Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 21 (1975)

Artikel: Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet des bautechnischen Brandschutzes von Metallleichtkonstruktionen

Autor: Hafrang, Josef / Schnabel, Otto

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-18799

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 10.01.2026

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

Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet des bautechnischen Brandschutzes von Metalleichtkonstruktionen

Recent Trends on Fire Protection for Structures in Light Metal

Conceptions nouvelles pour la protection contre l'incendie de constructions métalliques légères

Josef HAFRANG
Prof. Dipl.-Ing., Direktor

Otto SCHNABEL
Bauing.

Bauakademie der DDR
Berlin, DDR

Die Brandgefahr kann zur Zeit nur generell auf Grund der wirkenden potentiellen Hauptfaktoren eingeschätzt werden.
Diese sind
- die Brandbelastung durch die vorhandenen brennbaren Stoffe unter Berücksichtigung ihrer Brennbarkeit (Abbrandgeschwindigkeit) sowie der Verqualmungs- und Korrosionsgefahr durch die Rauchgase
- die Brandausbreitungsgefahr in Abhängigkeit von den stofflichen und geometrischen Parametern der Konstruktion, der Raumteilung sowie den Be- und Entlüftungsmöglichkeiten
- die Zündwahrscheinlichkeit. Sie kann durch besondere Maßnahmen bezüglich Alarmierung und Verhinderung der Brandentwicklung vermindert, jedoch nie völlig beseitigt werden.

Generelle Zielstellung für den Brandschutz ist, für den Brandfall die maximale Sicherheit der Menschen zu gewährleisten und für den Schutz der Sachwerte eine optimale Lösung zwischen den erforderlichen Aufwendungen und dem möglichen Schadensumfang zu finden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß viele Einzelmaßnahmen des bautechnischen Brandschutzes beiden Hauptrichtungen der generellen Zielstellung dienen.

Dieser Zielstellung entsprechend konzentrieren sich die Maßnahmen des bautechnischen Brandschutzes vor allem auf
- die Erhaltung der Standsicherheit der Gebäude sowie die Beschränkung der Brandausbreitung zwischen und in Gebäuden und baulichen Anlagen
- die Sicherung der Evakuierung von Menschen für den Brandfall
- die Schaffung von Voraussetzungen für eine schnelle und wirksame Brandbekämpfung.

Im Zusammenhang mit grundsätzlichen Untersuchungen zum bautechnischen Brandschutz von Stahlkonstruktionen wurde von der Bauakademie der DDR - Institut für Industriebau - in enger Zusammenarbeit mit dem VEB Metalleichtbaukombinat und dem Institut für Bergbausicherheit Bereich Freiberg eine Konzeption für ein neues Verfahren zum Brandschutz von Stahlkonstruktionen entwickelt und experimentell erprobt.

Das Prinzip dieses Verfahrens beruht darauf, daß die zu schützenden Stahlbauteile durch eine Stahlblechabschirmung geschützt werden. Innerhalb der Abschirmung wird Wasser versprüht. Beim Verdampfen dieses Wassers wird die eingedrungene Wärmeenergie gebunden und mit dem ausströmenden Wasserdampf von der Stahlkonstruktion weggeführt.

Die Verdampfung von Sprühnebeln wird in der Technik vielfältig angewandt. Zum Beispiel in der Klimatechnik, Trocknungstechnik, Verfahrenstechnik, bei Dampferzeugern und Verbrennungskraftmaschinen. In der chemischen Industrie wird die Strahlungsabsorption des Wasserdampfes sowie die Verhinderung der konvektiven Wärmeübertragung durch abschirmende Dampfschichten bereits im großtechnischen Maßstab zum Schutz bei Havariefällen genutzt. [1]

Sprühnebel bestehen in der Regel aus einer Vielzahl von Einzeltropfen unterschiedlicher Größe, unterschiedlicher Verdampfungszeit und unterschiedlicher Fallgeschwindigkeit. Der Volumenteil der kleinsten Tropfen ist trotz ihrer großen Anzahl gering.
Der verdampfende Wassersprühnebel entzieht dem durchflogenen Gas durch Konvektion Wärme und absorbiert Strahlungsenergie.
Feine Tropfen haben bei gleicher Wassermenge eine bessere Absorptionswirkung als gröbere.
Die Verdampfungszeit eines fallenden Wassertropfens wird praktisch kaum von seiner Anfangstemperatur beeinflußt. Bei hoher Umgebungstemperatur erwärmt sich der Tropfen sehr schnell auf die seinem Anfangsradius entsprechende Gleichgewichtstemperatur. Mit der Verringerung des Tropfenradius nimmt die Tropfentemperatur wegen des Rückganges der Strahlungswärme wieder ab, um am Ende steil anzusteigen. Mit dem Verlauf der Tropfentemperatur korrespondiert der Verlauf der Verdunstungsgeschwindigkeit. [2] [3]

