

Mit den neuen Eurocodes können Tragwerke sowohl für den Neubau als auch im Bestand heiß bemessen werden

Dabei müssen im Brandschutzkonzept die Interaktionen zwischen Tragwerk und Bauprodukten vorbedacht werden

Es gibt neue Möglichkeiten für die Bemessung von Tragwerken im Neubau und im Bestand. Dabei ist bei der Anwendung von Naturbrandmodellen bereits im Brandschutzkonzept auf eine fach- und sachgerechte Verknüpfung der Schnittstellen zwischen Tragwerk und sonstigen Bauprodukten hinzuwirken. Bei konsequenter Anwendung der Bauordnungen sind *Zustimmungen im Einzelfall* (ZiE) notwendig, um die Verwendung von Bauprodukten mit Brandschutzanforderungen in Tragwerke einzubinden zu können, die auf Grundlage von Naturbrandmodellen bemessen wurden. Es ist aber, wie der folgende Beitrag mit mehreren Beispielen belegt, im Einzelfall zu bewerten, ob auf eine ZiE mit der Begründung, dass eine unwesentliche Abweichung vorliegt, verzichtet werden kann. Diese Fälle sollten dann aber mit den prüfenden Instanzen diskutiert und abgestimmt werden. Es gilt weiter zu beachten, dass nicht nur fachlich geeignete Prüfer die Bauvorhaben begleiten müssen. Auch die Aufsteller der bautechnischen Nachweise müssen sich mit den Randbedingungen und Anwendungsgrenzen vertraut machen – eine Aufgabe die sich nach Ansicht des Autors lohnt.



Dipl.-Ing. (FH) Bernd Stark

studierte – nach einer Lehre als Gas- und Wasserinstallateur – das Bauingenieurwesen mit der Vertiefung „Konstruktiver Ingenieurbau“ an der Fachhochschule Kiel, 1995 wurde er als Tragwerksplaner im heutigen Büro oemig + partner (Kiel) eingestellt, in dem er 2000 einer der geschäftsführenden Gesellschafter wurde; seit 2001 beschäftigt sich Bernd Stark neben der Tragwerksplanung auch mit dem Brandschutz und der heißen Bemessung; 2010 wurde Stark Prüfsachverständiger für Brandschutz und 2014 Prüfungsinstitut für Standsicherheit, Fachrichtung Massivbau.

1 Einführung

Seit dem 1. Juli 2012 sind die Eurocodes als Bemessungsnormen in den Bundesländern als technische Baubestimmungen eingeführt. In diesem Zuge wurden auch die aktuellen Fassungen der sogenannten heißen Teile der Eurocodes in die Liste der Technischen Baubestimmungen aufgenommen. Damit ist es nun möglich, mit einem umfassenden Regelwerk Tragwerke nicht nur im kalten Zustand zu bemessen, sondern auch unter Hochtemperatureinwirkungen.

Nachstehend sollen zum einen Beispiele heißer Nachweise aus der Praxis dargestellt werden. Zum anderen wird der Frage nachgegangen, wie es um die Verwendbarkeit von Bauprodukten in Tragwerken steht, die nicht auf Grundlage der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) bemessen wurden.

Weiterhin stellt sich die Frage, wie der bauaufsichtliche Umgang mit Tragwerken einzustufen ist, die anhand statischer Berechnungen unter Hochtemperatureinwirkungen nachgewiesen werden.

2 Bauaufsichtliche Einordnung heißer Nachweise

Im Rahmen der Veröffentlichung der Musterliste der Technischen Baubestimmungen [1] wurden mit der Fassung vom September 2012 in der Anlage 1.2/1 bauaufsichtliche Regeln für die Anwendung von Naturbrandmodellen aufgestellt. Dazu gehört auch die Forderung nach einer Prüfung der Voraussetzungen und Annahmen von Brandmodellen sowie der daraus abgeleiteten thermischen Beanspruchung bei prüf- und bescheinigungspflichtigen Bauvorhaben im Sinne von Paragraph 66 Absatz 3 der Musterbauordnung der Länder (MBO) [2] durch einen geeigneten Prüfsachverständigen oder Prüfsachverständigen für Brandschutz. Für die Anwendung von Naturbrandmodellen ist eine Abweichung genehmigen zu lassen oder eine Erleichterung zu erwirken.

Nachstehend werden in **Abb. 1** und **Abb. 2** die bauaufsichtlichen Zusammenhänge bei der Anwendung von Ingenieurmethoden im Rahmen von Tragwerksbemessungen unter Hochtemperatureinwirkung dargestellt. Dabei wird prinzipiell unterschieden, ob der heißen Bemessung die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) oder ein Naturbrandmodell zugrunde liegt.

Bei der Anwendung von Nachweisen für Tragwerke unter der Beanspruchung aus der Einheitstemperaturzeitkurve lassen sich die thermischen Einwirkungen leicht vom Tragwerksplaner selbst bestimmen. Bei Einwirkungen auf Grundlage von Naturbrandmodellen sind diese in der Regel vom Brandschutzplaner vorzugeben, der meist über umfassendere Erfahrungen verfügt. Der Brandschutzplaner hat zudem die Randbedingungen sowie die Begründung für die gewählten Ansätze zu formulieren.

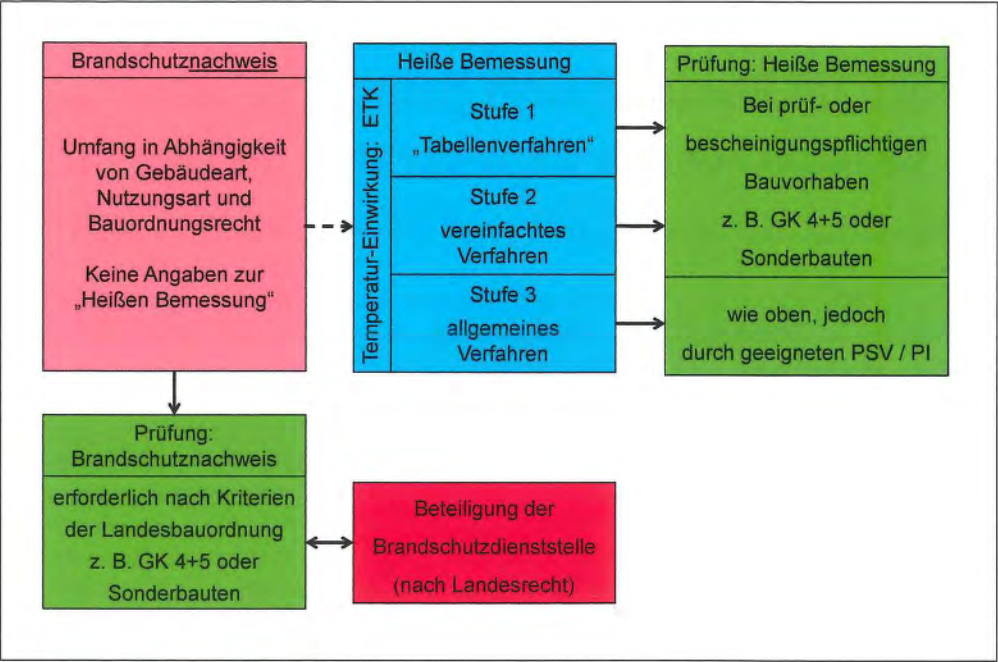


Abb. 1: Bauordnungsrechtlicher Zusammenhang zwischen Brandschutznachweis und heißer Bemessung auf Grundlage der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK)

