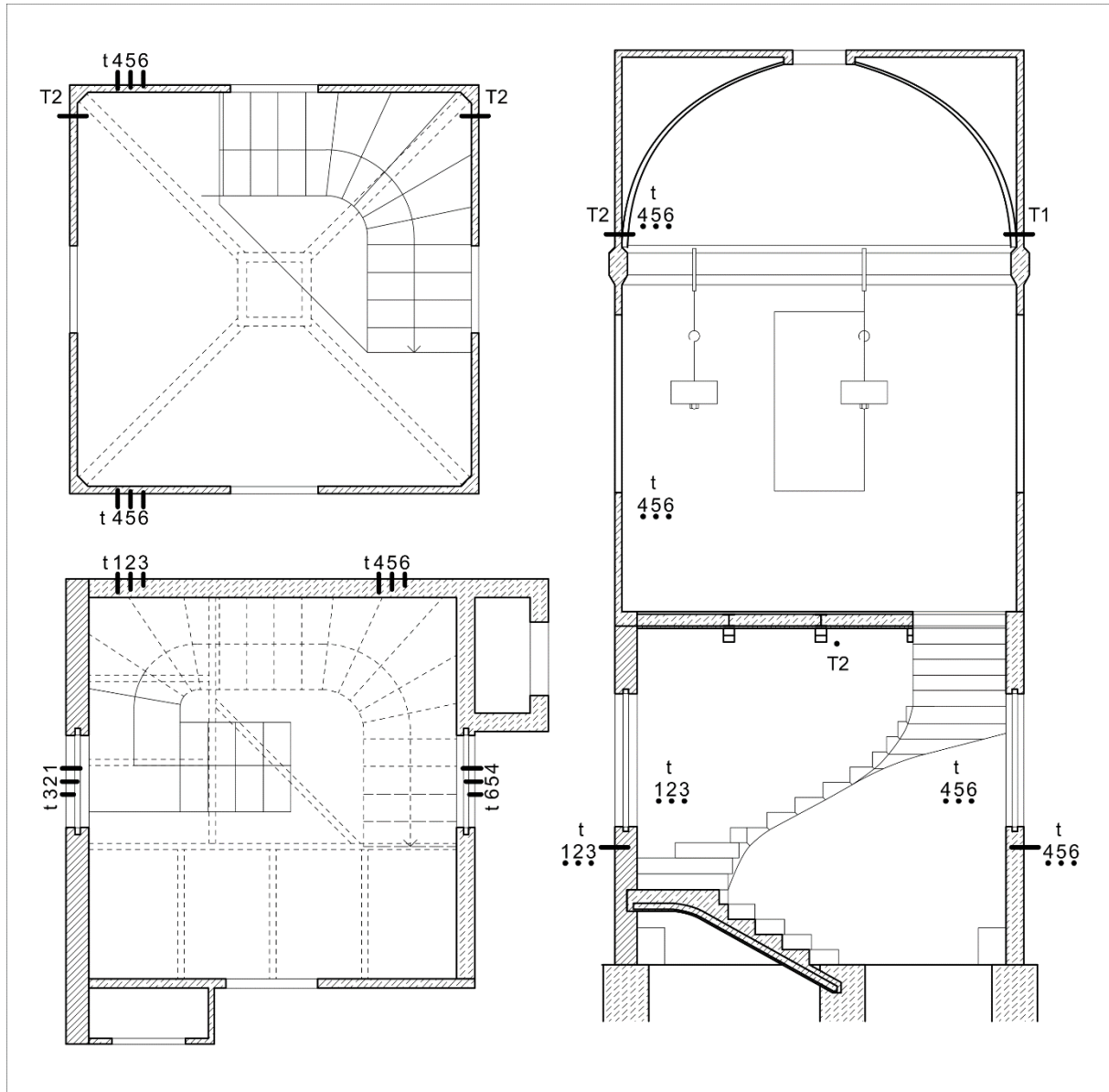


Abbildung 40: Aufbau des Hauses III (Form entspricht weitestgehend auch Haus IV)²⁸²

²⁸¹ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 2.

²⁸² Ebd., hier S. 4a.



Abbildung 41: Blick auf das Versuchsgelände mit den beiden Gebäudemodellen²⁸³

Die Brandprüfungen fanden an zwei Tagen im Oktober 1914 statt, da jeweils getrennte Feuer in den Ober- und Erdgeschossen entfacht wurden.²⁸⁴ Um die Obergeschosse zu befeuern nutzte man petroleumübergossene 3 m hohe Kieferscheitholzstapel zu je 20 m³, die während des Versuchs mit weiteren 2,5 m³ Holz nachgefeuert wurden. Die Temperaturmessung erfolgte erneut an verschiedenen Punkten im Gebäude. Angelehnt an die Ziele der 1910 stattgefundenen Prüfung nahm man anschließend Beobachtungen der Materialbeschaffenheit vor und machte umfangreiche Messungen der Temperaturentwicklung anhand diverser Metalllegierungen in Schamotteschälchen an verschiedenen Punkten.

