Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 93 (1975)
Heft: 17: Stahlbau

Artikel: Brandbelastungen im Hochbau
Autor: Bryl, S.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72727

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: 09.08.2025

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

Brandbelastungen im Hochbau

Von **S. Bryl**, Winterthur

DK 614.841.41

Berechnung von Brandbelastungen

Der Brandverlauf kann am einfachsten durch eine Zeit-Temperatur-Kurve dargestellt werden, wobei als Temperatur z.B. die durchschnittliche Temperatur eines Brandraumes angenommen wird. Die Naturbrände als Zufallsereignisse können sehr verschiedenartig verlaufen. Bei den ungelöschten, sich frei entwickelnden Bränden ist der Brandverlauf vor allem von folgenden Faktoren abhängig (Bild 1):

- *Brandbelastung:* Art, Menge, Beschaffenheit
- *Luftzufuhr:* Fenster-, bzw. Ventilationsöffnungen, thermodynamische Eigenschaften des Brandraumes
- *Geometrie des Brandraumes:* Höhe, Tiefe, Breite, Lage der Ventilationsöffnungen
- *Wärmeabgabe* durch die den Brandraum abgrenzenden Wände und Decken

Zu den wichtigsten Faktoren gehört die *Brandbelastung*, d.h. der Heizwert aller brennbaren Stoffe, die sich in einem Brandabschnitt befinden. Die meist verbreitete Definition drückt die Brandbelastung in Heizwert/Grundfläche des Brandabschnittes aus:

$$q_0 = \Sigma\,(W\,H)/A \quad \text{Mcal/m}^2$$

W Menge des brennbaren Stoffes in kg

H Verbrennungswärme (Heizwert) dieses Stoffes in Mcal/kg

A Grundfläche des Brandabschnittes in m²

Tabelle 1. Verbrennungswärme brennbarer Stoffe

Material	kg/m³	Mcal/kg
Aethan		12
Alkohol (Aethyl-)		6
Anthrazit	1200	8
Asphalt		9,5
Azetylen		12
Bambusrohr		4
Bauplatten (leicht, mit Holzwolle)	600	2
Baumwolle gepresst	1500	4
Benzin	700	10
Benzol		10
Benzylalkohol		8
Bitumendachpappe		
– besandet	1300	4
– unbesandet	1300	5
Bodenbeläge (PVC)		5
Braunkohle (Briketts)	1800–2450	5
Brennholz (Holzscheiter)	400	4
Butan		11
Butter		9
Calcium		1
Calciumcarbid 80%		4
Celluloid		4
Cellulose		3,8
Cetylalkohol		10
Cyclohexan		11
Diäthyläther	720	9
Dieselöl		10
Düngemittel:		
– Salpeter		0,5
– Harnstoff		2
– Hornmehl		4
Dynamit (75%)		1
Eiweiss/Eigelb/Eipulver		5
Essigsäure		4
Erdöl		10
Fette	880	10
Fische (getrocknet)		3
Flachs		4
Fleisch (getrocknet)		6
Gasöl		10
Getreide	750	4
Glycerin		4
Gummi (Pneus usw.)		6
Gummiplatten	1400	10
Harnstoff		2
Harnstoffharze gefüllt		5
Hartgummi		8
Harz	1100	10
Haselnüsse		4
Heizöl leicht	850	10
Heu		
– lose	70	4
– gepresst	170	4
Heptan		11
Hexan		11
Holz		
– allgemein	500	4
– Eichenholz	800	4
– Tannenholz, trocken	550	4
Holzfaserplatten		
– hart	650	4
– weich	220	4
Holzkohle	250	7
Holzspanplatten	630	4
Holzwolle	60	4
Hornmehl		4
Kaffee		4
Kakaopulver		4
Karton		3,9
Käse		4
Kautschuk		10
Kehricht		2
Klebstoff		9
Kleider		4–5
Kohle		
– Steinkohle	1000	8
– Steinkohlenkoks		7
– Steinkohlenbriketts	1250	8
Kohlenmonoxid		2
Kohlenstoff		8
Kokosfasern und -matten	500	6
Kokosnüsse (getrocknet)		5
Koks	600	8
Kork (Platten)	240	4
Kunstfasern (Kunstseide)		4
Kunstharz (flüssig)		10
Kunstharzplatten (Hartpapier)		5
Kunststoffe		
– Folien	1200	4
– Schaum	50	5
Kunststoffplatten	1400	4
Lebertran		9
Leder		5
Leinöl		9
Leuchtgas		4
Linoleum	1300	5
Lumpen	300	4
Magnesium		6
Maispulver		4
Malz	530	4
Mehl – locker	450	4
Methan		12
Methanol (Methylalkohol)		5
Milchpulver		4
Natrium		1
Naturfasern (Strangen und Stoffe in Ballen)	1000	4
Nitrocellulose		2
Öle		
– Baumwollsamenöl		9
– Borneol		9
– Dieselöl		11
– Erdöl		10
– Gasöl		10
– Heizöl		10
– Olivenöl		10
– Paraffinöl		10
– pflanzliche Öle		10
– Rapsöl		10
– Rüböl		10
– Schmieröl		11
Papier, lose	875	3–4
Pappe		4
Paraffin		11
Petroleum		10
Pflanzeneiweiss		6
Phenol		8
Phenolharz		6
Phenylacrolein		8
Phosphor		6
Pigmentmischung für Pneufabrikation		6
Polyacrylsäurebutylester		7
Polyamid		7
Polyäthylen		10
Polycarbonat		7
Polyester (ohne Glasfaser)		6
Polyester (mit 30% Glasfaserverstärkung)		4
Polyformaldehyd		4
Polyisobutylen		11
Polystyrol		10
Polyurethan		6
Polyvinylchlorid (Hart-PVC)		5
Polyvinylpropionat		6
Propan		11
PVC		5
Rohrzucker		4
Rum 75%		5
Sägemehl frisch	300	4
Seide		5
Späne	120	4
Sperrholz	650	4
Spiritus		8
Sprengpulver		1
Suppenkonserven		4
Schiessbaumwolle		2
Schokolade		6
Schwefel		2
Schwefelkohlenstoff		3
Stärke		4
Stearin		10
Schaumgummi		8
Tabak	100	4
Tee		4
Teer	1300	9
Teeröl		11
Toluol		10
Torf	650	6
Verpackungsmaterial		3,8
Viscoseseide		4
Wasserstoff		34
Wellkarton	120	4
Wolle, gepresst	1300	5
Xylol		10
Zellulose		4
Zucker	750	4

Bemerkung: weitere Materialien siehe [2].