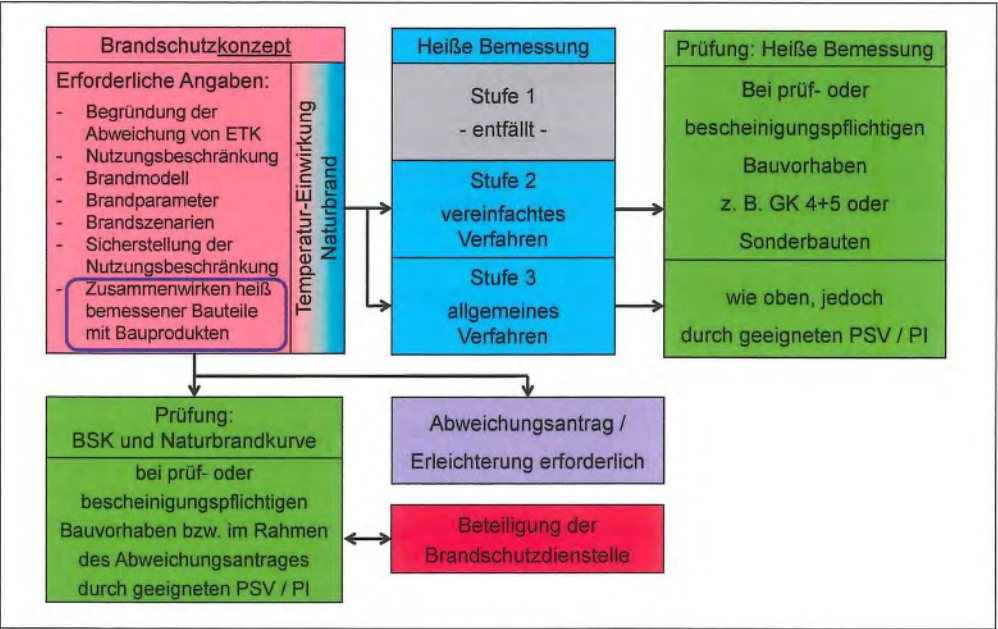


Abb. 2: Bauordnungsrechtlicher Zusammenhang zwischen Brandschutzkonzept und heißer Bemessung auf Grundlage eines Naturbrandmodells

3 Konflikt heißer Nachweise mit Verwendbarkeitsnachweisen

Sofern die Tragwerksbemessung, gleich welcher Stufe, nach der Einheitstemperaturzeitkurve erfolgt, können die nachgewiesenen Bauteile einer bauordnungsrechtlich definierten Feuerwiderstandsklasse zugeordnet werden. Dabei ist lediglich darauf zu achten, dass die Einwirkungsdauer der thermischen Beanspruchung den Feuerwiderstandsklassen entspricht, also

- feuerhemmend → Einwirkungsdauer 30 Minuten,
- hochfeuerhemmend → Einwirkungsdauer 60 Minuten,
- feuerbeständig → Einwirkungsdauer 90 Minuten.

Liegt einem Bauteil aus brennbaren Baustoffen im Rahmen der heißen Bemessung eine Brandbeanspruchung von 90 Minuten nach der Ein-

heitstemperaturzeitkurve zugrunde, bedingt das eine Abweichung, da aus bauordnungsrechtlicher Sicht die Anforderung „feuerbeständig“ nur mit einem nichtbrennbaren Baustoff zu erfüllen ist.

Wird eine Naturbrandkurve als thermische Einwirkung zugrunde gelegt, kann der sich daraus ergebende Feuerwiderstand des betrachteten Bauteils nicht mehr einer bauordnungsrechtlich definierten Feuerwiderstandsklasse zugeordnet werden.

Dieser Umstand bekommt dann eine besondere Bedeutung, wenn an so bemessene Tragwerksteile Bauprodukte mit Anforderungen an den Feuerwiderstand anschließen. In der Regel fordern die den Bauprodukten zugehörigen An- und Verwendbarkeitsnachweise nämlich den Einbau oder Anschluss an brandschutztechnisch qualifizierte Bauteile.

In **Abb. 3** und **Abb. 4** sind solche Einbausituationen exemplarisch dargestellt. Zum einen wird in **Abb. 3** eine feuerhemmende Wand an eine

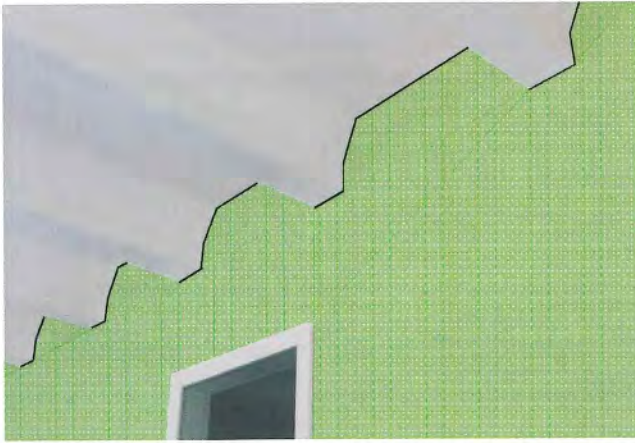


Abb. 3: Anschluss einer feuerhemmenden Flurwand an eine historische mit Naturbrandkurve nachgewiesene Rippendecke

nach Naturbrandkurve bemessene Decke angeschlossen. Die Einbaubedingungen der Wand fordern jedoch den Anschluss an ein mindestens feuerhemmendes Bauteil. Diese Bedingung wird im vorliegenden Fall nicht erfüllt.

In Abb. 4 ist der Einbau einer Brandschutzklappe in eine Decke dargestellt. Auch diese Decke ist auf Grundlage einer Naturbrandkurve bemessen worden. Sie lässt sich somit nicht in eine bauordnungsrechtliche Feuerwiderstandsklasse einordnen. Die Einbaubedingungen der Brandschutzklappe fordern aber den Einbau in ein feuerbeständiges Bauteil.

