

NOVEMBER 1974

3. JAHRGANG

# Baulicher Brandschutz; Brandlast – Brandwiderstand

- Grundlagen zur DIN 18 230 -

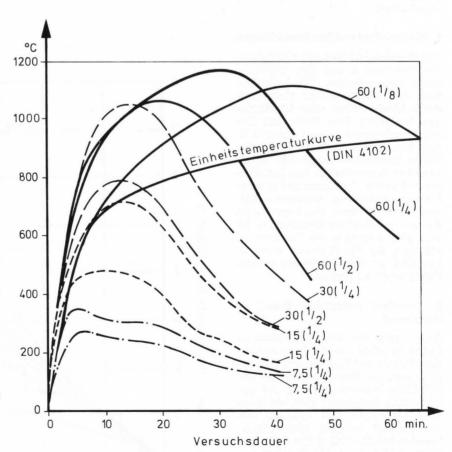
Dr.-Ing. Heinrich Bub

## **Allgemeines**

Neuere Forschungen und Untersuchungen über Brandlasten ermöglichten für den Bereich des baulichen Brandschutzes Beurteilungsmaßstäbe zu finden, mit deren Hilfe man abschätzen kann, wie sich der ungünstigste Brand in einem gegebenen Objekt entwickelt und welche Auswirkungen er infolge seiner Einwirkung auf die Tragfähigkeit der Einzelbauteile und der Gesamtkonstruktion hat (Brandbelastung — Brandwiderstandsfähigkeit der Bauteile und Bauwerke).

Dabei wird man zu einem brauchbaren Sicherheitskonzept nur dann kommen können, wenn man sowohl die Seite der Brandbelastung als auch die Seite der Widerstandsfähigkeit der Bauteile und der baulichen Anlagen mit den Hilfsmitteln der Statistik beschreibt (Verteilungskurven, Wahrscheinlichkeitsdichte, Häufigkeitskurve, Summenhäufigkeit, Wahrscheinlichkeitsnetz, Normalverteilung, logarithmische Normalverteilung u. a. m.). So wurden z. B. für die Räume von Wohnungen für die Brandlast "Holzgleichwerte" zwischen 10 (Küchen) und 120 kg/m<sup>2</sup> (Bibliotheken) ermittelt (1 kg Holz ≅ 4.4 Mcal).

Unter Anwendung der Statistik (z. B.  $x_{\rm m}=\bar{x}+1.64\cdot\sigma$ ) ergeben sich auf der sicheren Seite



60( $^{1}$ / $_{4}$ ) bedeutet: Brandlast 60 kg Holz /  $^{2}$  , geöffnete Fensterflächen =  $^{1}$ / $_{4}$  Wandfläche

Bild 1. Zeitlicher Temperaturverlauf im Brandraum bei Normversuch und bei natürlichen Bränden (nach Fire-Research-Station, Borehamwood).

Dr.-Ing. Heinrich Bub, Präsident des Instituts für Bautechnik.

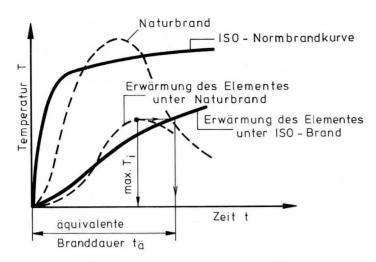


Bild 2. Ermittlung der äquivalenten Branddauer (nach Ehm).

liegende Annahmewerte von 50–60  $\,$  kg/m² für Wohnungen.

Es stellen sich nun folgende Fragen: Wie wird sich der ungünstigste Brand aus der Brandlast in einem Gebäude entwickeln?

Wie lange kann die tragende Konstruktion dieser Brandbeanspruchung standhalten?

### 1. Die Brandlast und ihre Auswirkungen

Der Brandverlauf wird vor allem durch die Brandlast q und ihre physikalischen Eigenschaften, die Luftzufuhr und den Wärmeverlust, aber auch durch Löscharbeiten oder Löschanlagen beeinflußt. Eine Reihe von Beurteilungsfaktoren müssen daher z. B. den Einfluß der Ventilation und der Gebäudegeometrie sowie der physikalischen Eigenschaften des Brandgutes und seiner räumlichen und geometrischen Anordnung (Abbrandverhalten) berücksichtigen. Das Ergebnis ist die rechnerische Brandbelastung gr. Es sind also einerseits die Faktoren zu ermitteln, die der Brandlast zuzuordnen sind, um ihre Einwirkung auf die Konstruktion zu erfassen.