Tabelle 2. Verbrennungswärme verschiedener Einrichtungen

Bezeichnung	Verbrennungswärme	
Baustoffe		
Holz, Holzfaserplatten	2000	Mcal/m³
Fussbodenbelag PVC 1,8 mm	15	Mcal/m²
Parkettfussboden	60	Mcal/m²
Spannteppich 1,6 kg/m²	14	Mcal/m²
Wandtapeten	1	Mcal/m²
PVC-Abstrich der Wände	1,4	Mcal/m²
Isolierung der elektrischen Kabel (0,2 kg/m)	0,8	Mcal/m
Beleuchtungskörper aus Kunststoff	30	Mcal/m²
Büromöbel aus Holz (Durchschnittswerte)		
Schreibtische	300	Mcal/m³ Volumen
offene Büroschränke	200	Mcal/m³ Volumen
Büroschränke	300	Mcal/m³ Volumen
Karteien	400	Mcal/m³ Volumen
Tische	90	Mcal/m³ Volumen
Stühle	20–30	Mcal/Stück
Büromöbel aus Metall		
mit Kunststoff oder Holzabdeckplatten	70	Mcal/m² Grundriss
Inhalt der Büromöbel (Durchschnittswerte)		
Schreibtische und Tische	45	Mcal/m³ Volumen
Schränke und Karteien	330	Mcal/m³ Volumen
Schränke in Archivräumen	480	Mcal/m³ Volumen
Wohnmöbel (Durchschnittswerte)		
Stühle, einfach	20– 30	Mcal/Stück
Stühle mit Armlehnen	25– 35	Mcal/Stück
Fauteuil	70–150	Mcal/Stück
2sitzige Sofa	300	Mcal/Stück
3sitzige Sofa	450	Mcal/Stück
Tische	90	Mcal/m³ Volumen
Schreibtische einschl. Inhalt	350	Mcal/m³ Volumen
Einbauschränke einschl. Inhalt 1türig	160	Mcal/Stück
2türig	320	Mcal/Stück
3türig	480	Mcal/Stück
Wohnwände (Büchergestelle)	440	Mcal/m³ Volumen
– Inhalt	300	Mcal/m³ Volumen
Kommode mit Schubladen	480	Mcal/m³ Volumen
– Inhalt	300	Mcal/m³ Volumen
Bett einschl. Füllung	260	Mcal/Stück
Spitalbett einschl. Füllung	150	Mcal/Stück
Metallbett einschl. Füllung	65	Mcal/Stück
Nachttisch einschl. Inhalt	40	Mcal/Stück
Radio	20	Mcal/Stück
Grammophon	30	Mcal/Stück
Telephon	12	Mcal/Stück
Klavier	680	Mcal/Stück

Die *unbewegliche Brandbelastung* umfasst alle brennbaren Materialien, die für die Konstruktion oder den Innenausbau des Bauwerkes benutzt werden (z.B. Trennwände, Sichtdecken usw.). Sie kann durch die Wahl von entsprechenden unbrennbaren Materialien klein gehalten werden.

Die *bewegliche Brandbelastung* ist durch Zweckbestimmung des Bauwerkes verursacht und umfasst die nicht bauliche Ausstattung der Räume und die zur Tätigkeit der Menschen notwendigen Stoffe. Diese Brandbelastung kann nur teilweise beeinflusst werden, und zwar vor allem durch die Wahl der Ausstattung.

Bei der Berechnung der Brandbelastung sollen alle brennbaren Bau-, Betriebs- und Lagerstoffe, einschliesslich Verpackungen, berücksichtigt werden. Unberücksichtigt können die Stoffe bleiben, die in einer Form verarbeitet oder gelagert sind, bei der eine Entzündung ausgeschlossen ist.

Als *Brandabschnitt* gilt der Teil eines Gebäudes, der von Wänden und Decken umschlossen ist, die den Anforderungen seiner Brandbelastung genügen. Sind keine solchen Abtrennungen vorhanden, wird der Brandabschnitt durch die Aussenbauteile begrenzt.

Die Angaben über die *Verbrennungswärme* von verschiedenen Stoffen beruhen vor allem auf kalorimetrischen Messungen und sind reichlich in der Literatur vorhanden [1], [2]. In der Tabelle 1 wurde die Verbrennungswärme von verschiedenen Stoffen zusammengestellt. Weniger bekannt sind die Gewichte der Möbel und deren Inhalte. Tabelle 2 enthält einige durchschnittliche Werte für Büromöbel [7] und Wohnungseinrichtungen [12].

In verschiedenen Publikationen über Brandschutz wird auch die Brandbelastung als Holzgleichwert angegeben:

$$q_{o,h} = \Sigma\,(W\,H)/(A\,H_h) \quad \text{kg Holz/m}^2$$

indem die Brandbelastung q_o durch Verbrennungswärme des Holzes dividiert wird. Diese Ausdrucksweise ist aus den Versuchen über den Brandverlauf von Naturbränden entstanden. Meistens wurde bei diesen Versuchen Holz als Brennmaterial benutzt, so dass für die Darstellung der Ergebnisse die Angabe der Brandbelastung in kg Holz/m² des Brandraumes sehr bequem war. Die Angabe der Brandbelastung als Holzequivalent ist jedoch nicht eindeutig, da die Verbrennungswärme und Verbrennungsrückstände bei verschiedenen Holzarten sehr unterschiedlich sein können (z.B. in Japan wurde mit einem Heizwert von 2,38 Mcal/kg gerechnet).

Die Angabe der Brandbelastung bezogen auf die Grundfläche des Brandabschnittes gibt Auskunft über die gesamte Wärmemenge der brennbaren Stoffe, sie genügt aber nicht, um den Brandverlauf zu bestimmen, da eine und dieselbe Brandbelastung, je nach der Gestaltung des Brandraumes und der Ventilationsöffnungen, verschiedene Brände verursachen kann.