Im Rahmen des Brandschutzkonzeptes ist nun darzulegen, in welchen Bereichen mit derartigen Abweichungen von den Einbaubedingungen der Bauprodukte zu rechnen ist. Weiterhin ist im Brandschutzkonzept vom Grundsatz her zu bewerten, ob die bauliche Verknüpfung von Bauprodukten mit nach Naturbrand bemessenen Tragwerksteilen in dem betrachteten Bauvorhaben möglich ist oder nicht. In einem weiteren Schritt ist durch den Tragwerksplaner das Verhalten des heiß bemessenen Tragwerksteils zu beschreiben. Hierzu gehören insbesondere das Verformungsverhalten, die Steifigkeit oder der Wärmedurchgang.

Anschließend ist zu bewerten, ob die Einbaubedingungen des Bauproduktes eine Zustimmung im Einzelfall benötigen oder ob unter Umständen nur eine unwesentliche Abweichung von den Ver- oder Anwendbarkeitsnachweisen vorliegt.

4 Praktische Anwendungsbeispiele heißer Bemessungen

4.1 Anwendungsbeispiel heißer Bemessung nach Einheitstemperaturzeitkurve

Eine Tragwerksbemessung mit heißen Nachweisen kann sich auch bei kleinen Bauvorhaben sowie unter Anwendung der Einheitstemperaturzeitkurve lohnen. Im vorliegenden Fall handelt es sich um einen erdgeschossigen Kindergarten. Abb. 5 und Abb. 6 zeigen seinen Grundriss respektive seinen Querschnitt.

In diesem Kindergarten sollen aus architektonischen Gründen kreisförmige Stützen vorgesehen werden. Die Lage der Stützen ist in Abb. 5 und Abb. 6 durch rote Pfeile gekennzeichnet. Wegen der geringen Las-



Abb. 4: Einbau einer Brandschutzklappe in eine mit Naturbrandkurve nachgewiesene Decke

ten und der einfachen Bauweise bieten sich hierzu Stahlstützen an. Es ist ein feuerhemmender Widerstand der Konstruktion zu erreichen. Üblich wäre eine feuerhemmend beschichtete Stahlstütze, um den geforderten Feuerwiderstand gewährleisten zu können. Diese Beschichtungen sind im vorliegenden Anwendungsbereich jedoch auch höheren mechanischen Beanspruchungen durch spielende Kinder ausgesetzt. Dies bedingt dann, um Fehlstellen auszuschließen, eine entsprechende Unterhaltung der Beschichtungsflächen.

Alternativ wird nun dargestellt, wie mit überschaubarem Aufwand ein statischer Nachweis unter Hochtemperatureinwirkungen aussehen kann.

Im Gebäude wurden drei Stahlstützenquerschnitte mit der Materialgüte S 235 verwendet: Rohr 177,8 x 12,5 sowie Rohr 101,6 x 12,5 und Rohr 101,6 x 8,0.

Folgend wird beispielhaft der Nachweis für den Querschnitt 101,6 x 8,0 dargestellt. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass die Bauteiltemperatur der Heißgastemperatur nach der Einheitstemperaturzeitkurve nach 30 Minuten Branddauer entspricht.

Statische und thermische Einwirkungen:

Ständige Lasten: $G_k = 19,54 \text{ kN}$
 Veränderliche Lasten (Schnee): $Q_k = 8,7 \text{ kN}$
 Thermische Einwirkung (ETK₃₀): $\Theta_a = \Theta_g = 842^\circ \text{C}$

Aus den obigen Beanspruchungen ergibt sich eine Lasteinwirkung für die Bemessung im Brandfall nach DIN EN 1990, Abschnitt 6.4.3.3:

$$N_{fi,d} = \gamma_G \cdot G_k + \psi_2 \cdot \gamma_Q \cdot Q_k \quad (1)$$

mit den Teilsicherheitsbeiwerten (Lastseite) im Brandfall: $\gamma_G = 1,0$ und $\gamma_Q = 1,0$.

Da die veränderliche Einwirkung aus Schneelast resultiert, kann $\psi_2 = 0$ gesetzt werden. Hieraus folgt:

$$N_{fi,d} = 1,0 \cdot 19,54 + 0 \cdot 1,0 \cdot 8,70 = 19,54 \text{ kN}$$

Aufgrund der thermischen Einwirkung sind die Materialkenngrößen abzumindern. Diese Abminderung ergibt sich für die Festigkeit und den E-Modul nach DIN EN 1993-1-2 Abschnitt 3.2.1 für $\Theta_a = 842^\circ \text{C}$ zu:

