

Optimierte Brandschutzbemessung im Stahlbau

Zur Bemessung von Stahlbauten für den Brandfall stehen verschiedene Methoden zur Auswahl, von einfach und schnell bis komplex und aufwendig. Die Verwendung von Brandmodellen zur Durchführung sogenannter Burn-out-Nachweise ermöglicht oftmals eine deutlich wirtschaftlichere Auslegung und einen ökologischeren Materialeinsatz als der Einsatz nomineller Temperaturzeitkurven. So lässt sich häufig zeigen, dass die Brandlast bereits aufgebraucht ist, bevor der Stahl überhaupt eine kritische Temperatur erreichen kann. Dies lohnt sich besonders bei Büros und Schulen.

Von **Hetty Bigelow**

Der Nachweis tragender Strukturen im Brandfall erfolgt nach dem üblichen Schema der Tragwerksplanung: Die Einwirkung (E) auf ein Bauteil muss kleiner oder gleich dem Bauteilwiderstand (R) sein. Die Nachweisführung erfolgt durch Bauingenieurinnen und Bauingenieure, die das Tragwerk auch für weitere Einwirkungen wie etwa Nutzlasten, Wind, Schnee, Erdbeben etc. auslegen.

Die Tragwerksbemessung kann allgemein entweder anhand der SIA-Normen oder anhand der Eurocodes inkl. Schweizer Nationaler Anhänge (NA) erfolgen. Die Einwirkungsseite wird im Brandfall in SIA 261¹ bzw. SN EN 1991-1-2² geregelt, wobei die SIA 261 bezüglich Erwärmungskurven zur Brandschutzbemessung auf SN EN 1991-1-2 verweist. Die Widerstandsseite wird für Stahlbauten in SIA 263³ bzw. in SN EN 1993-1-2⁴

AUTORIN



Hetty Bigelow

Dr.-Ing., Dipl.-Ing.
RWTH Aachen,
Stahlbau Zentrum
Schweiz, Zürich

> www.szs.ch

geregelt. Die zugehörigen Nationalen Anhänge stellen sicher, dass keine Widersprüche zu den Tragwerksnormen des SIA und den Schweizerischen Brandschutzvorschriften VKF BSV⁵ entstehen.

Die Einwirkungen im Brandfall können entweder mit nominellen Temperaturzeitkurven oder mit Brandmodellen durchgeführt werden.

Einwirkungen im Brandfall: EN 1991-1-2² Abschnitt 2.4 (4)

Nominelle Temperaturzeitkurve Brandmodell

- Ohne Berücksichtigung Abkühlphase
- «zufällig» gewählte Erwärmungskurve ohne physikalischen Zusammenhang mit einem realen Brandereignis
- keine Rücksprache Behörde

Brandmodell

- Berücksichtigung Abkühlphase
- Vorteil bei nicht brennbaren Materialien
- realitätsnäheres Szenario
- Rücksprache Behörde erforderlich
- Grundlage für Erarbeitung: parametrische Brandmodelle (z.B. EN 1991-1-2 Anhang A-E) oder Brandsimulationen