# 2. Brandlast (natürlicher Brand) - Normbrand

Andererseits war eine Korrelation zu finden zwischen der Wirkung natürlicher Brände auf Bauteile und den Ergebnissen der Brandprüfung nach der ISO-Einheitstemperaturkurve, mit der labormäßig festgestellt wird, wie lange eine Tragkonstruktion (Bauteil) ihre Tragfähigkeit während eines Normbrandes behält (ISO/R 834 bzw. DIN 4102). Bild 1 zeigt das Problem von Seiten des Temperatur-Zeitverlaufes. Um den brandschutztechnischen Entwurf zu vereinfachen und vor allem, um die Durchführung von einheitlichen Versuchen zu ermöglichen, hat sich zur Korrelation in fast allen Ländern der

Begriff vom Normbrand und der "äquivalenten Branddauer" tä durchgesetzt (siehe Bild 2). Jeder Naturbrand kann als ein Normbrand mit äquivalenter Branddauer dargestellt werden, indem man die Erwärmung des Bauteils oder einer bestimmten Stelle des Bauteils während des Naturbrandes und des Normbrandes verfolgt, miteinander vergleicht und durch den Abbrandfaktor m berücksichtigt.

In der Bundesrepublik Deutschland ging man unter Einbeziehung aller Parameter, z. B. der Ventilation, des Abbrandfaktors m und der geometrischen Bedingungen davon aus, daß tä  $= f(q_r)$  ist. Bild 3, aus zahlreichen natürlichen Bränden gewonnen, zeigt den Zusammenhang.

#### 3. Abbrandfaktor m

Über das Abbrandverhalten anderer Stoffe als Holz war bisher noch wenig bekannt. Ein Versuchsstand in Dortmund erlaubt nunmehr eine Korrelation zwischen dem Abbrandverhalten einer genau definierten Brandbelastung mittels Holzkrippen und einer Brandbelastung aus anderen Stoffen herbeizuführen und dabei für gewisse Bereiche den Einfluß der Ventilation auszuschalten (sogenannten m-Faktor

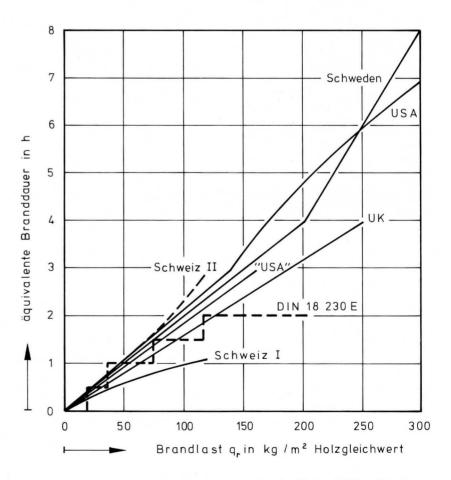
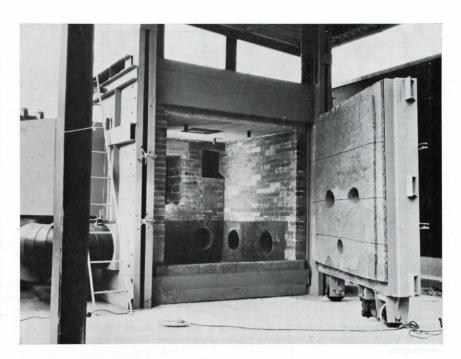


Bild 3. Äquivalente Branddauer als Funktion der Brandlast bei natürlichen Bränden.

Bild A.



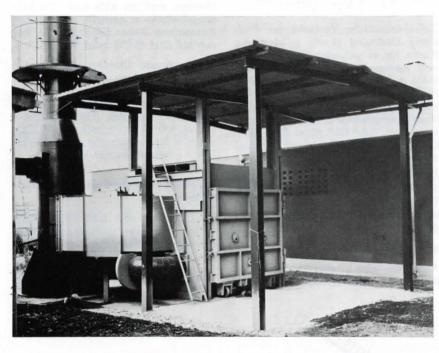


Bild B

Beide Bilder zeigen den Prüfstand zur Ermittlung des m-Faktors beim MPA Nordrhein-Westfalen in Dortmund.

nach DIN 18 230 - Baulicher Brandschutz im Industriebau). Die Prüfmethode geht von folgender Beziehung

$$t_{\rm F} = \sum m_{\rm i} \cdot q_{\rm 2i} = \frac{\sum m_{\rm i} \cdot G_{\rm i} \cdot H_{\rm ui}}{A}$$

Dabei bedeuten:

= erforderliche Feuerwiderstandsdauer (Min.)