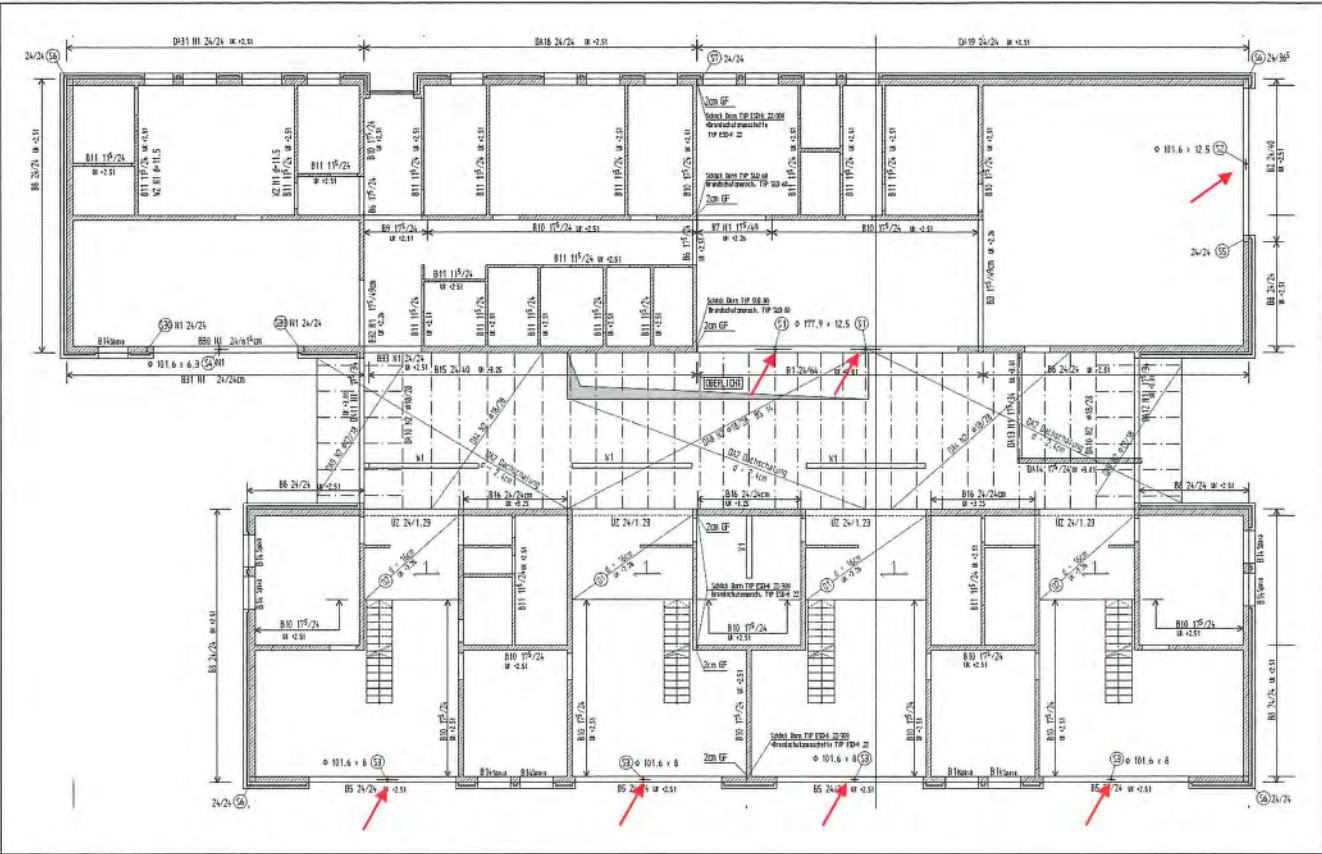


Abb. 5: Grundriss des im Text besprochenen Kindergartens

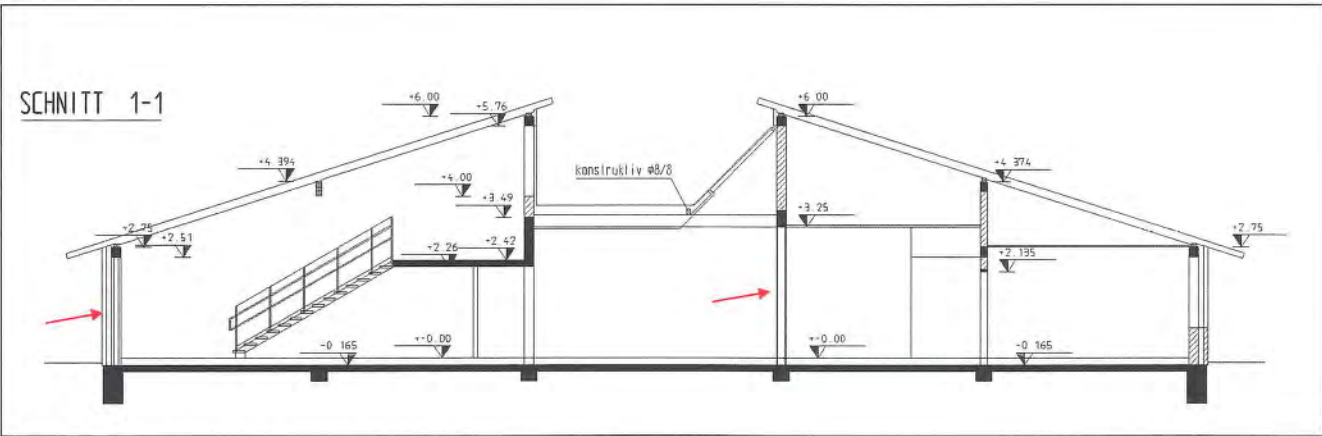
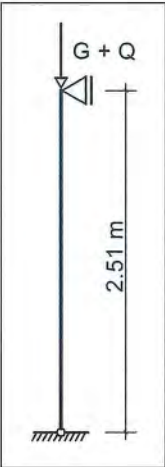


Abb. 6: Querschnitt des im Text besprochenen Kindergartens



Für die Festigkeit: $k_{y,\Theta} = 0,089$
Für den E-Modul: $k_{E,\Theta} = 0,081$

Im nächsten Schritt ist die Schlankheit der Stütze unter Normaltemperatur zu bestimmen. Hieraus können die Schlankheit und somit der Knickbeiwert im Brandfall abgeleitet werden. Die Knicklänge wird hier unter Hochtemperatureinwirkung mit der unter normalen Temperaturen gleichgesetzt zu (Abb. 7):

$l_{fi} = l_0 = 2,51 \text{ m.}$

Aus der Knicklänge und dem Trägheitsradius des Querschnittes kann nun die Stützenschlankheit unter Normaltemperatur rechnerisch bestimmt werden:

$$\bar{\lambda} = \frac{l_{fi}}{i \cdot \lambda_1} \tag{2}$$

Trägheitsradius der Stütze: $i_{101,6 \times 8,0} = 3,321 \text{ cm}$

$$\bar{\lambda} = \frac{251}{3,321 \cdot 93,9} = 0,805$$

Damit ergibt sich die Schlankheit im Brandfall zu:

$$\bar{\lambda}_{\Theta} = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{k_{y,\Theta} / k_{E,Q}} \tag{3}$$

$$\bar{\lambda}_{\Theta} = 0,805 \cdot \sqrt{0,089 / 0,081} = 0,844$$

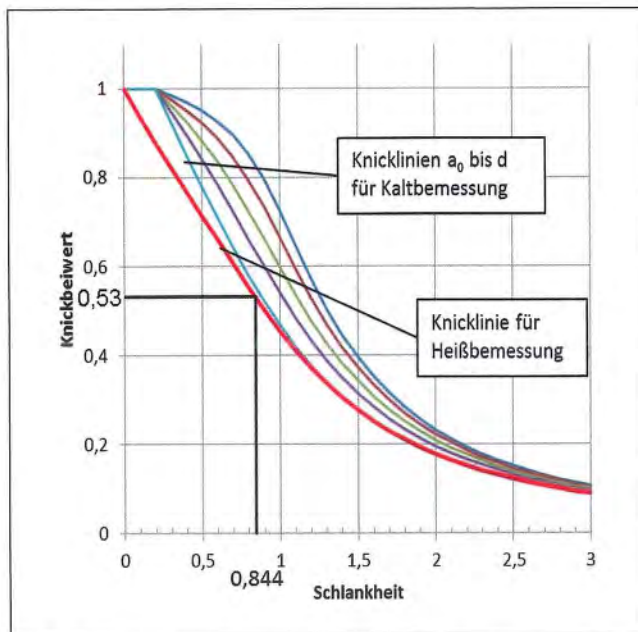


Abb. 8: Bestimmung des Knickbeiwertes (χ_{fi}) aus der Schlankheit

Mit der ermittelten Schlankheit kann nun der Knickbeiwert (χ_{fi}) der Abb. 8 entnommen werden.