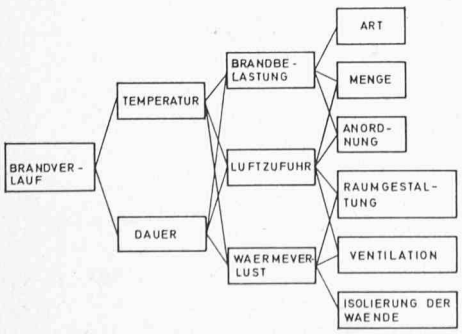

Bild 1. Verknüpfung der Faktoren, die den Brandverlauf beeinflussen

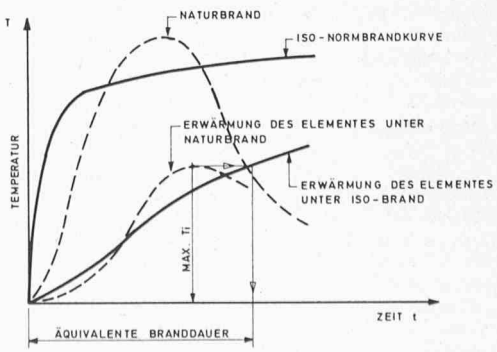

Bild 2. Ermittlung der äquivalenten Branddauer

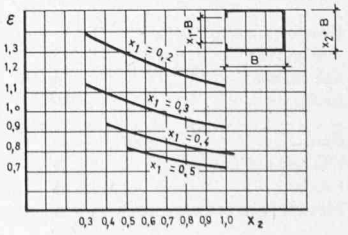

Bild 3. Einfluss der Raumgeometrie x_2 und der Ventilationsöffnungen x_1 auf die Auswirkung der Brandlast. ε Einfluss der Raumgestaltung

Für die brandschutztechnische Berechnung müssen erweiterte Definitionen der Brandbelastung benutzt werden, um den Einfluss der Raumgeometrie und der Ventilationsverhältnisse zu berücksichtigen. Bei der Berechnung der Brandwiderstände von Tragelementen sind zwei verschiedene Wege möglich, um den Brandverlauf darzustellen.

Der Brandverlauf wird für jeden Brandraum entsprechend seiner Geometrie und Ventilationsgrösse berechnet. Massgebend sind dann die Umfassungsflächen des Brandraumes und die Grösse der Ventilationsöffnungen (z.B. Fensterfläche) [3]. Die Brandbelastung wird auf die gesamte Fläche des Brandraumes bezogen:

$$q_t = \Sigma (W H)/A_t \quad (\mathrm{Mcal/m^2})$$

und der Einfluss der Ventilation durch den Beiwert

$$\eta = A_v \sqrt{h}/A_t \quad (\mathrm{m^{1/2}})$$

ausgedrückt.

A_t Gesamte Umfassungsflächen des Brandraumes einschliesslich Wand-, Decken- und Bodenfläche) in m^2

A_v Fensterfläche in m^2

h Fensterhöhe in m

Ein anderer Weg führt durch die Annahme des Brandverlaufes entsprechend der ISO-Normbrandkurve mit einer äquivalenten Branddauer [4], [5]. Jeder Naturbrand kann als Normbrand mit äquivalenter Dauer dargestellt werden, indem man die Erwärmung der Konstruktionselemente während des Naturbrandes und des Normbrandes miteinander vergleicht (Bild 2). Die äquivalente Branddauer ergibt sich aus der maximalen Temperatur des Konstruktionselementes während des Naturbrandes und der Bedingung, dass unter dem Einfluss des Normbrandes dieselbe Temperatur erreicht werden muss.

Die Brandbelastung wird in diesem Fall als effektive Brandbelastung mit Berücksichtigung der Umfassungs- und Ventilationsflächen dargestellt:

$$q_e = \frac{\Sigma (W H)}{\sqrt{A_t A_v \sqrt{h/b_1}}} \quad (\mathrm{Mcal/m^2})$$

wo b_1 die Längeneinheit der Fenster (1 m) bedeutet.

Der Einfluss der Raumgeometrie und der Ventilation kann mit einem Vergleichsfaktor ausgedrückt werden. Aus der Gleichsetzung

$$q_e = \varepsilon\, q_0 \quad \text{folgt} \quad \varepsilon = \frac{A}{\sqrt{A_t A_v \sqrt{h/b_1}}}$$

Im Diagrmm Bild 3 ist der Einfluss der Raumgestaltung (χ_2 = Höhe/Tiefe des Brandraumes) und der Ventilation (χ_1 = Fensterhöhe/Raumtiefe) dargestellt, wobei der Einfluss von Fensterhöhe $\sqrt{h/b_1} = 1$ angenommen wurde.

Unter Annahme der Fensteranordnung als durchgehende Fensterbänder und unter Vernachlässigung der Giebelwände kann der Einfluss der Raumgeometrie und Ventilation auf die Brandbelastung bei normalen Hochbauten $\pm$ 40% betragen. In den meisten Fällen der modernen Hochbauten vermindern die Wahl der Raumgeometrie und die richtig angeordnete Ventilation die wirksame Brandbelastung.

Zwischen der effektiven Brandbelastung und der äquivalenten Branddauer besteht eine lineare Abhängigkeit:

$$T_e = 0{,}28\, q_e \quad (\text{Minuten})$$

T_e Normbranddauer in Minuten

Diese Abhängigkeit wurde aufgrund der Brandversuche mit Holzstäben mit einem Querschnitt von 1 × 1 bis 4 × 4 cm und mit Brandbelastungen aus Möbeln festgestellt. Nicht immer werden andere Brandbelastungen dieselbe Abbrandcharakteristik aufweisen, was zu anderen thermischen Beanspruchungen führen kann.

Um das Verhalten der einzelnen Stoffe beim Abbrennen zu berücksichtigen, werden in verschiedenen Normen und Vorschriften [1], [6] Bewertungsfaktoren vorgesehen, mit welchen die Menge der brennbaren Stoffe multipliziert wird. Die einzelnen Bewertungsfaktoren betragen zwischen 0,3 für sehr schwer brennbare Stoffe (z.B. Papierballen) und 1,3 für leicht brennbare, wie Holzwolle, loses Papier usw. Das Brandverhalten von verschiedenen Stoffen oder Stoffkombinationen ist aber noch wenig bekannt und wird in der modernen Brandschutzforschung bearbeitet [7], [8].