= Brandbelastung (Mcal/m<sup>2</sup>)  $q_{2i}$ 

= Bewertungsfaktor für das spezifische Verhalten der aus dem Stoff i bestehenden Brandlast

= Gewicht des einzelnen brenn- $G_{i}$ baren Stoffes (kg)

= Heizwert des einzelnen brennbaren Stoffes im Zustand der vorhandenen Feuchte (Mcal/ kg), z.B. nach ISO/R 1716 bzw. DIN 51 900

= Raumfläche (m²)

Nach dieser Beziehung gilt bei Vorhandensein eines einzigen Stoffes in einheitlicher Form, Lagerungsdichte und Verteilung im Raum

$$t_{\mathsf{F}} = m \cdot q$$

Sodann wurde durch umfangreiche Versuche der Bezugsstoff (Holzkrippe aus 4 x 4 cm dicken Stäben mit 100 % Luftvolumen) gefunden, für den nach der o.g. Beziehung m = 1 ist, d.h. mit dem im Eich-Bauteil jeweils dieselbe Wirkung erzielt wird wie beim Normbrand. Mit Hilfe dieses Bezugstoffes (Bezugbrandlast) war es nun möglich, in der Versuchsanlage für verschiedene andere Stoffe die jeweilige äquivalente Branddauer empirisch zu ermitteln. Hierfür wurden die bei den Anschlußversuchen in dem Versuchsbauteil gemessenen Maximaltemperaturen auf die an gleicher Stelle beim Normbrand (Bezugsbrandlast) erzeugten Temperaturen bezogen. Die entsprechende Zeit, bei der unter der Bedingung des Normbrandes diese Temperatur erreicht worden war, ist als äquivalente Branddauer definiert worden (tä). Der Bezug zum Norm-

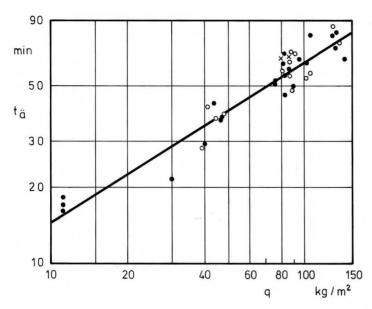


Bild 4. Abhängigkeit zwischen Brandbelastung q und äquivalenter Branddauer tä (MPA Dortmund). Die Punktsymbole kennzeichnen eingeblasene Luftmengen.

brand nach ISO/R 834 (DIN 4102) und den dort festgestellten Bauteilbeanspruchungen wird also erreicht, indem aufgrund der bei dem Brandversuch mit der zu beurteilenden Brandlast q festgestellten Einwirkungen auf das Vergleichsbauteil die Branddauer ermittelt wird. Anschlie-Bend wird aufgrund der genannten Funktion festgestellt, welche Menge q1 der Bezugsbrandlast als Standardbrandbelastung die gleiche, d. h. auf ISO/R 834 bezogene äguivalente Branddauer tä erzeugt. Der Bewertungsfaktor m wird als Quotient aus diesen Brandlasten ermittelt, d. h.

$$m = \frac{q}{a}$$

Zwischenzeitliche Versuche am Prüfstand Dortmund (4 m²), an dem die Kurve für m gefunden werden kann, und Regressionsrechnungen bei der BAM in Berlin ergaben (siehe Bild 4) für den "Abbrandfaktor" m unter Bezugsbrandlast in einem begrenzten Ventilationsbereich u. a. m. die Beziehung tä  $\simeq 2.8 \cdot \text{Q}^{0.54}$  (tä < 70 in Min.; Q = in kg Vergleichseichbrandlast der Holzkrippe).

Das Verfahren, das in den Bildern 5 a bis 5 c dargestellt ist, wird z. Z. in DIN 18 230 Bl. 2 genormt. In der BAM werden hierzu z. Zt. weitere Überlegungen angestellt.

#### 4. Ventilationsfaktor

Auch für eine Reihe anderer der Brandlast zuzuordnenden Faktoren sind Forschungsergebnisse bekannt, so z. B. zur Beurteilung der Ventilation. Bezeichnen wir mit A die Brandabschnittsfläche, mit  $A_{\rm F}$  die Öffnungsbzw. Fensterfläche, mit  $A_{\rm t}$  die totale Fläche der umgrenzenden Wände und Decken, so haben die Forscher hier die unterschiedlichsten Bezugsfaktoren gefunden, so z. B. einen Temperaturzeitverlauf in Abhängigkeit von den Faktoren

$$A_{\rm F}/A$$
 , 1/ $\sqrt{(A_{
m t}+A_{
m F})}$  ,  $\frac{A_{
m F}\cdot\sqrt{\hbar}}{A_{
m t}}$ 

(h = Höhe der Öffnungen) u. a. m.

