

Wirtschaftliche Lösungen mittels moderner Ingenieurmethoden im Brandschutz

Bei der Sanierung von Bestandsgebäuden sind häufig umfangreiche und kostenintensive Ertüchtigungsmaßnahmen bzgl. Brandschutz notwendig. Eine zielführende Alternative können Ingenieurmethoden im Rahmen von leistungsorientierten Nachweisen bieten. Wie dies gelingt, zeigt der Artikel am Beispiel einer Hallenbadsanierung.

Bei Sanierungen von Bestandsgebäuden kann relativ häufig die Situation auftreten, dass Bauteile bzw. Teile der Tragwerkskonstruktionen nicht den präskriptiven Vorgaben der gültigen Baugenehmigung, der Bauordnung oder der aktuellen Normung (z. B. DIN 4102) entsprechen (z. B. zu geringe Betondeckung bei bewehrten Betonrippendecken etc.). Dadurch werden in der Regel umfangreiche und kostenintensive Ertüchtigungsmaßnahmen notwendig.

Die Anwendung von modernen Ingenieurmethoden im Brandschutz, und speziell die thermische Analyse von Bauteilen unter Brandbeanspruchungen, kann hier im Rahmen von leistungsorientierten Nachweisen zielführende und wirtschaftliche Lösungen bieten.

Hierbei wird untersucht inwieweit von den präskriptiven Vorgaben abgewichen werden kann bzw. nachgewiesen, dass von den präskriptiven Vorgaben unter Sicherstellung der Einhaltung der objektspezifischen Schutzziele abgewichen werden kann.

Mit dem in diesem Artikel erläuterten Verfahren ist es möglich, objektspezifisch - d. h. unter Berücksichtigung der im Gebäude gegebenen Brandlasten und des gegebenen Dachtragwerks - den Feuerwiderstand zu ermitteln. Nachfolgend werden die Grundlagen des Verfahrens beschrieben und anschließend die Anwendung inklusive der erzielten Ergebnisse anhand eines Praxisbeispiels dargestellt.

Grundlagen zur Berechnung des Temperaturverlaufs im Bauteil unter Brandbeanspruchung

Bei der thermischen Analyse von Bauteilen unter Brandbeanspruchungen wird die resultierende zeitabhängige Temperaturverteilung (zeitliche und lokale Temperaturverteilung) im Bauteil unter thermischer Beanspruchung (z. B. Brandbeanspruchung) berechnet. Dadurch ist es möglich die Temperatur zu jedem Zeitpunkt an jeder Stelle im Bauteil zu berechnen.

Hierzu wird zunächst unter Berücksichtigung der objektspezifischen Nutzung und vorhandenen Brandlasten ein Bemessungsbrandszenarium definiert und die resultierenden Rauchgastemperaturen mittels computergestützter Brandsimulation (CFD-Simulation) berechnet. In einem weiteren Schritt erfolgt anhand der Rauchgastemperaturen die Berechnung des Wärmestroms (Wärmeübergang) in das Bauteil und die Temperaturentwicklung bzw. die resultierende zeitliche Temperaturverteilung im Bauteil.

Der Wärmestrom in das Bauteil (d. h. der Wärmeübergang an den Außenrändern brandbeanspruchter Querschnitte) setzt sich zusammen aus Konvektion und Strahlung. Der flächenspezifische Wärmestrom \dot{q}_i auf den brandbeanspruchten Flächen des Bauteils berechnet sich wie folgt:

$$\dot{q}_i = \alpha_i \cdot (T_g - T_{w,i}) + \varepsilon_{f,g} \cdot \varepsilon_b \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_{w,i}^4)$$

mit

- α_i : Wärmeübergangskoeffizient in W/(m²·K)
- T_g : absolute Rauchgastemperatur (zeitabhängig) in K
- $T_{w,i}$: absolute Oberflächentemperatur (zeitabhängig) des Bauteils in K
- σ : Stefan-Boltzmann-Konstante in W/(m²·K⁴)
- $\varepsilon_{f,g}$: Emissivität des Feuers
- ε_b : Emissivität der Bauteiloberfläche

Nachfolgende Abbildung verdeutlicht exemplarisch die Wärmeströme in ein brandbeanspruchtes Bauteil.