Wassertröpfchen, die während ihrer Flugbahn nicht vollständig verdampfen und auf eine heiße Oberfläche treffen, entziehen dieser die zur Verdampfung erforderliche Energie.
Die gesamte zur Verdampfung erforderliche Energie Q entspricht der Enthalpiedifferenz $_i$ des versprühten Wassers und des Wasserdampfes beim vorliegenden Dampfdruck. Zur Verdampfung von Wasser mit t = 20 °C ist bei Normaldruck die Wärmemenge

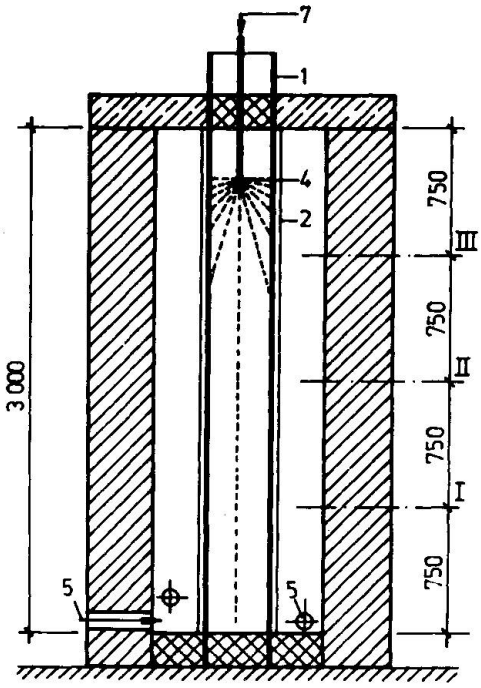
$$Q = 639 - 20 = 619 \text{ kcal/kg}$$

erforderlich.
Bei weiterer Energiezuführung ohne Drucksteigerung wird der Wasserdampf überhitzt. Die dann erforderlichen Wärmemengen steigen bis auf 832 kcal/kg für 500 °C an.
Beim Verdampfen des Wassers und bei der Überhitzung des Wasserdampfes tritt eine erhebliche Volumenvergrößerung ein. Wenn Wasserdampf mit glühendheißen Stahlflächen in Berührung kommt, besteht die Gefahr einer Knallgasexplosion. Durch theoretische und experimentelle Untersuchungen wurde nachgewiesen, daß diese Gefahr bei der Stahlblechabschirmung nicht besteht.
Durch Untersuchungen über dieses neue aktive brandschutztechnische Verfahren sollte bewiesen werden, daß sich bei jeder beliebigen stationären thermischen Belastung unter der Voraussetzung einer gleichbleibenden verdampfenden Wassermenge ein thermisches Gleichgewicht einstellt.

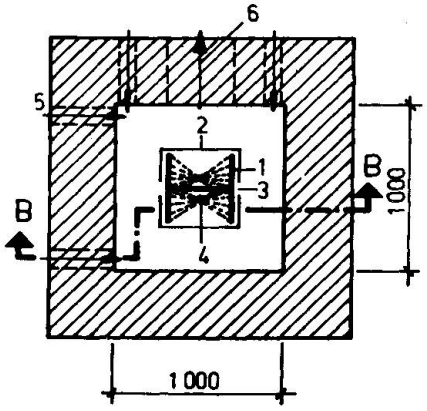
Bei instationärer thermischer Belastung ist auch das Temperaturgefälle zwischen Brandraum und Temperatur der tragenden Stahlkonstruktion instationär.

Zum experimentellen Nachweis der Konzeption wurden zunächst grundsätzliche Berechnungen über die erforderlichen Dampf- und damit Wassermengen durchgeführt. Daraus ableitend wurde eine Konzeption für die orientierenden Versuche und für die Ausrüstung der Versuchskörper ausgearbeitet.

Es wurde eine Serie von Versuchen mit verschiedenen Variationen durchgeführt. Als Versuchskörper wurde eine I-Stahlstütze 400/400 mit F = 126 cm^2 gewählt. Die Versuchseinrichtung zeigt Bild 1.



Schnitt B-B



Grundriß A-A

1 Stahlstütze
2 Stahlblech
3 Perforierung
4 Düse
5 Ölbrenner
6 Abgas
7 Wasserzufuhr
I, II, III Meßebenen

Bild 1

Die Anlage für die Wasserbesprühung besteht aus einem im Stützenhohlraum verlegten Rohrsystem mit entsprechend angeordneten Düsen. Es wurden handelsübliche Dralldüsen verwendet.