Die Ergebnisse von Regressionsanalysen zahlreicher Brandversuche unter natürlicher Lüftung bei der BAM Berlin (Bild 6) ergeben mit einer Standardabweichung von 15 Min. die Beeinflussung der äquivalenten Branddauer durch Ventilation zu tä

$$2,37 \cdot q^{0,60} \cdot \frac{(A_F)}{A}^{-0,44+)}$$

Hieraus ergeben sich auch die Lüftungsfaktoren w nach DIN 18 230. Die Auswertung dieser Ergebnisse in bezug auf DIN 18 230 zeigt Bild 7.

Entsprechende Überlegungen werden auch zur Ermittlung des Einflusses der Brandabschnittsgrößen nach Fläche und Volumen sowie Brandablauf durchgeführt werden (Flächenfaktor a und Geschoßfaktor n nach DIN 18 230), wobei n überwiegend als Sicherheitsfaktor gewertet werden kann.

### 5. Einfluß von Feuerbekämpfungsmaßnahmen

Das Konzept von DIN 18 230 geht weiter davon aus, daß die Löschmaßnahmen der öffentlichen und freiwilligen Feuerwehren eine zusätzliche Si-

<sup>\*)</sup> tä in min; q in kg/m² Holzgleichwert = 4,4 Mcal/m²

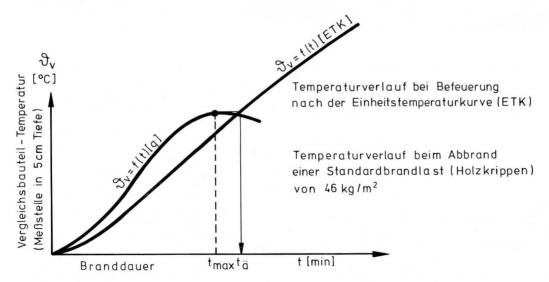


Bild 5 a. Vergleichsbauteiltemperatur in Abhängigkeit von der Branddauer. Beispiel für die Ermittlung der äquivalenten Branddauer (nach Schneider).

cherheit darstellen, zumal es schwer zu beurteilen ist, wieweit beim Vollbrand die unmittelbare Brandlastwirkung beeinflußt werden kann.

Anders verhält es sich beim Einsatz von Werkfeuerwehren und Feuerlöschanlagen, die bereits beim Entstehungsbrand wirksam werden können. Hier zeigt die Statistik, daß bei Einsatz dieser Mittel in mehr als 95 % aller Fälle ein Vollbrand vermieden werden konnte. So zeigen z. B. auch die größeren Städte im Westen der USA für den Besucher ein ungewöhnliches Bild: Da außer kleinen Gebäuden oft — unabhängig von der Bauart - Feuerlöschanlagen in Verbindung mit Warnanlagen vorgeschrieben sind (Sachschutz), werden selbst vielgeschossige Geschäftsgebäude aus Holz gegenüber Stahl und Stahlbeton konkurrenzfähig und sind erlaubt. Auch die Erfahrungen in der BRD - siehe z. B. Brandanschläge auf Warenhäuser - beweisen, wie wirkungsvoll solche Anlagen sind. Dies rechtfertigt eine entsprechende Reduzierung der Brandlasten bis zu 50 % bei den Bemessungsannahmen. Zumindest im Industriebau, bei dem nicht mit großen Menschenansammlungen zu rechnen ist, kann mit Sicherheit ein Gebäude auch dann geräumt werden, wenn - was kaum zu erwarten ist die Feuerlöschmaßnahmen ausnahmsweise nicht voll wirksam werden.