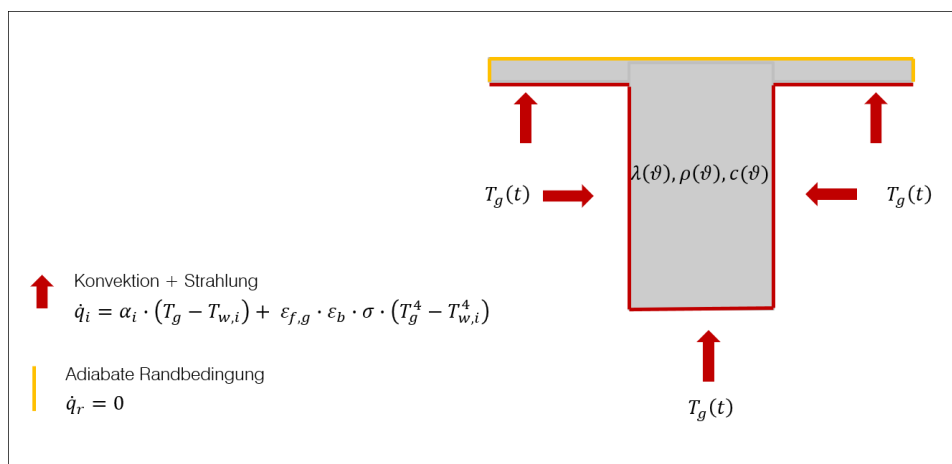


Abbildung 1 | Exemplarische Darstellung der Wärmeströme ins brandbeanspruchte Bauteil

Die instationäre Wärmeleitung in Festkörpern und somit die zeitabhängige Temperaturverteilung im Bauteil berechnet sich gemäß der FOURIERSchen-Differentialgleichung (exemplarisch für die zweidimensionale instationäre Wärmeleitung):

$$\frac{\partial T_b}{\partial t} = \frac{\lambda_b}{\rho_b \cdot c_b} \cdot \left(\frac{\partial^2 T_b}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_b}{\partial y^2} \right)$$

mit:

- T_b : Temperatur als Funktion der Zeit t und des Ortes (x-Koordinate, y-Koordinate)
- t: Zeit in s
- x: Ortskoordinate, x-Koordinate in m
- y: Ortskoordinate, y-Koordinate in m
- λ_b : Wärmeleitfähigkeit (temperaturabhängig) in W/(m·K)
- ρ_b : Dichte (temperaturabhängig) in kg/m³

c_b : spezifische Wärmekapazität (temperaturabhängig) in J/(kg·K)

Zur Lösung des instationären Wärmeleitproblems können verschiedene numerische Methoden wie beispielsweise die Finite-Elemente-Methode (FEM) oder die Finiten-Differenzen-Methode mit Integrationsverfahren über die Zeitschritte angewandt werden.

Nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch die berechnete zeitabhängige Temperaturverteilung in einem dreiseitig brandbeanspruchten Bauteil.

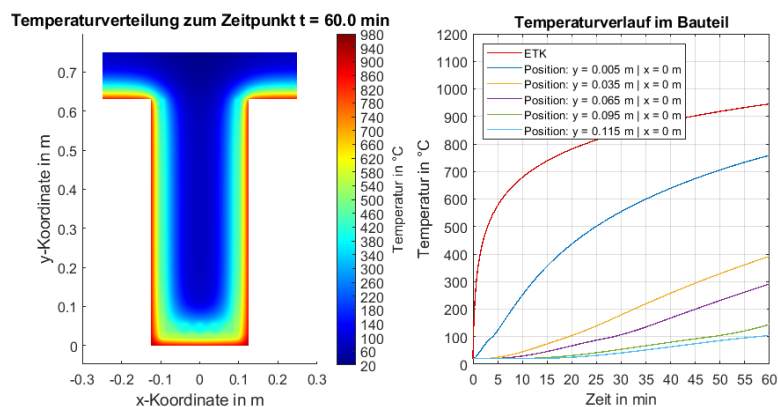


Abbildung 2 | Exemplarische Darstellung der Temperaturverteilung im Bauteil (Querschnitt) unter ETK-Brandbeanspruchung