Für die Auslösevorrichtung wurden die von Sprinkleranlagen bekannten Glasfäßchen eingesetzt.
Die Temperaturen wurden bei den Brandversuchen in mindestens 2 Ebenen gemessen. Temperaturmeßpunkte gehen aus Bild 2 hervor.

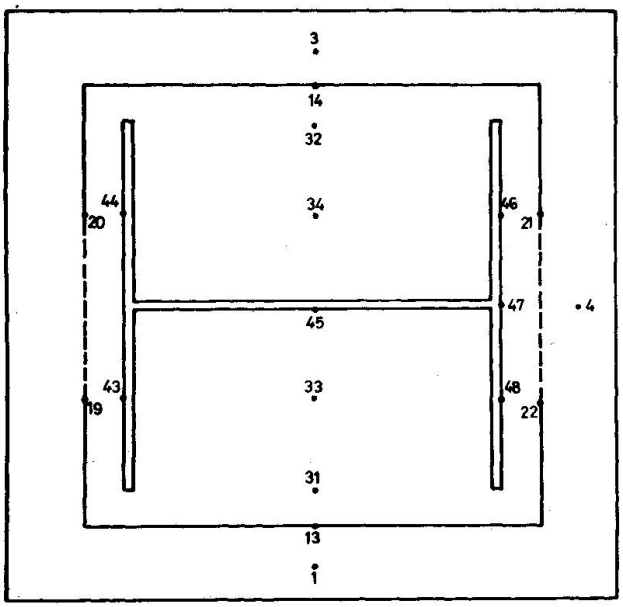
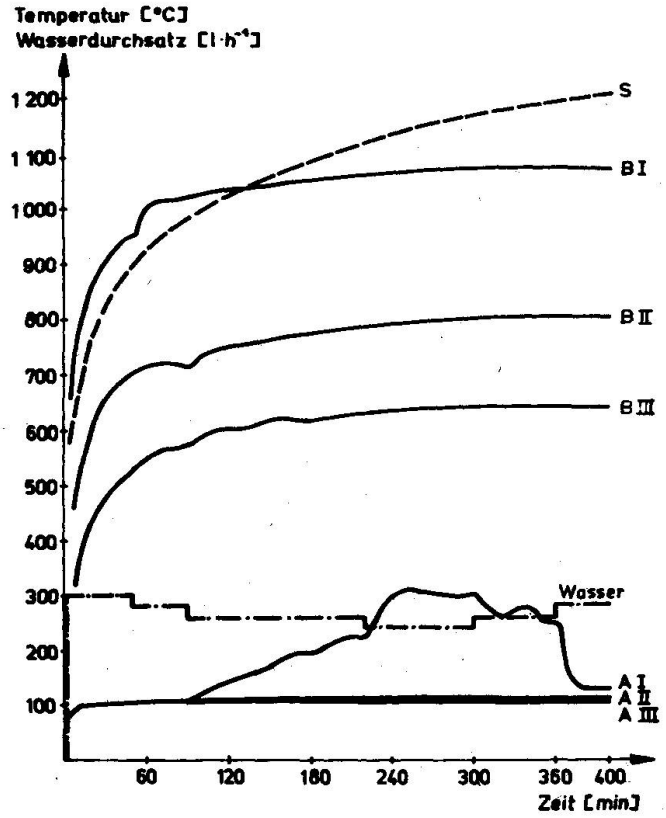


Bild 2
Temperaturmeßpunkte

Die Ergebnisse eines Versuches zeigt Bild 3



S = Standardkurve
B = Mittlere Brandraumtemperatur-Meßebenen I-III
A = Mittlere Stahltemperatur-Meßebenen I-III

Bild 3
Temperatur-Zeit-Kurven

Alle Versuchsreihen haben die Wirksamkeit der Wasserversprühung bei unterschiedlichen Intensitäten nachgewiesen. Grundsätzlich ist es möglich, durch eine Wasserversprühung bei Stahlstützen die Stahltemperaturen unterhalb ihres kritischen Wertes zu halten. Durch geeignete Wahl des Wasserdurchsatzes, der Düsenanordnung und anderer Komponenten läßt sich die maximale Stahltemperatur auch bei extremen Brandraumtemperaturen auf die zulässige, bzw. gewünschte Höhe über 100 °C einregulieren.
Den entscheidensten Einfluß übt jedoch die Zuführungsintensität des Wassers aus. Die Versuchsergebnisse nach Bild 4 zeigen, daß bei einer Intensität von 280...300 l je Stunde bei einer Stützenhöhe von 3,00 m gute Ergebnisse erzielt wurden.
Beachtet man, daß etwa 20 % des Wassers unverdampft abgelaufen ist, so kann man schlußfolgern, daß der Wirkungsgrad noch verbessert werden kann.