Nun kann der Tragfähigkeitsnachweis für die druckbeanspruchte Stütze nach DIN EN 1993-1-2, Abschnitt 4.2.3.2 geführt werden:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\Theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi} \quad (4)$$

Mit den nachstehenden Eingangsgrößen ergibt sich die Tragfähigkeit der Stütze zu:

Abminderungsfaktor für Biegeknicken: $\chi_{fi} = 0,53$
 Stahlquerschnitt: $A = 23,5 \text{ cm}^2$
 Abminderungsfaktor für die Festigkeit: $k_{y,\Theta} = 0,089$
 Stahlfestigkeit: $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$
 Teilsicherheitsbeiwert (Materialseite): $\gamma_{M,fi} = 1,0$

$$N_{b,fi,t,Rd} = 0,53 \cdot 23,5 \cdot 0,089 \cdot 23,5 / 1,00$$

$$N_{b,fi,t,Rd} = 26,1 \text{ kN} > 19,54 \text{ kN} = N_{fi,d}$$

Es konnte der Nachweis für eine feuerhemmende Stütze ohne zusätzliche Brandschutzmaßnahmen erbracht werden. Dafür ist die Stütze allerdings im Kalt-Fall deutlich überbemessen, was mit Blick auf die geringen Lasten und die eingesparte Beschichtung jedoch angemessen ist.

Einen Konflikt bei der Verknüpfung mit anderen Bauprodukten hinsichtlich deren Verwendbarkeit gibt es nicht, da die feuerhemmende Bauweise – also eine bauordnungsrechtliche Qualitätsanforderung – nachgewiesen wurde.

4.2 Heiße Bemessung bei mit CFK-Lamellen verstärkten Bauteilen

Die Verwertung von baulichen Beständen im Rahmen neuer Nutzungskonzepte hat in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen. Oft sind es aber auch lediglich neue Anforderungen an die Bausubstanz wegen Umbauwünschen der Eigentümer oder Nutzer.

In diesem Rahmen kann es vorkommen, dass Tragwerksteile verstärkt werden müssen, um höhere Lasten aufnehmen zu können. Der Lastzuwachs kann aus einer höheren Nutzlast oder auch aus Änderungen eines statischen Systems resultieren. Wird beispielsweise bei einem Dreifeldträger das mittlere Feld für einen Deckendurchbruch entfernt, erhöhen sich die Feldmomente der beiden äußeren Randfelder. Als Verstärkungen bieten sich im Stahlbetonbau dann vorgefertigte Lamellen aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK-Lamellen) oder Stahllamellen an. Die Lamellen werden mit einem Epoxidharzkleber als äußere Bewehrung auf den Betonquerschnitt aufgeklebt (Abb. 9, 10, 11).

Nachteilig bei der äußeren aufgeklebten Bewehrung ist der fehlende Feuerwiderstand. Die CFK-Lamelle ist naturgemäß sogar brennbar. Weiterhin beträgt die Glasübergangstemperatur des Epoxidharzklebers circa 55 Grad Celsius. Ab dieser Temperatur verändern sich die Materialeigenschaften des Klebers, wobei sich die Tragfähigkeiten reduzieren.

Nach Herstellerangaben wären die Lamellen aus diesem Grunde für eine feuerhemmende Bauweise mit einer circa 50 Millimeter und für eine feuerbeständige Konstruktion mit einer circa 75 Millimeter dicken Brandschutzbekleidung auszustatten.

Wird der Lamellenbewehrung jedoch kein zu großer Lastanteil zugewiesen (zum Beispiel: Verstärkungsgrad kleiner als 50 Prozent), kann durch die mögliche Lastreduzierung im Brandfall (vergleiche das vorherige Beispiel) sowie durch die reduzierten Teilsicherheitsbeiwerte unter Brandeinwirkung der Nachweis gelingen, dass im Brandfall für eine ausreichende Tragfähigkeit die Lamellen entbehrlich sind.

Bei dem hier genannten Beispiel aus [3] konnte über eine Heißbemessung nachgewiesen werden, dass weder der Unterzug, noch die Decke mit einer Brandschutzbekleidung ausgestattet werden mussten, um eine feuerbeständige Konstruktion zu erreichen. Im Rahmen der Heißbemessung wurde angenommen, dass die Lamellen nicht existent sind.

4.3 Hinweise zu Anwendungsgrenzen heißer Nachweise

Die Möglichkeiten der neuen Nachweismethoden können dazu führen, dass diese auch in solchen Bereichen zur Anwendung kommen, in denen die Randbedingungen der Normen nicht mehr gelten. Dies kann beispielsweise bei historischen Decken der Fall sein.

Bestehende Decken historischer Gebäude wurden oft mit Hohlkörpern ausgestattet. Als Hohlkörper dienten zum Beispiel Ziegel oder Betonfüllkörper. Die ausreichende Tragfähigkeit wurde durch ausbetonierte Fugen mit Stahleisen-Einlagen (Bewehrung) erreicht. In Abb. 12 ist ein Aufbau schematisch dargestellt. Im Rahmen von Bestandsbewertungen liegt es nun nahe, diese Decken mittels heißer Nachweise zu beurteilen.

Dabei wäre es eigentlich plausibel, den Achsabstand der Bewehrung bis zur Unterkante des Ziegels als rechnerisches Achsmaß für die Bestimmung der Stahltemperatur zu verwenden (Abb. 13). Dies würde jedoch in bestimmten Fällen zu einer deutlichen Überschätzung der Tragfähigkeiten führen. Dies gilt insbesondere für Einfeld-Deckensysteme, also Decken ohne Durchlaufwirkung sowie bei fehlender Querbewehrung.

Bei einigen Füllkörpern ist bereits in der frühen Phase des Brandes, also deutlich vor der 30. Minute, mit erheblichen Abplatzungen zu rechnen.

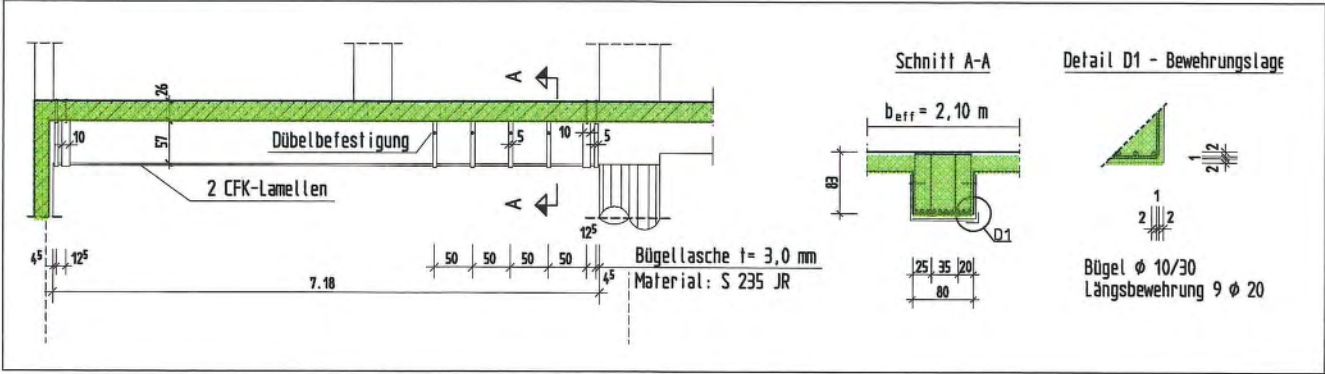


Abb. 9: Unterzug mit Verstärkung durch 2 CFK-Lamellen als Feldbewehrung für Lasterhöhung