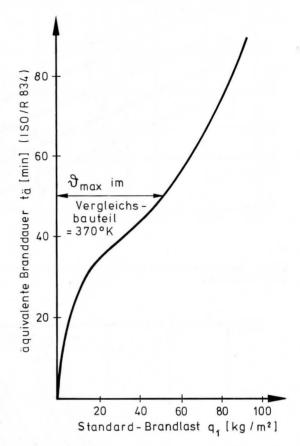
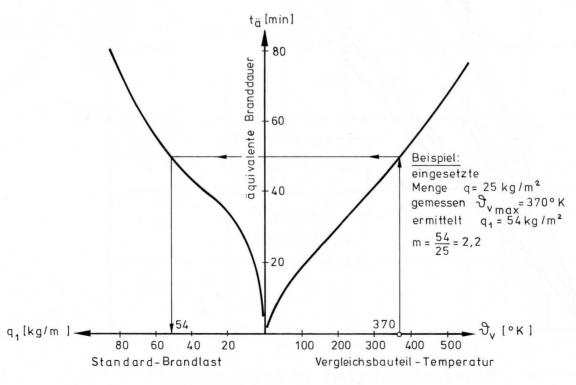


Bild 5 b. Äquivalente Branddauer beim Abbrand von Holz in Krippenform.



Ermittlung der Standardbrandlast bei bekannter Vergleichsbauteil-Temperatur (Eichkurven für den Prüfstand beim Staatl. MPA NRW) nach DIN E 18 230, Bl. 2 (nach Becker).

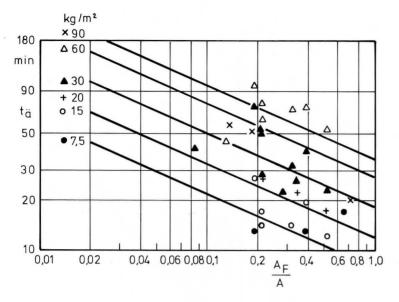


Bild 6. Regressionsanalyse von Brandversuchen unter natürlichen Bedingungen (nach Knublauch).

# 6. DIN 18 230 — Baulicher Brandschutz im Industriebau

Aus den vorgenannten Überlegungen ergibt sich nun für DIN 18 230 folgender Ansatz für die rechnerische Brandbelastung:

 $q_r = (n \cdot a \cdot w \cdot m \cdot \alpha) \cdot q \text{ (Mcal/m²)}$ Darin bedeuten:

q<sub>r</sub> = rechnerische Brandbelastung, aus der unmittelbar die Feuerwiderstandsdauer nach DIN 4102 abgeleitet werden kann

n = Geschoßfaktor

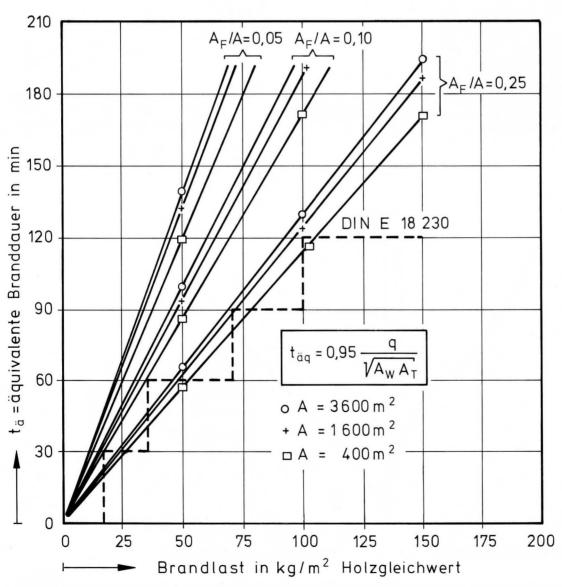
a = Flächenfaktor

w = Wärmeabzugsfaktor

m = Abbrandfaktor

z = Brandbekämpfungsfaktor

 $q = \frac{(G_i \cdot H_u)}{A} (Mcal/m^2) = Brandlast$ 



Äquivalente Branddauer als Funktion der Brandlast für einen vollentwickelten Brand nach japanischen Versuchen.

Mit Hilfe der graphischen Darstellung des Bildes 8 kann unmittelbar aus der Brandlast q die erforderliche Feuerwiderstandsdauer der Haupttragteile abgelesen werden. Nach dieser Norm bemessene Bauteile versagen beim Brand in der Regel dann nicht, wenn die vorher bestimmte Brandlast nicht überschritten wird.

Systematische Erfahrungssammlungen, statistische Auswertungen und intensive Forschungen werden nötig sein, damit alle Einflußfaktoren des Brandgeschehens und seiner Auswirkungen theoretisch erfaßt werden können. Dann wird es auch möglich sein, die Sicherheit von Gesamtkonstruktionen rechnerisch zu beurteilen, z. B. die tatsächlich auftretenden Verformungen bei Erwärmung der Konstruktion. Ergänzend zu DIN 18 230 sollen hierzu in DIN 18 231 erste Empfehlungen über die zweckmäßige Ausbildung der Gesamtkonstruktion gegeben werden.