Zusammengefaßt kann zu dem neuen schutzrechtlich angemeldeten Verfahren (Brandschutzverfahren) festgestellt werden:

Bedingt durch die spezifischen Eigenschaften des Schutzsystems lagen beim Versuch nach Bild 4 die mittleren Brandraumtemperaturen unterhalb der Standard-Temperaturkurve, obwohl die im Versuchsstand angeordneten Dieselöl-Brenner mit extrem hoher Leistung gefahren wurden. Der Grund ist darin zu suchen, daß der aus der Stützenbekleidung ausströmende Wasserdampf relativ kalt war und eine turbulente Durchmischung mit den Verbrennungsgasen nicht vermieden werden konnte.
Es ist daher notwendig, zum Nachweis des Feuerwiderstandes von Stahlkonstruktionen mit Wasserversprühung die fw-Prüfung unter Berücksichtigung der dabei vorliegenden Bedingungen durchzuführen.

Bei allen Versuchen konnte festgestellt werden, daß bei stufenweiser Verminderung der versprühten Wassermenge je Zeiteinheit (Wasserdurchsatz) eine entsprechende Erhöhung der Stahltemperaturen eintrat, die sich dann bei gleichbleibendem Durchsatz jeweils asymtotisch einem gleichbleibenden Temperaturwert näherten.
Damit konnte nachgewiesen werden, daß bei Einhaltung eines bestimmten Wasserdurchsatzes ein beliebig lange anhaltender Feuerwiderstand von Stahlstützen gewährleistet werden kann.

Die Erprobung der automatisch wirkenden Auslösevorrichtung ergab, daß ihre Funktion in jeder Einbaulage und bei jedem praktisch vorkommenden Wasserdruck einwandfrei gesichert ist. Die thermische Auslösung wird durch die seit langer Zeit bewährten Glasfäßchen bei vorgegebener Bersttemperatur bewirkt.
Die Anwendung des Schutzsystems läßt weitere brandschutztechnische und ökonomische Vorteile erwarten, wenn es nicht nur bei Stützen, sondern im Rahmen einer komplexen Brandschutzkonzeption für Konstruktionen, Gebäudeteile oder Gebäude eingesetzt wird.
Das Schutzsystem ist relativ unabhängig von der Geometrie der zu schützenden Konstruktion. Es ist grundsätzlich sowohl bei vertikalen Stabelementen (Stützen) als auch bei horizontalen oder schräg angeordneten Konstruktionselementen und ggf. auch für Brandschutzverschlüsse (Tore, flexible Wände usw.) einsetzbar.

Gegenüber dem bereits mehrfach angewendeten System der wassergekühlten Stahlstützen (Gebäude der US-Steel Corporation in Pittsbourgh) [4] bietet das System der Wasserversprühung eine Reihe von Vorteilen (Wasserbedarf und Aufbereitung, Gewicht - Korrosions- und Frostschutz) bei zumindest gleicher Brandschutzeffektivität.

Das Schutzsystem ist in der Lage, die Standfestigkeit der Gebäudekonstruktion bei extremer Brandbeanspruchung anhaltend zu gewährleisten. Das ist besonders für große Objekte von Bedeutung, bei denen zum Schutz von Menschen (Evakuierung) oder aus volkswirtschaftlichen Gründen gefordert wird, daß sie bei Bränden in ihrer baulichen Substanz weitestgehend erhalten bleiben.

Moderne Metalleichtbauten bestehen zum Teil aus hochbeanspruchten Traggliedern mit weitestgehender Ausnutzung der Traglast. Es werden gegliederte und dünne Profilquerschnitte angewandt. Das Verhältnis Oberfläche:Querschnitt ist hierbei brandschutztechnisch ungünstig. Der Schutz durch bekannte Bekleidungskonstruktionen ist oft konstruktiv schwierig bzw. unökonomisch. Bei herkömmlichen Bekleidungskonstruktionen sind die Konstruktionen unzugänglich und die Dauerwirkung des Korrosionsschutzes ist unsicher bzw. unkontrollierbar.

Zum Nachweis der Ökonomie wurden erste Vergleichsrechnungen durchgeführt. Zu Grunde gelegt wurde ein 5geschossiges Gebäude mit 66,00 m x 14,40 m Grundfläche und einer Geschoßhöhe von 3,30 m. Verglichen wurde der bei der Erstinvestition anfallende Preis für 3 Brandschutzkonstruktionen.