Die Bestimmung der Brandbelastung ist aufwendig, sie kann entweder aufgrund von Ausnutzungsplänen oder durch Messungen in Räumen mit identischer Nutzung durchgeführt werden. Im ersten Fall müssen sehr genaue Angaben der Bauherrschaft und der Architekten über die Art und Menge der brennbaren Stoffe vorliegen, die dann in entsprechende Formulare eingetragen werden können. Dieselben Formulare können auch für Messungen in bereits in Betrieb genommenen Räumen verwendet werden. Die Berechnung der Brandbelastung selbst erfolgt dann durch Multiplikation der Mengen mit der spezifischen Verbrennungswärme des entsprechenden Stoffes.

Tabelle 3. Bewegliche Brandlast in Mcal/m² für Büroräume

Raumgruppe	Mittelwert m und Standardabweichung s der beweglichen Brandlast			
	q_0		q_e	
	m	s	m	s
Management	65	30	37	15
Betriebsleitung	86	40	46	24
Sachbearbeiter	108	62	60	37
Büros	90	11	64	34
Sonderräume	318	214	180	133
Technische Räume	80	16	38	29
Verkehrsräume	40	52	24	31
Alle Räume	100	88	60	52

Tabelle 4. Grenzen der Summenhäufigkeit für alle untersuchten Büroräume (Bild 4)

Grenze der Summenhäufigkeit	Bewegliche Brandlast Mcal/m²	
	q_0	q_e
80%	136	85
90%	177	108
95%	229	139

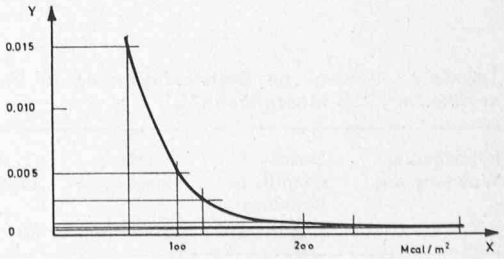

Bild 5. Abhängigkeit zwischen der Norm-Brandbelastung und der Wahrscheinlichkeit der Konstruktionsschäden (Bürobauten). X Angenommener Wert der Brandbelastung; Y Wahrscheinlichkeit der Beschädigung in 50 Jahren

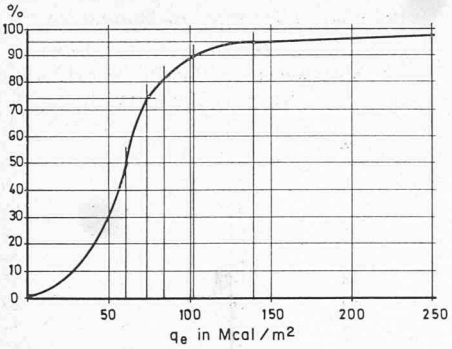

Bild 4. Summenhäufigkeit der beweglichen Brandlast in Bürobauten [7]

Bild 6. Summenhäufigkeit der beweglichen Brandlast in Schulbauten [10]

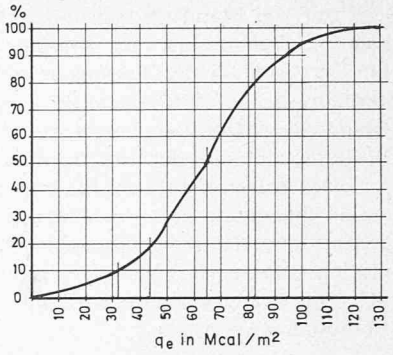

Bild 7. Summenhäufigkeit der beweglichen Brandlast in Hotelzimmern [10]

In den beiden Fällen ist die Berechnung der Brandbelastung mit einer gewissen Unsicherheit verbunden, falls die ermittelten Ergebnisse nicht mit dem statistischen Material über ähnliche bekannte Fälle verglichen werden können. Deshalb sind die statistischen Erhebungen über die Brandbelastung wichtig für die richtige Beurteilung des Brandrisikos.

Brandbelastungen in Bürobauten

In den Jahren 1965 bis 1971 wurden im Auftrage der Europäischen Konvention für Stahlbau in insgesamt 10 Bürogebäuden in verschiedenen Grossstädten der Bundesrepublik Deutschland Untersuchungen durchgeführt, die sehr gute statistische Unterlagen über Brandbelastungen in Bürobauten lieferten [7]. Insgesamt wurden rund 2900 Büroräume, aufgeteilt in 7 Raumgruppen, untersucht. In den Tabellen 3 und 4 sind die wichtigsten Daten dieser Erhebungen zusammengestellt.

Die bei der Auswertung der statistischen Erhebungen entstehende Frage, welche Grenze der Summenhäufigkeit als massgebende angenommen werden sollte, kann mit Hilfe der statistischen Daten über Naturbrände beantwortet werden. Für Bürobauten ergeben die englischen Statistiken [9], dass die Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Brandes in einem Bürogebäude während 50 Jahren $p = 0{,}0392$ beträgt. Aus den statistischen Summenkurven können für jeden Wert der Brandbelastung entsprechende Prozentzahlen r der Fälle mit höheren Brandbelastungen entnommen werden. Die Wahrscheinlichkeit der Beschädigung der Tragkonstruktion infolge zu niedrig angenommener Brandbelastung beträgt dann $p = 0{,}0392\, r$. Für verschiedene Grenzwerte erhalten wir (Bild 5):

Bewegliche Brandbelastung Mcal/m² q_e	Wahrscheinlichkeit der Beschädigung in 50 Jahren p
60	0,01568
100	0,00510
120	0,00274
200	0,00078
240	0,00039
300	0,00035

Bis zu einem Bereich von 200 Mcal/m² der Brandbelastung hängen die Brandschäden von der Grösse der Brandbelastung ab; über 200 Mcal/m² bringt eine Erhöhung des Brandwiderstandes keine wesentliche Verringerung der zu erwartenden Brandschäden mehr, diese Erhöhung wird unwirtschaftlich.