DIN 18 232 befaßt sich mit Rauchabzugsvorrichtungen.

#### 7. Industriebaurichtlinie

Zur Zeit wird mit Hilfe der Norm DIN 18 230 eine Industriebaurichtlinie entwickelt, die für übliche Industriebauten mit bekannter Brandbelastung die entsprechenden Brandschutzanforderungen so festlegt, daß im Regelfall ein rechnerischer Nachweis nach DIN 18 230 nicht mehr notwendig wird. Nur im Rahmen dieser Richtlinie kann DIN 18 230 bauaufsichtlich verwendet werden. Dort werden auch Angaben über die Ausbildung der nicht zum Haupttragsystem gehörenden Bauteile, der Rettungswege und der Brandabschnittsgrößen zu finden sein, ebenso Angaben zur Begrenzung der Brandabschnittsgrößen und über die Verwendung brennbarer Baustoffe.

Nach den bauaufsichtlichen Vorschriften können für ein- und zweigeschossige Gebäude Ausnahmen hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer der Konstruktion zugestanden werden; dies wird in den Richtlinien ebenfalls geregelt. Dabei geht man davon aus, daß in bestimmten Fällen hier die Konstruktion u. U. schon zu einem verhältnismäßig frühen Zeitpunkt, der jedoch die Räumung des Gebäudes von Menschen und den Schutz der Nachbarschaft noch mit Sicherheit gestattet, zusammenbrechen könnte.

### 8. Andere Berechnungsverfahren

Das in der BRD entwickelte Bemessungsverfahren geht, wie gesagt, von den Prüfungen nach DIN 4102 aus. Es vergleicht die Auswirkungen eines natürlichen Brandes mit denen eines Brandes nach der Einheitstemperaturkurve. Statt dessen kann man auch in den USA, Schweden u. a. entwickelte kompliziertere Berechnungsmethoden anwenden. Diese gehen von der tatsächlichen physikalischen Auswirkung des natürlichen Brandes aus und be-

stimmen den zeitlichen Verlauf der aus Strahlung, Konvektion u. a. an einem Bauteil zu erwartenden Temperaturerhöhung. Mit Hilfe der Materialkennwerte bei höheren Temperaturen und der Kenntnisse über den zeitlichen Verlauf der Aufwärmung in einem Bauteil kann man nun berechnen, wann der Bauteil zu Bruch geht oder gefährliche Verformungen erleidet. Zur Zeit sind Großversuche im Gange, um das Verhalten der Materialien bei höheren Temperaturen näher kennenzulernen. Als weitere Parameter kommen der zeitliche Verlauf der Schnittgrößenumlagerungen bei Temperaturerhöhung u. a. hinzu.

#### Ausblick:

Erst wenn diese Arbeiten eine Reife erlangt haben, wie wir sie aus dem Bereich Standsicherheit sowie Wärmeund Schallschutz kennen, wird es möglich sein, die bauaufsichtlichen Vorschriften von Einzelanforderungen des baulichen Brandschutzes für diesen Teilbereich zu befreien.

#### Schrifttum:

Berichte Hefte I und II des Internationalen Brandschutzseminars Zürich 1973 (Becker u. a.)

Ehm: Neue Wege der Brandschutzforschung 1972.

Knublauch: Mehrere unveröffentl. Berichte zu DIN 18 230 aus dem Jahre 1971/1972.

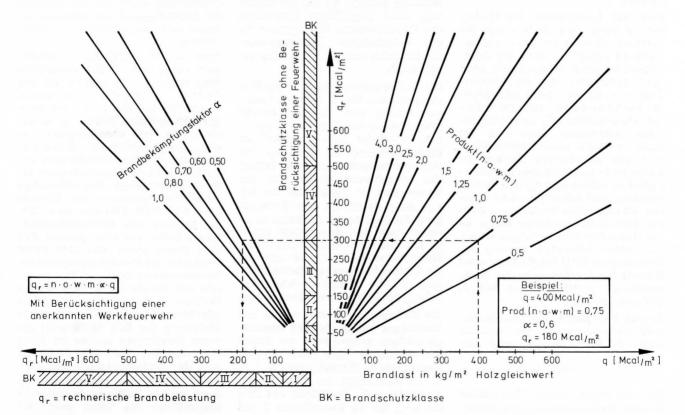


Bild 8. Graphische Ermittlung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer eines Haupttragteils nach DIN E 18 230 (nach Bongard).