1. Bekleidung der Stahlkonstruktionen aus zwei 20 mm dicken Sokalitplatten (Gesamtdicke = 40 mm) mit einem geprüften Feuerwiderstand der Stützen fw = 3,0.

2. Bekleidung mit 100 mm dicken Gasbeton-Steinen mit einem geprüften Feuerwiderstand der Stützen fw = 4,0.

3. Schutz der Stützen durch Wasserversprühung:
   Die Stützen sind durch eine 1 mm dicke Stahlblechbekleidung geschützt. An jeder Stütze sind innerhalb der Stützenbekleidung je Geschoß zwei Auslöseventile mit Hohlglaskörpern montiert.
   Als Wasserversorgungsquelle dient eine im Kellergeschoß vorhandene Anschlußleitung, die aus einer Ringleitung außerhalb des Gebäudes gespeist wird. Die Verteilungsleitungen sind Ringleitungen und jeweils für die einzelnen Stützengruppen absperrbar. Sie sind zur Vermeidung von Düsenverstopfungen mit einem Filter versehen.

Gegenüberstellung der Kennwerte zeigt Tabelle 1

Tabelle 1

Variante	Vergleichspreis %	Masse des Schutzsystems bzw. d.Bekleidung je Stütze und Geschoß kg	Querschnitt einer bekleideten Stütze m^2	Verlust an Nettofläche bei 180 Stützen m^2	fw
1.Sokalitbekleidung	162 %	208 495 %	(430mmx550mm) 0,237	42,6 (15,6)	3,0
2.Gasbetonbekleidung	41,2 %	450 1070 %	(500mmx640mm) 0,32	57,5 (30,5)	4,0
3.Wasserversprühung	100 %	42 100 %	(340mmx440mm) 0,15	27,0 (0,0)	unbegrenzt

Der Gesamtpreis des Schutzsystems mit Wasserversprühung liegt etwa in der Mitte zwischen den entsprechenden Werten für Sokalit- bzw. Gasbetonbekleidung. In Bezug auf die Masse-Kennwerte und die Gesamtnettofläche hat das Schutzsystem Wasserversprühung die günstigsten Kennwerte. Der Hauptvorteil ist jedoch der faktisch unbegrenzte Feuerwiderstand der Stahlstützen, ein Vorteil, der für spezifische große Objekte eine ausschlaggebende Bedeutung haben kann.

Literatur:

I1I ...
Steam Curtain-Shrouds Flammable Vapors
Chemical Engineering (1971)8, S. 36

I2I Schlünder, E.-U.
Über die Trocknung ruhender Einzeltropfen und fallender Sprühnebel
Dissertation, TH Darmstadt, 1962

I3I Rettig, H.
Die Verdampfung von Tropfen an einer heißen Wand unter erhöhtem Druck
Dissertation, TH Stuttgart, 1965

I4I Hotschkiss, J.G.
Hauptverwaltungsgebäude der "US-Steel Corporation" in Pittsbourgh (USA)
Acier, Stahl, Steel (1967)9, S. 357-364

ZUSAMMENFASSUNG

Der Brandschutz ist ein integrierter Bestandteil der umfassenden sicherheitstechnischen Massnahmen in Bauwerken. Die generelle Zielstellung ist die Gewährleistung der Sicherheit der Menschen und der Schutz der Sachwerte im Brandfalle.

Im Beitrag wird als Ergebnis von theoretischen und experimentellen Untersuchungen eine neue Lösung für Brandschutzkonstruktionen behandelt, die auch unter extremen Brandeinwirkungen für die Konstruktion des Gebäudes bzw. die geschützten Anlagen eine langfristige Erhaltung der Standsicherheit gewährleistet.

SUMMARY

The structural fire safety is a full component of complete structural safety requirements. The principle is to guarantee the human life and to protect materials in case of a fire.

Results of theoretical investigations and experiments on a new design for structural fire protection are discussed, for guaranteeing a longtime resistance to the effects of fire on the load bearing structure and on equipments and materials.

RESUME

La protection contre l'incendie fait partie intégrante des mesures totales visant à assurer la sécurité des structures. L'objectif en est de garantir la vie humaine et de protéger les biens matériels en cas d'incendie.

On présente les résultats de recherches théoriques et d'essais relatifs à une nouvelle conception de la protection des structures contre l'incendie: il s'agit d'assurer une résistance de longue durée aux effets de l'incendie, tant pour la structure porteuse que pour les équipements et matériels.