Tabelle 5. Bewegliche Brandbelastung in Schulen in Mcal/m², Baujahre nach 1957 [10]

Bezeichnung	Durchschnittliche Brandlast		Standardabweichung		% der q_e-Werte unter		
	q_0	q_e	q_0	q_e	80%	90%	95%
Grundschulen	71	69	14	17	79	92	93
Mittelschulen	82	79	14	18	98	103	104
Hochschulen	53	49	16	17	61	67	100
Alle	68	65	19	21	82	95	100

Tabelle 6. Bewegliche Brandbelastungen in Hotelbauten in Mcal/m², Baujahre nach 1955, 60 Messungen [10]

Bezeichnung	Durchschnittliche Brandlast		Standardabweichung		% der q_e-Werte unter		
	q_0	q_e	q_0	q_e	80%	90%	95%
Hotelzimmer	75	65	25	22	83	97	106

Tabelle 7. Bewegliche Brandbelastungen in Wohnungsbauten in Mcal/m², 295 Messungen [12]

Bezeichnung Wohnung mit:	Durchschnittliche Brandlast		Standardabweichung		% der q_0-Werte unter		
	q_t	q_0	q_t	q_0	80%	90%	95%
6 Zimmer	23	120	8,2	43			
5 Zimmer	25	130	5,7	30			
3 Zimmer	31	161	6,1	32	182	188	198
2 Zimmer	36	187	5,9	31	208	224	229
1 Zimmer	33	172	4,8	25	182	187	213

Tabelle 8. Brandbelastungen in Einkaufszentren q_0 in Mcl/m²

Bezeichnung	Einrichtung	Waren	zusammen	Lokale Spitzen
Gebrauchsartikel	30	70	100	
Lebensmittel	10	130[1])	140	
Textilien			91	128
Parfümerie, Spielwaren, Papeterie, Haushalt			100	135
Möbel, Teppiche			140	230

[1]) ohne Abzug für Stoffe in Blechverpackungen, wie z.B. Konserven.

Brandbelastungen in Schulbauten

Grössere statistische Untersuchungen (rund 1700 Messungen) über die Brandbelastungen in Schulbauten wurden in Schweden [10] durchgeführt, wobei nur die bewegliche Brandbelastung gemessen wurde (Bild 6, Tabelle 5).

Die holländischen Daten [11] mit rund 300 Messungen ergeben, dass die durchschnittliche bewegliche Brandlast 52 Mcal/m² beträgt und dass in 80% der Fälle die Brandbelastung unter 88 und in 95% der Fälle unter 132 Mcal/m² liegt.

Brandbelastungen in Hotel- und Wohnungsbauten

Grössere statistische Untersuchungen wurden in Schweden auch für Hotelbauten durchgeführt [10] (Bild 7, Tabelle 6). Für Wohnungsbauten sind die Ergebnisse nur auf die Abwicklungsfläche des Brandraumes A_t bekannt und erfordern eine zusätzliche Interpretation. In der Tabelle 5 wurden die q_0-Werte ermittelt durch die Multiplikation mit einem Umrechnungsfaktor von 5,2. Dieser Faktor entspricht einer Raumgrösse von 3,2 × 4,3 × 2,6 m.

Brandbelastungen in Spitalbauten

Angaben über die Brandbelastungen in Spitalbauten sind vorläufig sehr spärlich. Die holländischen Daten [11], die auf rund 50 Messungen beruhen, ergeben, dass die durchschnittliche Brandbelastung rund 56 Mcal/m² beträgt; 80% der Fälle besitzen eine Brandbelastung von weniger als 84 Mcal/m² und 95% eine unter 160 Mcal/m².

Brandbelastungen in Einkaufszentren

Auch hier fehlen genauere Unterlagen. Die in der Schweiz durchgeführten Messungen in zwei Verkaufszentren (mit je rund 3000 m² Fläche) lieferten die Werte gemäss Tabelle 8. Die erstaunlich niedrige Brandbelastung ist darauf zurückzuführen, dass in den modernen Selbstbedienungsläden die Transportflächen 75 bis 80% und die Verkaufsflächen nur 20 bis 25% betragen und die Lagerungshöhe der Waren klein ist.

Bedeutung der genauen Erfassung von Brandbelastungen

Die genauen Kenntnisse über die Brandbelastungen und ihre Auswirkungen sind unumgänglich, um richtig über die notwendigen Brandschutzmassnahmen zu entscheiden. Schon im Planungsstadium sollen verschiedene Massnahmen getroffen werden:

- Beeinflussung der Brandauswirkungen durch entsprechende Gestaltung der Raumgeometrie und der Ventilation.
- Lokalisierung und Abgrenzung der Räume mit grossen Brandbelastungen in besonders geschützten Kernzonen.
- Verlegung der wichtigsten Konstruktionselemente in Brandabschnitte mit kleinen Brandbelastungen.
- Bemessung des Brandwiderstandes von tragenden Konstruktionsteilen auf die zu erwartende Brandbelastung.

Der Einfluss der Raumgestaltung und der Fenstergrösse auf die Auswirkung eines Brandes wurde bereits besprochen. Die Beeinflussung des Brandrisikos durch Zusammenballung der Räume mit grossen Brandbelastungen kommt vor allem für Spezialräume, wie Archive, Bibliotheken, Lagerräume usw., in Frage. Durch Zusammenlegung solcher Räume, Abtrennung gegen andere Räume mit kleinen Brandbelastungen, Einplanung von entsprechenden Schutz- und Brandbekämpfungsmassnahmen wird das Brandrisiko des gesamten Bauwerkes verkleinert.

Oft kann auch die Wahl der richtigen Tragkonstruktion vorteilhafte brandschutztechnische Lösungen ergeben. Z.B. werden durch die Verlegung der Hauptstützen des Bauwerkes in die Korridortrakte einerseits und nach aussen andererseits diese einem Brandangriff weitgehend entzogen.

Die Kenntnis der Brandbelastung erleichtert es, den Umfang des passiven Brandwiderstandes der Tragkonstruktionen richtig zu bestimmen und die Brandentdeckungs- und Bekämpfungsmassnahmen anzuordnen. Der Brandwiderstand der Tragkonstruktion soll der äquivalenten Branddauer entsprechen, die sich aus der Brandbelastung ergibt. Wird der erforderliche Brandwiderstand erreicht oder überschritten, haben alle anderen Faktoren, wie Gebäudehöhe, Brandraumgrösse usw., nur noch wenig Einfluss auf das Brandrisiko der Tragkonstruktion. Diese zusätzlichen Faktoren beeinflussen das Wertrisiko und bilden eine Grundlage, um die erforderlichen Brandentdeckungs- und Bekämpfungsmassnahmen zu bestimmen. Es wäre falsch, den Brandwiderstand der Tragkonstruktion über die notwendige Grenze hinaus zu steigern und dabei zu erwarten, dass durch diesen erhöhten Brandwiderstand das Brandrisiko vermindert werden könne. Im Gegenteil, durch die falsche Annahme, dass der passive Brandwiderstand der Tragkonstruktion den aktiven Brandschutz ersetzen kann, wird das Brandrisiko nur erhöht.