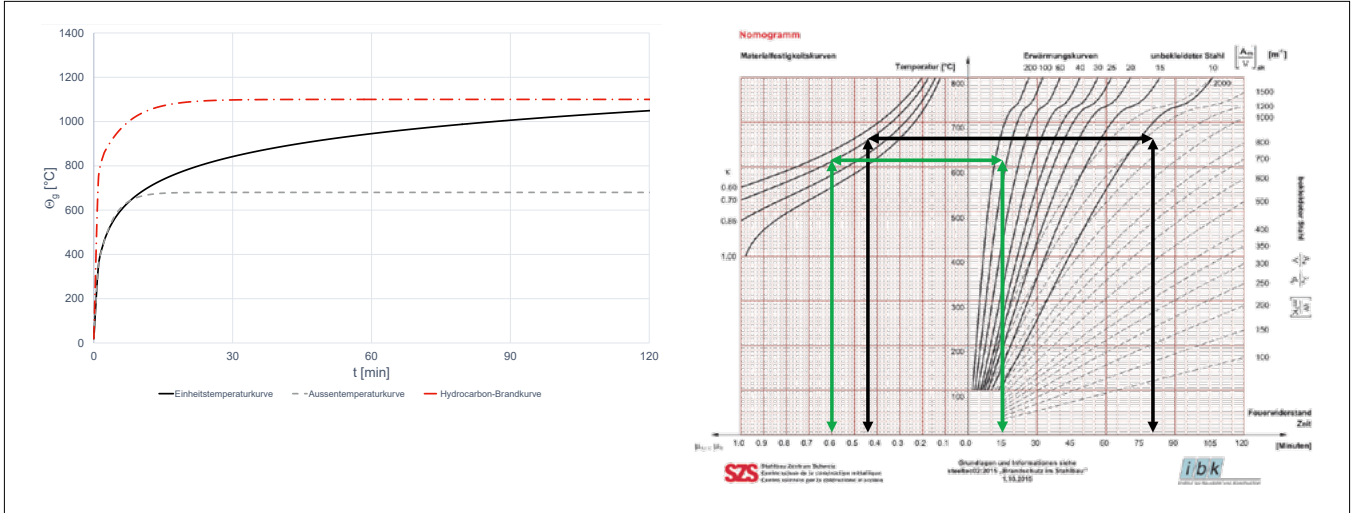


Abbildung 1 links: Gegenüberstellung nominelle Temperaturzeitkurven SN EN 1991-1-2, rechts: Nomogramm zur Brandschutzbemessung^{6,7}.

Die Verwendung nomineller Temperaturzeitkurven (vgl. Abb. 1, links) ist unkompliziert und erfordert gemäss Nationalem Anhang EN 1991-1-2/NA:2016 keine Rücksprache mit der Behörde. Die erforderliche Schutzdauer eines Bauteils (30 Min., 60 Min. etc.) wird durch die VKF BSV vorgegeben. Das Brandereignis wird als «ewiger Brand» modelliert; die tatsächliche Brandlast und eine anschließende Abkühlphase nach Ende des Brands wird nicht berücksichtigt. Für innenliegende Bauteile kommt in der Regel die Einheitstemperaturkurve (ETK) zum Ansatz. Das seitens Stahlbau Zentrum Schweiz (SZS) publizierte Nomogramm zur Bemessung von Stahlbauteilen basiert auf der ETK (vgl. Abb. 1, rechts). Für andere Brandverläufe können angepasste Nomogramme erarbeitet werden.

Wirtschaftliche und ökologische Vorteile

Brandmodelle hingegen ermöglichen die Berücksichtigung realitätsnaher Brandszenarien. Der Einsatz ist mit der

Brandschutzbehörde abzuklären. Für nichtbrennbare Baustoffe wie Stahl ergeben sich wirtschaftliche und ökologische Vorteile, da sich so oft zeigen lässt, dass ein Brandereignis vorüber ist, bevor es für das Tragwerk problematisch wird. Stahl trägt dabei nicht zusätzlich zur

Brandlast bei und erleidet auch keine Querschnittsverluste, besitzt allerdings ein temperaturabhängiges Werkstoffverhalten. E-Modul (Steifigkeit), Fließgrenze (Festigkeit) und Proportionalitätsgrenze (Festigkeit) und Proportionalitätsgrenze sinken bei steigender Stahltemperatur (vgl. Abb. 2).

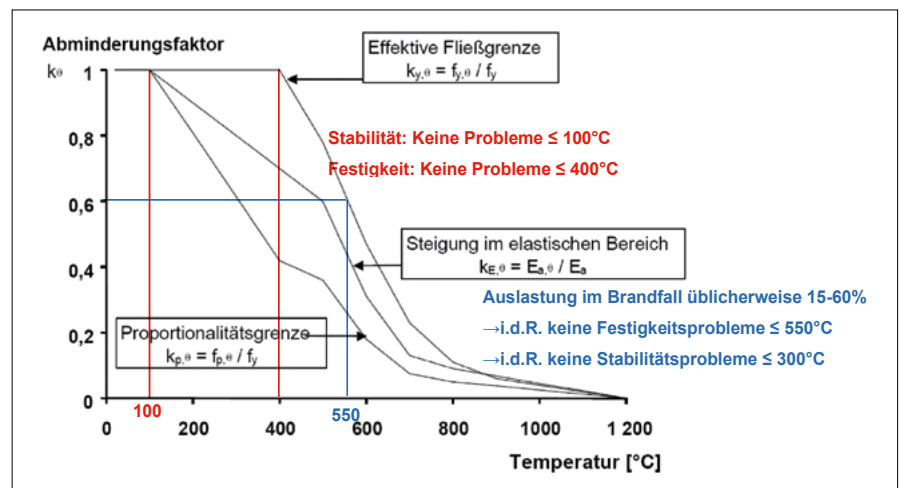


Abbildung 2: Abminderung von E-Modul (Steifigkeit), Fließgrenze (Festigkeit) sowie der Proportionalitätsgrenze in Abhängigkeit von der Stahltemperatur gemäss SN EN 1993-1-2.