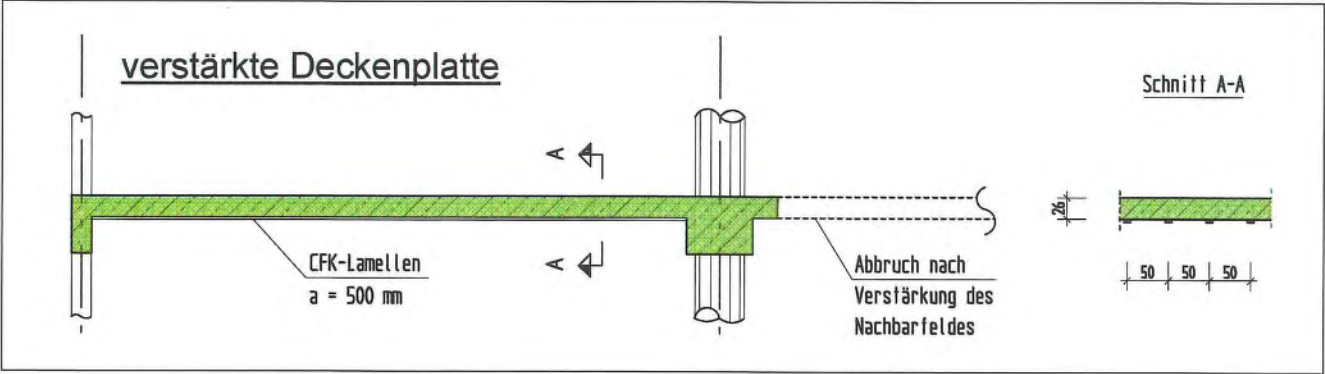


Abb. 10: Deckenplatte mit Verstärkung durch CFK-Lamellen als Feldbewehrung für Lasterhöhung durch Änderung des statischen Systems



Abb. 11: Eingebaute Verstärkung mit CFK-Lamellen als äußere Bewehrung – links: Unterzug; rechts: Deckenplatte

Infolge der Abplatzungen (Abb. 14) wird die Bewehrung freigelegt und ist dann dem Schadensfeuer ungeschützt ausgesetzt. Somit kann sich die Bewehrung schnell erhitzen und an Tragfähigkeit verlieren.

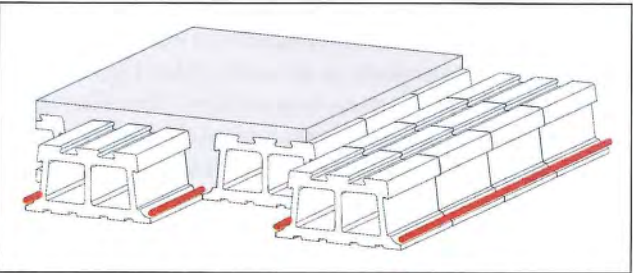


Abb. 12: Schematische Darstellung einer Hohlkörperdecke nach [4]

Im Beton-Brandschutz-Handbuch [5] sind insbesondere folgende Deckenfüllkörper hinsichtlich des Abplatzverhaltens als gefährdet eingestuft worden:

- Stahlstein-Decken mit Ziegeln nach DIN 4159 und einem Innenstegabstand mehr als 60 Millimeter,
- Balken- und Rippendecken mit Ziegeln nach DIN 4160,
- Balken- und Rippendecken mit Zwischenbauteilen aus Beton nach DIN 4158 der Formen E, EM, F, FM und GM.

Weiterhin muß an dieser Stelle auch darauf hingewiesen werden, dass es für verschiedene Fragestellungen in den Normen derzeit keine Bemessungsinstrumente für den Brandfall gibt. Hierzu auszugsweise folgende Beispiele:

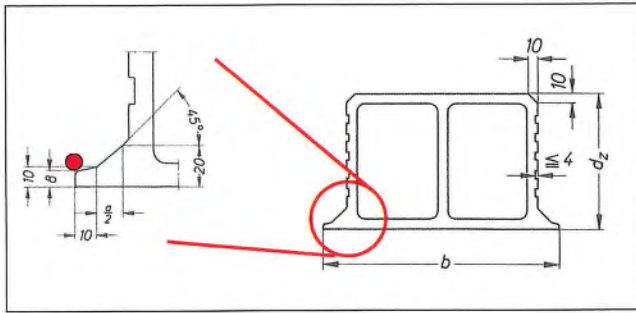


Abb. 13: Schematische Darstellung der Bewehrungslage auf der Nase eines Ziegels

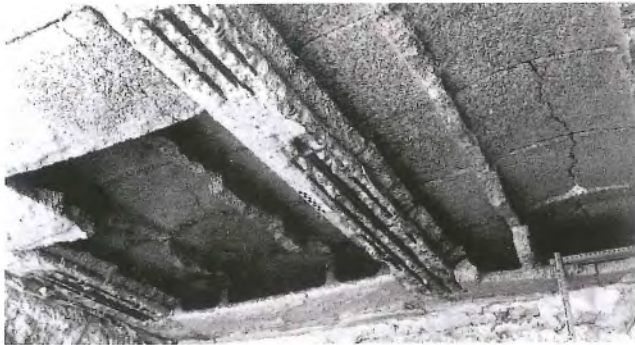


Abb. 14: Abplatzungen einer Balkendecke mit Zwischenbauteilen aus Beton nach DIN 4158 aus [5] mit freiliegender Bewehrung

- Im Stahlbetonbau:

- Fehlende Modelle für Schub- und Torsionsbemessung,
- fehlendes Modell für Durchstanzen,
- keine rechnerischen Ansätze für Bewehrungsverankerungen,
- Abplatzen von Beton konstruktiv beachten.

- Im Mauerwerksbau/Ziegel:

- Keine zugelassene rechnerische Mauerwerksbemessung,
- Abplatzverhalten konstruktiv beachten.

- Im Holzbau:

- Rechnerische Nachweise zu Versagenskriterien für Holzbauteile nach der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHolzR).

- Im Allgemeinen:

- Es gibt keine Materialkennwerte für die Abkühlphase und die Zeit nach einem Brand.