Durch solche brandschutztechnische Überlegungen wird eine immer steigende Zahl von Berufsleuten (Architekten, Ingenieure usw.) angeregt, sich mit dem Problem des Brandschutzes zu befassen. Die Bauwerke werden in der Folge nicht mehr nur nach architektonischen und konstruktiven, sondern auch nach den brandschutztechnischen Eigenschaften beurteilt, was zur Verminderung von Brandschäden führt.

Beispiele der Berechnung von Brandlasten

Beispiel 1: Technisches Büro

Das Büro befindet sich in einem mehrgeschossigen Gebäude. Die Einteilung der Räume und die Angaben über die Zahl der beschäftigten Personen sind in Bild 8 zusammengestellt. Die Raumhöhe beträgt 3,0 m. Die Fenster sind als durchgehende Fensterbänder ausgebildet, sie sind 1,8 m hoch.

Beispiel 1

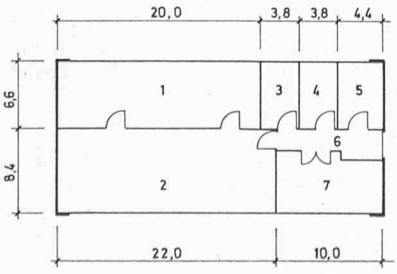

Bild 8, links. Beispiel 1. Grundriss des technischen Büros. 1 Ingenieurbüro, 8 Personen, F = 132 m², 1. Teil der Bibliothek. 2 Konstruktionsbüro, 18 Personen, F = 185 m². 3 Abteilungsleiter, 1 Person, F = 25 m². 4 Sekretariat, 2 Personen, F = 25 m². 5 Besprechungszimmer, 2. Teil der Bibliothek, F = 29 m². 6 Korridor F = 20 m². 7 Treppenhaus, Lift, sanitäre Anlagen

Bild 9, rechts. Beispiel 2. Grundriss des 2. Stockwerkes einer Schule. 1 Klassenzimmer, F = 72 m². 2 Kartonageraum, F = 113 m². 3 Zentrales Sammlungszimmer, F = 38 m². 4 Korridore, Treppenhaus. 5 Sanitäre Anlage

Beispiel 2

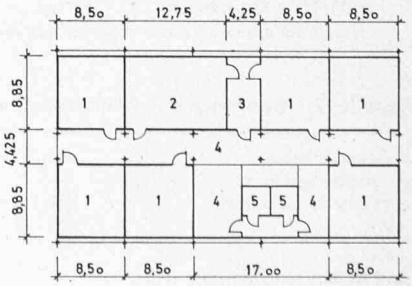

Tabelle 9. Berechnung der unbeweglichen Brandbelastung im Beispiel 1, technisches Büro

Bezeichnung	Menge		Art[1])	Verbrennungswärme Mcal	
Türe 5×0, 92×2, 0×0, 04×500	184	kg	H	4,0	736
Spannteppich 2 kg/m	416	m²	K	17,5	7280
Verbrennungswärme 14×2/1,6 Tapeten 1,2× (22+32) + 3× (15+2×20+7×6, 6+12+6, 4+10) — 5×2×2×0,95; Anstrich 40 g × 435 (PVC)	17,4	kg	K	5,0	87
Leitungskasten 54 m × 0,013×500	351	kg	H	4,0	1404
Schutzrohr ⌀ 12/9 360 m × 0,07	25	kg	K	5,0	125
Elektrische Kabel (200 g)	720	m	K	0,8	576
Beleuchtungskörper 72×1,5×0,2	21,6	m²	K	30	648
Telephonkabel	200	m	K	0,1	20
Schutzrohr 25/20 65 m × 0,25	17	kg	K	5,0	85
Telephonapparate	20	St.	K	12	240
Zusammen auf 416 m²					11723 Mcal

Unbewegliche Brandbelastung 11723/416 = 28 Mcal/m²

[1]) H = Holz, K = Kunststoff

Tabelle 10. Berechnung der beweglichen Brandbelastung im Beispiel 1, technisches Büro

Bezeichnung und Abmessungen	Art[1])	V m³	F m²	Verbrennungswärme Möbel Mcal		Inhalt Mcal	
Raum 2 Konstruktionsbüro	F = 185 m², 18 Personen						
18 Schreibtische 1,5×0,8×0,8	H/M	17,3	21,6	70	1512	45	779
18 Zeichnungstische 1,5×1,0	H/M		27	70	1890		
18 Ablegeschränke für Pläne 1×1,2×0,8	M	17,3				330	5709
18 geschlossene Ablegeschränke 1,6×0,8×0,4	H	9,2		400	3680	330	3036
18 offene Ablegefächer 1,6×0,8×0,4	H	9,2		200	1840	330	3036
22 m Ablegebrett beim Fenster, Abwicklung 0,7 m, Dicke 2,5 cm	H		15,4	70	1078		
2 Registraturschränke 2×2×0,55	M	4,4				330	1452
2 Registraturschränke 2×1,5×0,55	M	3,3				330	1089
34 Garderobenschränke 0,4×2×0,35; Inhalt: 5 kg/Person = 170 kg (Stoffe)						5	850
27 Stühle	H/M			15	405		
Zusammen					14213		15951
Brandbelastung: q = (14213+15951)/185 = 163 Mcal/m²							
Alle Möbel aus Holz/Metall q = (4885+15951)/185 = 113 Mcal/m²					4885		15951
Alle Möbel aus Holz q = (28026+15951)/185 = 238 Mcal/m²					28026		15951
Erhebung nach 4 Jahren: q = (15435+10280)/185 = 139 Mcal/m²					15435		10280

[1]) H/M = Holz/Metall, M = Metall, H = Holz

[2]) Für die andern Räume ergeben sich die Werte gemäss Tabelle 11.