Das Verhalten der Bauteile und -stoffe wurde dabei äußerst sorgfältig analysiert. Wie bereits 1910 stellte die Untersuchung der Differenzen von bewehrtem Basalt- und Granitbeton einen Kernpunkt der Versuchsreihe dar. Der genaue Brandverlauf soll an dieser Stelle wegen seiner Differenziertheit nicht genauer beleuchtet werden. Die relevantesten Ergebnisse sind in den vorherigen Kapiteln bereits erläutert worden (s. Kapitel 3.2.3, 3.3.3 und 3.4.3). Grundsätzlich bieten die Erfahrungen der früheren Versuche einen soliden Überblick über die Feuerbeständigkeit des Eisenbetons, denn 1915 bestätigten sich die Resultate im Wesentlichen. „Das Basalthaus III bestand die Feuerprobe ausgezeichnet; man hatte den Eindruck, daß es kaum einen anderen Baustoff geben dürfte, der sich bei 8 cm Stärke so gut gehalten haben würde.“²⁸⁵ Besonders hervorzuheben ist jedoch eine überraschende Erscheinung, die während des Versuchs auftrat. Im Gegensatz zu dem Basaltbeton sprangen bei dem Granitbetonhaus an mehreren Stellen große Wandstücke unter lautem Knall ab und schleuderten bis zu 40 m weit. Bei späteren Untersuchungen prüfte man mehrere Lösungsansätze und kam zu dem Schluss, „daß Teile von verwittertem Feldspat die Betonoberfläche schleimig und daher besonders dicht gemacht hatten, so

²⁸³ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 12.

²⁸⁴ Ebd., hier S. 13f.

²⁸⁵ *Brandproben an Eisenbetonbauten*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1918, unbekannter Verfasser, S. 428.

daß der im Innern sich bildende Wasserdampf den Beton gesprengt habe.“²⁸⁶ Außer den jeweiligen Eigenschaften der Statik und des Feuerwiderstandes ist also bei Eisenbeton im Besonderen auf dessen (Oberflächen-)Beschaffenheit zu achten.

Eine Beurteilung beider Betonsorten führte (abgesehen von ebendieser Erscheinung) nicht zu einem eindeutigen Ergebnis, da im Basaltbeton aufgrund der deutlich höheren Innenraumtemperaturen eine größere Maximalwärme gemessen wurde.²⁸⁷ Bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass Granitbeton vergleichsweise schnell die Wärme leitet. In Anbetracht der Vielzahl an Proben wurde zusammenfassend festgestellt, dass eine Erwärmung von unter 400 °C bei Einhaltung der Elastizitätsgrenzen im Allgemeinen nicht schädlich für das Gefüge aus Eisen und Beton sei. *„Es ist bekannt, daß so geringe Erwärmung des Betons, selbst wenn sie sich in der gleichen Zeit auf die einliegenden Eisen überträgt, weder deren Dehnung, noch ihre Zugfestigkeit nennenswert zu beeinflussen vermag. Nach Versuchen im Kgl. Materialprüfungsamt ist zwar der Einfluß der Erwärmung auf Fluß-Eisen verschiedener Härtestufen verschieden, innerhalb der bei Schadenbränden in Frage kommenden Zeiten beim Erhitzen des Beton-Innern aber für alle Eisen praktisch belanglos [...]“*²⁸⁸ Viele Großbrände bestätigten diese Aussage, denn während beispielsweise Bauwerke aus Mauerziegeln durch ein ungeschütztes Eisentragwerk einem Großfeuer nicht standhielten, bewährten sich Eisenbetonbauten durch das charakteristische Zusammenwirken als tragendes Bauteil und raumabschließendes Element.²⁸⁹

4 Einfluss der Prüfungen auf das Baurecht

4.1 Begriffe der Feuersicherheit

Die am häufigsten verwendeten Begriffe „feuersicher“ und „feuerfest“ hatten über mehrere Jahrzehnte keine leistungsgebundene Definition. Vielmehr oblag es den zuständigen Personen, Bauteilen diese Eigenschaft zuzuschreiben. Sowohl die Erfinder angeblich feuerwiderstandsfähiger Materialien als auch die Prüfer dieser Lösungen wiesen den Produkten nach meist subjektivem Ermessen diese Funktion zu, da grundsätzlich keine rechtlichen Anhaltspunkte für Einsprüche existierten.²⁹⁰ Aus diesem Grund entstanden besonders im ausgehenden 19. Jh. einige relativierende Aussagen, wie zum Beispiel *„durchaus feuersicher“*²⁹¹,

²⁸⁶ *Brandproben an ...*, wie Anm. 285, hier S. 428.

²⁸⁷ Gary, M., *Brandproben an ...*, wie Anm. 97, hier S. 41. Die höheren Temperaturen sind vermutlich auf äußere Einflüsse (Außentemperatur, Wind und Wetter) zurückzuführen.

²⁸⁸ Ebd., hier S. 41f.

²⁸⁹ Wendt, V., *Das Verhalten von Guß(Konkret-)betonbauten im Feuer*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1915, S. 93f.

²⁹⁰ Stude, A. u. M. Reichel, *Bericht über ...*, wie Anm. 166, hier S. Bei der Versuchsreihe wurden die angeblich „feuersicheren“ Bauteile mehrerer Firmen zweckentsprechend geprüft. Dabei stellte sich heraus, dass einige Produkte nicht die versprochene Eigenschaft erfüllen konnten, trotzdem wurden sie bereits vor den Versuchen der Öffentlichkeit zum Kauf angeboten. Auflagen für den fortlaufenden Vertrieb der falsch beworbenen Waren sind erstaunlicherweise nicht bekundet worden.

²⁹¹ *Brandproben feuersicherer Bauconstructionen in Berlin*, in: Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1893, unbekannter Verfasser, S. 252.