Parametrische Temperaturzeitkurven

Die SN EN 1991-1-2 macht Vorschläge für parametrische Temperaturzeitkurven (PTK). Diese sind einfach einzusetzen, der Mehraufwand im Vergleich zur Verwendung der ETK ist überschaubar. Ihre Anwendung ist allerdings beschränkt. Für komplexere Fälle können Temperaturzeitkurven anhand von Brandsimulationen (z.B. Zonenmodelle oder CFD-Simulationen) erarbeitet werden.

Abbildung 3 stellt am Beispiel eines ungeschützten Deckenträgers einer Schaltzentrale⁷ Temperaturberechnungen anhand ETK und PTK gegenüber. Das Objekt hat eine Brandlastdichte $q_{f,d} = 200 \text{ MJ/m}^2$ und eine erforderliche Schutzdauer von 60 Minuten. Die anhand ETK berechnete Stahltemperatur erreicht bereits nach 15 Minuten die für den Träger kritische Temperatur von 620°C , während bei Erwärmungsberechnung anhand PTK Raum- und Stahltemperatur vollständig unterhalb der kritischen Temperatur bleiben. Die kritische Temperatur ergibt sich aus dem Ausnutzungsfaktor $\mu_{fi,t} = 0,6$ (Beanspruchung im Brandfall/Widerstand bei 20°C) und dem Anpassungsfaktor $\kappa = 0,7$ (Träger dreiseitig dem Feuer ausgesetzt, brandgeschützt mit Betonplatte auf der 4. Seite) und kann entweder nach SN EN 1993-1-2 berechnet oder aus dem Nomogramm in Abbildung 1 abgelesen werden. Die kritische Temperatur ist die Temperatur, bei der die Einwirkung (E) im Brandfall gleich dem Widerstand (R) im Brandfall ist.

Das Anwendungsbeispiel zeigt nicht nur, dass der Nachweis erfüllt ist, sondern auch, dass das Bauteil den gesamten

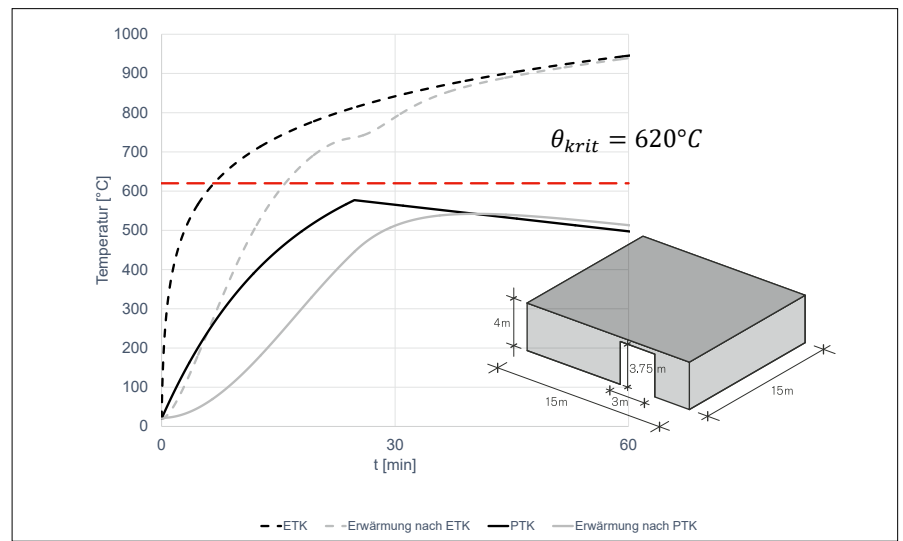


Abbildung 3: Praxisbeispiel Schaltzentrale⁷ (IPE 450, ungeschützt, $\mu_{fi,t} = 0,6$ Brandlastdichte $q_{f,d} = 200 \text{ MJ/m}^2$). Gegenüberstellung Erwärmung Deckenträger unter Berücksichtigung Einheitstemperaturkurve und parametrisierte Temperaturlastkurven.