Tabelle 12. Unbewegliche Brandbelastung. Beispiel 2, Schulräume

Fussbodenbelag	rund 14 Mcal/m²
Beleuchtungskörper	rund 2 Mcal/m²
Elektrische Leitungen	rund 2 Mcal/m²
Türe	rund 3 Mcal/m²
Total q_0	rund 21 Mcal/m²
und in den Korridoren	rund 7 Mcal/m²

Tabelle 11. Zusammenstellung der Brandlasten für das Beispiel 1, technisches Büro

Raumbezeichnung	mobile Brandlast Mcal/m² Vorberechnung	Erhebung nach 4 Jahren
Ingenieurbüro, Bibliothek 1	174	155
Abteilungsleiter	117	88
Sekretariat	149	116
Besprechungszimmer, Bibliothek 2	287	242
Korridor	0	31

Die durchschnittliche Brandbelastung für das gesamte Büro wurde vorausberechnet auf:

$$q_0 = (174 \cdot 132 + 163 \cdot 185 + 117 \cdot 25 + 149 \cdot 25 + 287 \cdot 29)/(416) = 164 \text{ Mcal/m}^2$$

Die Messungen nach 4 Jahren haben etwas kleinere Brandlast von q_0 = 140 Mcal/m² festgestellt.

Der Einfluss der Raumgeometrie und der Ventilation ist in diesem Fal· sehr gering. Mit: A = 416 m²; A_t = 2·416+3·94 = 1436 m²; A_v = 1,81 · 53,3 = 96 m² und h/b = 1,8 ergibt sich die effektive Brandbelastung:

$$q_e = \varepsilon\, q_0 = \frac{A}{\sqrt{A_t\, A_v \sqrt{h/b}}}\; q_0 = 0{,}97 \cdot 164 = 159 \text{ Mcal/m}^2$$

Tabelle 13. Berechnung der beweglichen Brandbelastung im Beispiel 2 für Schulräume

Bezeichnung und Abmessungen	Art	V m³	F m²	Verbrennungswärme Möbel Mcal		Inhalt Mcal	
1. Klassenzimmer F = 8,5 · 8,85 = 72 m²							
17 Schultische 1,2 · 0,53 · 0,74	H	8,1		90	730	45	365
17 einfache Stühle	H			20	340		
1 Einbauschrank 6,0 · 0,5 · 1,5	H	4,5		300	1350	330	1485
1 Wandtafel (Eternit)	unbrennbar						
Zusammen					2420		1850
Brandbelastung q_0 = (2420+1850)/(72) = 59 Mcal/m²							
2. Kartonageraum F = 12,75 · 8,85 = 113 m²							
11 Tische 1,7 · 0,7 · 0,75	H	9,8		90	882	45	441
21 Stühle	H			20	420		
12,75 m Arbeitssims 60×3 cm	H	0,23		2000	460		
1 Zuschneidetisch 2,5 · 1 · 0,8	H/M	2,0	2,5	70	175	45	112
22 m Tablare 60×3 cm	H	0,396		2000	792		
Papier und Kartonlager 500 kg						3	1500
Zusammen				2729			3553
Brandbelastung q_0 = (2729+3553)/(113) = 56 Mcal/m²							
3. Zentrales Sammlungszimmer F = 4,25 · 8,85 = 38 m²							
2 Einbauschränke 6,0 · 2,0 · 0,45	H	5,4		300	1620	330	1782
2 Arbeitstische 3,0 · 0,7 · 0,8	H/M	4,2	3,36	70	294	45	151
4 Stühle	H			20	80		
Total					1994		1933
Brandbelastung q_0 = (1994+1933)/(38) = 104 Mcal/m²							

Die mobile Brandbelastung beträgt

- in Klassenzimmern 59 Mcal/m²
- im Kartonageraum 56 Mcal/m²
- im Sammlungszimmer 104 Mcal/m²
- in Korridoren und Sanitätsräumen, obwohl keine brennbaren Gegenstände vorgesehen sind, muss mit einer zufälligen Brandlast (Bilder, Putzmittel usw.) gerechnet werden 15 Mcal/m²

Die durchschnittliche Brandbelastung ist:

$$q_0 = (6 \cdot 72 \cdot 59 + 1 \cdot 113 \cdot 56 + 1 \cdot 38 \cdot 104 + 357 \cdot 15 + 357 \cdot 7 + 583 \cdot 21)/(940) = 58 \text{ Mcal/m}^2.$$

Unbewegliche Brandbelastung

Die unbewegliche Brandbelastung wird aufgrund des architektonischen Beschriebes berechnet. Dieser bringt folgende Angaben: *Tragkonstruktion:* Stahlskelett mit Eisenbetondecken. Fassaden ausgemauert, bzw. in Eisenbeton erstellt. *Trennwände:* 6-cm-Gipsplatten, bzw. 12-cm-Lochziegel. Türzargen aus Metall. Türe aus Holzspanplatten 4 cm dick, Grösse 0,92 × 2,00 m, 5 Stück. Eingangstüre aus Glas und Metall. *Fussbodenbelag:* Durchgehend Spannteppich 2 kg/m². *Untergehängte Decke:* Gelochte Metalldecke mit Isoliermatten aus Steinwolle. *Wandbelag:* Tapeten mit Dispersionsanstrich 40 g/m². *Elektrische Installation:* Leitungskasten entlang den Fenstern aus Holz: 0,013 m³/m; Schutzrohre aus Kunststoff, Durchmesser 12,9 mm, rund 360 m; Elektrische Kabel (200 g/m) rund 720 m; Beleuchtungskörper aus Kunststoff: 72 Stück, Abmessung 1,5 × 0,2 m; Telefonkabel (20 g/m) rund 200 m; Schutzrohr aus Kunststoff, Durchmesser 25/20 mm, rund 65 m; Telefonapparate: 20 Stück.

Die Brandbelastung kann für alle Räume gemeinsam ausgerechnet werden, da die brennbaren Stoffe ziemlich gleichmässig in den Räumen verteilt sind (Tabelle 9).

Bewegliche Brandbelastung

Die bewegliche Brandbelastung wurde aufgrund einer Zusammenstellung der vorgesehenen Möblierung tabellarisch ermittelt. Die Berechnung der Brandlast im Konstruktionsbüro ist in Tabelle 10 wiedergegeben.

Aus dieser Tabelle 10 ist auch der Einfluss der Möblierungsart ersichtlich. Für eine Möblierung nur aus Holz würde die Brandlast auf 212 Mcal/m² und die effektive Brandbelastung auf 206 Mcal/m² erhöht. Durch konsequente Wahl von Metallmöbeln könnte die Brandbelastung auf 106 bzw. 102 Mcal/m² verkleinert werden.