Es lässt sich also festhalten, dass die vorliegenden Bemessungsmodelle für die Tragfähigkeitsbestimmung im Brandfall derzeit noch einige Lücken aufweisen. Sie werden momentan noch durch konstruktive Mindestanforderungen geschlossen. In bestimmten Fällen ist aus Versuchserfahrungen bekannt, dass lokales Versagen, wie bei der Bewehrungsverankerung, in der Regel nicht bemessungsbestimmend ist. Mit diesen Vorgaben ist eine sichere Bemessung möglich. Zu beachten sind aber die Randbedingungen und Anwendungsgrenzen der in den Normen angegebenen Modelle.

4.4. Beispiel heißer Nachweise im Rahmen von experimenteller Statik

In diesem Beispiel soll aufgezeigt werden, wie im Bestand unter An-

satz eines Naturbrand-Modells die Tragfähigkeit einer historischen Decke bestimmt werden kann. Dabei handelt es sich um ein Gebäude aus den 1930er Jahren mit sogenannten Pohlmanndecken. Dies sind Rippendecken in vorgefertigten Schalungsträgern (**Abb. 15**).

Bei der Bestandsaufnahme stellte sich heraus, dass die Bewehrungsseisen, bestehend aus Isteg-Stählen, nicht vollständig in den Beton eingebunden sind (**Abb. 16**). Wahrscheinlich wurden ein zu steifer Beton eingebaut und zudem keine ausreichende Verdichtung vorgenommen. Mit den Gegebenheiten war es nicht möglich, die Tragfähigkeit der Decken nach den Betonnormen DIN 1045 oder Eurocode 2 zu bestimmen, da die Randbedingungen für die Bemessungsmodelle nicht mehr gegeben waren.

Um eine aufwendige Spritzbetonsanierung zu umgehen, wurde vorgeschlagen, die Tragfähigkeit der Decken mittels Belastungsversuchs zu bestimmen. Hierzu wurde das Institut für experimentelle Statik (IFES) aus Bremen eingeschaltet.

Mit Hilfe eines Versuchsprogramms und der Prüfeinrichtungen des IFES wurden die Decken mit Versuchslasten *in situ* geprüft. Die aufgetragenen Belastungen der Decken entsprachen den charakteristischen Lasten infolge Ausbau- und Verkehrslast zuzüglich eines Sicherheitsaufschlages (**Abb. 17**).

Die Lasten wurden durch Hydraulikpressen auf die Zugstangen übertragen. Ein Trägersystem im Erdgeschoss bildete das Widerlager. Die Zugstangen durchdrangen die zu prüfenden Decken und gaben die

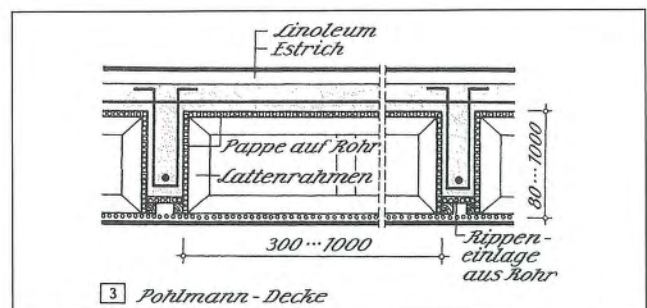


Abb. 15: Pohlmanndecke mit Rippen und Spiegel aus Beton nach [6]

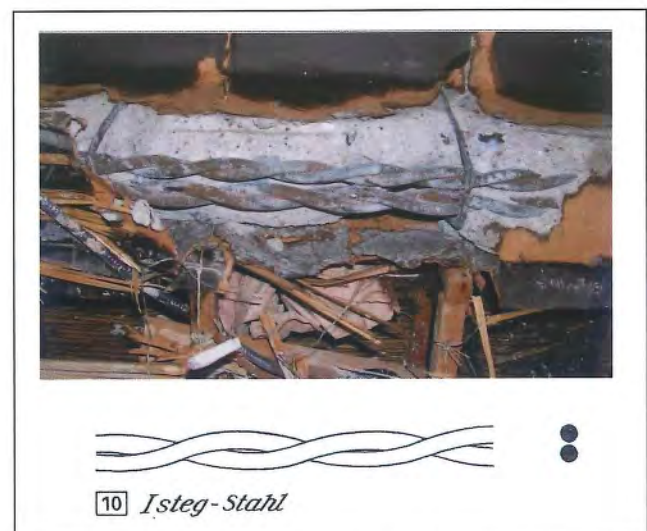


Abb. 16: Freiliegende untere Bewehrung einer Rippe und Darstellung des Bewehrungstyps

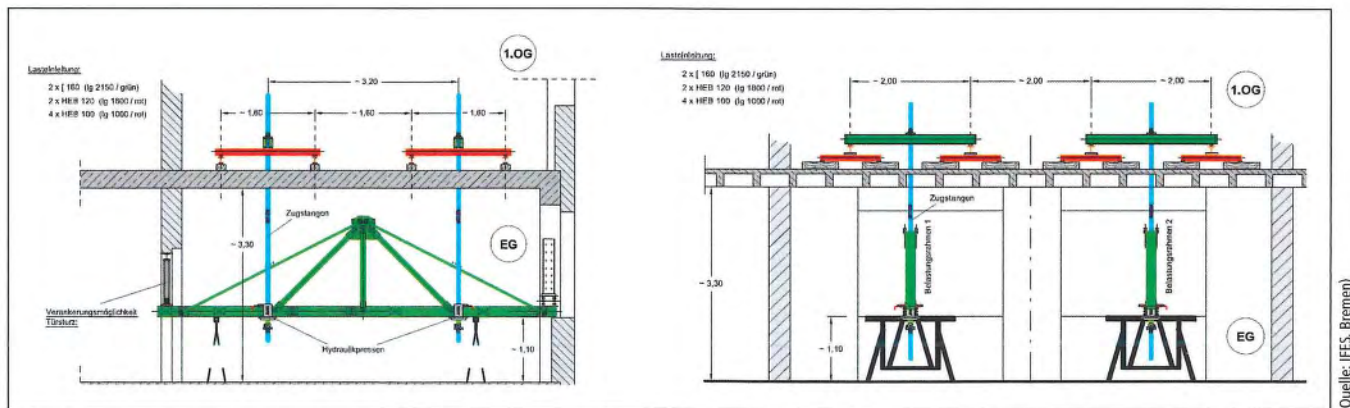


Abb. 17: Schema des Versuchsaufbaus mit Widerlagerträgern und Hydraulikpressen im EG, Zugstangen in die Obergeschosse und Lastverteilung aus zu prüfender Deckenplatte



Abb. 18 (links): Lastverteilungsträger im EG mit Zugstangen und Hydraulikpressen; (rechts): Lastverteilung auf der zu prüfenden Decke



Abb. 19 (links): Messung der Betonstauchung an der Deckenoberseite; (rechts): Messung der Durchbiegung im Feld an der Deckenoberseite



Abb. 20: Lage der Dehnungsmesspunkte an der Deckenunterseite

Last ihrerseits an ein Trägersystem auf der Decke ab. Somit konnte eine weitgehend gleichmäßige Lastverteilung erreicht werden (Abb. 18).