Brand ohne Hilfe von aussen übersteht. Solche «Bourn-out-Nachweise» sind besonders geeignet für schwer zugängliche Bauten mit nichtbrennbarem Tragwerk mit geringen mobilen Brandlasten und/oder günstigen Ventilationsverhältnissen.

Weiterführende Angaben

SN EN 1991-1-2 beinhaltet neben PTK für Raumbrände und lokale Brände auch weiterführende Angaben zur Ermittlung von Brandkurven, etwa mit Zonenmodellen oder Computational Fluid Dynamics (CFD), die einen Brandverlauf deutlich detaillierter simulieren können, dafür aber auch aufwendiger sind. Neben der Brandlastdichte q sind die Wärmefreisetzungsrate Q und das Mass α für die Ausbreitungsgeschwindigkeit wichtige Eingangsparameter für diese Berech-

nungen. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Wärmefreisetzungsrate eines Brandabschnittes in einer Wohnung (Zimmergrösse) von 20 m^2 . Infolge der Grundfläche des Brandabschnittes ergibt sich eine relativ grosse Wärmefreisetzungsrate von 5 MW ; bei kleineren Brandabschnitten und bei lokalen Bränden in grösseren Räumen (Büros, Industriehallen) ist die Brandlast deutlich geringer. Für Büros sind Wärmefreisetzungsraten von $1,5$ bis 3 MW üblich.

Die Brandlastdichte q bewegt sich für übliche Wohn- und Gewerbenutzungen i.d.R. zwischen 500 und 1000 MJ/m^2 . Für Büros, Schulen, Hotels und Bettenzimmer von Spitälern liegt die Brandlastdichte meist deutlich unter 500 MJ/m^2 . Für diese Nutzungen lohnt sich der Ansatz einer realitätsnahen Temperaturzeitkurve erfahrungsgemäss besonders.

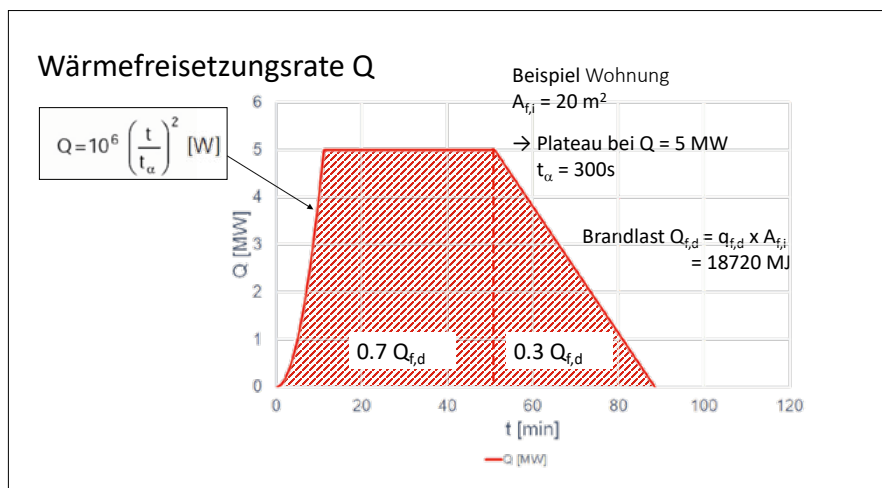


Abbildung 4: Wärmefreisetzungsrate Q nach SN EN 1991-1-2 am Beispiel eines Brandabschnittes von 20 m^2 in einer Wohnung.

- ¹ SIA 261: 2020 Einwirkungen auf Tragwerke
- ² EN 1991-1-2 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 + Nationaler Anhang EN 1991-1-2/NA:2016
- ³ SIA 263: 2013 Stahlbau
- ⁴ EN 1993-1-2 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 + Nationaler Anhang EN 1993-1-2/NA:2016
- ⁵ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) Brandschutzvorschriften (BSV) 2015 (Rev. 2017)
- ⁶ Euronomogramm <https://drive.google.com/file/d/1fNFkIc3n14qd7tJEShKICXqk5COPI-A/view>
- ⁷ Stahlbau Zentrum Schweiz: steeltec 02:2017 Brandschutz im Stahlbau, <https://szs.ch/steeltec/>