Äquivalente Normbranddauer und der erforderliche Brandwiderstand

Die gesamte Brandbelastung beträgt

$$q_e = 0{,}97 \cdot (164 + 28) = 186 \text{ Mcal/m}^2$$

Die äquivalente Branddauer nach ISO-Normbrandkurve ist

$$T_e = 0{,}28 \cdot 186 = 52 \text{ Minuten}$$

Der erforderliche Brandwiderstand soll dementsprechend 60 Minuten betragen, falls keine besondere Brandentdekkungs- oder -bekämpfungsmittel eingeplant sind.

Beispiel 2: Schulräume

Die Konstruktion des Schulgebäudes (Bild 9) besteht aus Stahlskelett mit Eisenbetondecken. Die Fassade ist aus raumhohen (3,2 m) Fensterelementen ausgebildet. Alle Zwischenwände sind aus Gipsplatten und die heruntergehängte Decke ist als Metall-Lamellendecke vorgesehen. Die Böden in den Korridoren sind mit Klinker, in Unterrichtszonen mit Spannteppichen belegt. Die unbewegliche Brandbelastung ist dementsprechend gering (Tabelle 12).

Die bewegliche Brandbelastung (Tabelle 13) ist sehr ungleichmässig verteilt.

Der Einfluss der Raumgeometrie und der Ventilation ist in diesem Falle gross.

– Für Klassenzimmer:

$A = 72 \text{ m}^2$, $A_t = 2 \cdot 72 + 3{,}2 \cdot 34{,}7 = 255 \text{ m}^2$

$A_v = 3{,}2 \cdot 8{,}5 = 27{,}2 \text{ m}^2$, $h/b = 3{,}2$

$$\varepsilon = \frac{72}{\sqrt{255 \cdot 27{,}2 \cdot \sqrt{3{,}2}}} = 0{,}65$$

– Für Kartonageraum:

$A = 113 \text{ m}^2$, $A_t = 364 \text{ m}^2$, $A_v = 40{,}8 \text{ m}^2$, $h/b = 3{,}2$, $\varepsilon = 0{,}69$

– Für Sammlungszimmer:

$A = 38 \text{ m}^2$, $A_t = 102 \text{ m}^2$, $A_v = 13{,}6 \text{ m}^2$, $h/b = 3{,}2$, $\varepsilon = 0{,}76$

– Für das gesamte Stockwerk:

$A = 940 \text{ m}^2$, $A_t = 2294 \text{ m}^2$, $A_v = 272 \text{ m}^2$, $h/b = 3{,}2$, $\varepsilon = 0{,}89$

An den Brandwiderstand der Tragkonstruktion sollen folgende Anforderungen gestellt werden:

– für lokale Brandgefahr im Bereich der einzelnen Klassenzimmer:

$T_e = 0{,}28 \cdot 0{,}69 \cdot (104 + 21) = 25$ Minuten, Brandwiderstand 30 Minuten

– für den Fall eines Grossbrandes:

$T_e = 0{,}28 \cdot 58 \cdot 0{,}89 = 14$ Minuten, Brandwiderstand 15 Minuten.

Literaturverzeichnis

[1] *E. Geilinger, C. F. Kollbrunner:* Feuersicherheit der Stahlkonstruktionen. Mitteilungen der TKVSB Nr. 3, Zürich 1950.

[2] Wegleitung der Feuerpolizeivorschriften. Bewertung der Brandgefährdung und Ableitung von Schutzmassnahmen. Vereinigung kantonaler Feuerversicherungsanstalten, Bern 1973.

[3] *S. Magnusson, S. Thelaandersson:* Temperature-Time Curves for the Complete Process of Fire Development. «Acta Polytechnica Scandinavica», Ci 65, Stockholm 1970.

[4] *O. Petterson:* Fire Engineering Design of Tall Buildings. ASCE-IABSE International Conference on Planing an Design of Tall Buildings. Volume DS. New York 1972.

[5] *O. Petterson:* The Connection between a Real Fire Exposure and the Heating Conditions according to Standard Fire Resistance Tests. European Convention for Constructional Steelwork, Rotterdam 1974.

[6] *C. F. Kollbrunner, P. Boue:* Berechnung der Feuersicherheit der Stahlkonstruktionen im Hochbau und ihre praktische Durchführung. Europäische Konvention der Stahlbauverbände, Zürich 1960.

[7] *S. Bryl, R. Czech, L. Demol:* Brandbelastungen in Bürobauten. Europäische Konvention für Stahlbau, Rotterdam 1974.

[8] *W. Becker:* Bewertung der von verschiedenen Brandlasten ausgehenden Brandauswirkungen auf Bauteile. 4. Int .Brandschutz-Seminar. Brandverhütungsdienst Zürich 1973.

[9] *P. H. Thomas, R. Baldwin:* Some Comments on the Choice of Failure Probabilities in Fire. CIB-Colloque sur les Principes de la Sécurité au feu des Structures, Paris 1971.

[10] *U. Forsberg, T. Jörgen:* Brandbelastningsstatistik för Skolor och Hotell. Stalbyggnadsinstitutet, Rapport 44:1, Stockholm 1971.

[11] *Commissie Research Staalconstructies:* Brandveiligheid Staalconstructies. Centrum Bouwen in Staal. Rotterdam 1966.

[12] *L. Nilsson:* Fire Loads in Flats. Lund Institute of Technology, Bulletin 15. Lund 1970.

Adresse des Verfassers: *Stanislaw Bryl,* dipl. Ing. AGH, SIA, Geilinger Stahlbau AG, Grüzefeldstrasse 47, 8404 Winterthur.

*
* *

Baulicher Brandschutz, SIA-Empfehlung 183

Um projektierenden Architekten und Ingenieuren die seit 1. Juli 1974 in Kraft stehenden Empfehlungen näher zu bringen, organisiert der SIA halbtägige Seminare in Zürich (23. April), Winterthur (21. Mai), Basel/Muttenz (22. Mai), Lausanne (19. Juni) und Bern (25. Juni). Ein weiteres Seminar ist im Herbst in Lugano vorgesehen. An diesen Seminaren wird zudem ein Überblick über die zur Zeit gültigen Brandschutzvorschriften in der Schweiz geboten und wirksame Brandschutzplanung gezeigt. Auskünfte und Anmeldungen: SIA, Postfach, 8039 Zürich, Telephon 01 / 36 15 70.