Die Aufgabe lag in der Aufbringung einer Ziellast ohne Versagen. Zur Beurteilung der Versagensankündigung wurden an diversen Stellen Verformungen und Verformungsgeschwindigkeiten bestimmt. Weiterhin wurden ergänzend mittels Dehnmessstreifen Dehnungen am Betonstahl erfasst (Abb. 19 und Abb. 20). Zudem wurden auch die Betonstauchungen der Druckzone gemessen. Insbesondere die gemessenen Betonstahldehnungen sollten später einer heißen Bemessung dienen.

Durch die Versuche konnte zunächst bestätigt werden, dass die Tragfähigkeit der Decke im „Kalt-Fall“ gewährleistet war. Die Dauerhaftigkeit der Bewehrung war insofern unkritisch, als dass das bisherige und zukünftig zu erwartende Raumklima keine Korrosion erwarten ließen.

Abschließend stellte sich nun noch die Frage nach dem Feuerwiderstand. Bauordnungsrechtlich wäre eine feuerbeständige Konstruktion nachzuweisen gewesen. Zur Klärung der Frage wurde zunächst ein Naturbrandszenario bestimmt. Dieser Naturbrand wurde mit den Parameter-Naturbrandkurven von Zehfuß [7] für die gegebene Raumge-

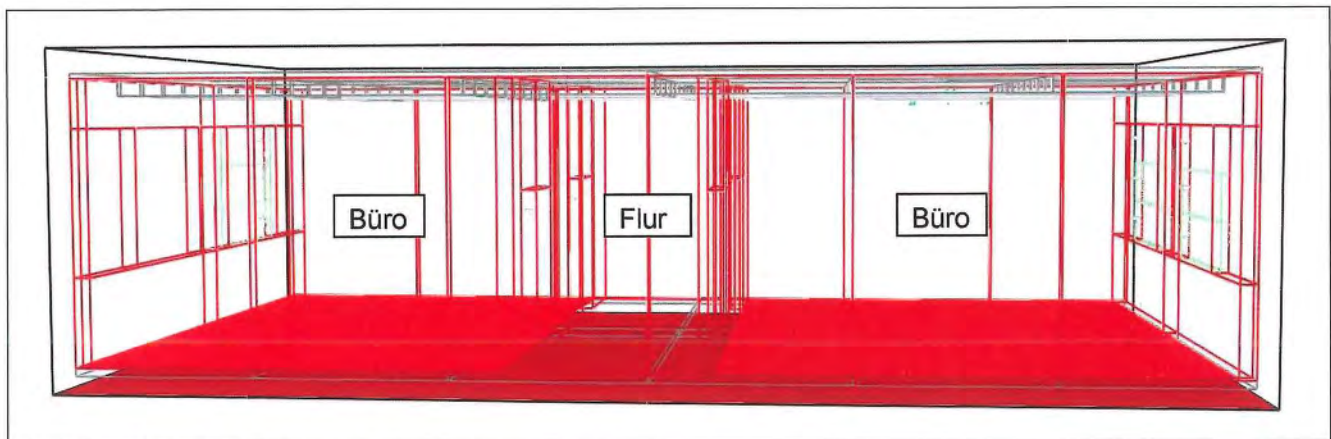


Abb. 21: CFD-Modell für Berechnung der Heißgastemperaturen

metrie ausgewertet. Hieraus ergab sich die thermische Beanspruchung in Form von Heißgastemperaturen. Da die Naturbrandkurven nach [7] noch nicht genormt waren, wurde ergänzend eine CFD*-Simulation vorgenommen (Abb. 21), die eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen nach Zehfuß ergaben.

Aus den Heißgastemperaturen konnte nun die Betonstahltemperatur bestimmt werden. Die gemessenen Dehnungen während des Versuchs ließen Rückschlüsse auf die Betonstahlausnutzung zu. Somit ließ sich die kritische Temperatur für den Betonstahl berechnen. Wie sich herausstellte, war für die Bewehrung ein Schutz vor thermischen Einwirkungen für 45 Minuten erforderlich. Danach wurde die kritische Temperatur nicht mehr erreicht. Es wurde deshalb eine hochfeuerhemmende Bekleidung zum Schutz der Bewehrung vorgeschlagen.

* CFD – computational-fluid-dynamic – Räumliche Berechnung der Bedingungen im Brandraum (zum Beispiel Temperaturen, Strömungen, Massentransporte) mit einem räumlichen Finite-Elementnetz

5 Literatur

- [1] Musterliste der Technischen Baubestimmungen, Fassung September 2013
- [2] Musterbauordnung – MBO – in der Fassung vom November 2002, zuletzt geändert am 21. September 2012
- [3] Stark, Bernd: Beispiel für den Nachweis der ausreichenden Tragfähigkeit von CFK-verstärkten Betonbauteilen im Brandfall, Bautechnik 80 (2003)
- [4] Fischer, Michael: Stahleisendecken im Deutschen Reich 1892-1925, Bände 1 bis 3, Dissertation zur Entwicklungsgeschichte, Typologie, Bewertung und Katalogisierung der Herstellungsverfahren, Cottbus, 2008
- [5] Kordina/Meyer-Ottens: Beton Brandschutz-Handbuch, 2. Auflage, Verlag Bau + Technik, 1999
- [6] Stark, Bernd: Beispiele für die Anwendung von Eurocode-Nachweisen im Rahmen von Brandschutzkonzepten, Tagungsband Heft 224 zu den Braunschweiger Brandschutztagen 2014
- [7] Zehfuß, Jochen: Dissertation zur Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für realistische Brandbeanspruchungen, Braunschweig, 2004

Weitere Literatur

- Hass, Meyer-Ottens, Richter: Stahlbau Brandschutz-Handbuch, Verlag Ernst & Sohn, 1994
- Bauregelliste A und Bauregelliste B, Ausgabe 2014/1, Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik vom 07. März 2014, Berlin
- Normen-Handbuch-Eurocode – Spezialband Tragwerksbemessung für den Brandfall, vom DIN konsolidierte Fassung, Ausg. 2012, Beuth-Verlag, Berlin
- Hosser, Dietmar: Brandschutz in Europa – Bemessung nach den Eurocodes, 2. Vollständig überarbeitete und erweiterte Fassung, Ausgabe 12/2012, Beuth-Verlag, Berlin
- Informationsdienst Holz: Holz Brandschutz-Handbuch, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2009
- Bargmann: Historische Bautabellen, 4. Auflage, Werner-Verlag, 2008