Auf Basis der berechneten zeitabhängigen Temperaturverteilung im Bauteilquerschnitt lassen sich Aussagen treffen, ob die resultierenden Temperaturen für das zu untersuchende Bauteil (z. B. Unterzüge) in einem kritischen Bereich liegen oder unkritisch sind.

Praxisbeispiel: Sanierung eines Hallenbads

Die Albstadtwerke GmbH bemüht sich, entgegen dem Trend anderer Kommunen und Städte, die bestehende Bäderlandschaft zu erhalten und diese den Schulen, Vereinen und der Bevölkerung in einem sanierten und neuzeitigen Stand weiterhin zur Verfügung zu stellen. Derzeit wird ein weiteres Hallenbad, welches sich im Untergeschoss der Raichberghalle in Albstadt-Onstmettingen befindet, durch die Albstadtwerke GmbH saniert. Eine Sanierung der im Erdgeschoss befindlichen Sporthalle (Versammlungsstätte) ist im Zuge der nächsten 3 - 5 Jahre durch die Stadt Albstadt geplant.



Abbildung 3 | Schnittdarstellung Architektenpläne mit Fotos Sporthalle (EG) und Hallenbad (UG)

Im Rahmen der Erstellung des objektbezogenen Brandschutzkonzepts durch TRIAS Brandschutzplanung wurde festgestellt, dass die vorhandene Stahlbeton-Rippendecke im Hallenbad nicht den aktuellen brandschutztechnischen Vorgaben entspricht. Grund dafür ist eine zu geringe Betondeckung der Bewehrung.



Abbildung 4 | Exemplarische Bilder der Beprobung der Unterzüge (Stahlbeton-Rippendecke)

Gemäß (den präskriptiven Vorgaben) dem gültigen Bauordnungsrecht resultiert für das Objekt die Forderung einer kostenintensiven und technisch aufwendigen Ertüchtigung der Stahlbeton-Rippendecke auf eine feuerbeständige Qualität (F 90). Nicht zuletzt aufgrund der relativ geringen Brandlasten in einem Hallenbad haben die Projektbeteiligten nach alternativen Lösungswegen gesucht. In diesem Zuge wurden die Sinfiro Brandschutzingenieure beauftragt mit Hilfe von Ingenieurmethoden zu untersuchen, inwiefern von den brandschutztechnischen Anforderungen an die Decken als Trennung zwischen dem Untergeschoss (Hallenbad etc.) und dem Erdgeschoss [Sporthalle (Versammlungsstätte) etc.] unter Sicherstellung der Einhaltung der objektspezifischen Schutzzielen abgewichen werden kann.

Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

Auf Grundlage der geplanten Nutzung wurde als Bemessungsbrandszenarium ein hochenergetischer Brand im Hallenbad definiert, bei welchem eine steigende Brandintensität bis zum Erreichen der maximalen Brandfläche (2,25 m²) nach ca. 2,6 Minuten resp. 155 Sekunden zugrunde gelegt wurde.

Nach Erreichen der maximalen Brandfläche bleibt die Brandintensität bzw. die Wärmefreisetzungsrate bis zum Zeitpunkt 1.300 Sekunden konstant und nimmt danach linear bis zum Zeitpunkt 1.800 Sekunden ab.

Nach 30 Minuten bzw. 1.800 Sekunden wird das Wirksamwerden der Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr angenommen. Dieser Zeitpunkt stellt das Ende des Betrachtungszeitraumes dar.

Die maximale Wärmefreisetzungsrate wird demnach unter Berücksichtigung der maximalen Brandfläche ($2,25 \text{ m}^2$) und einer flächenspezifischen Wärmefreisetzungsrate von 500 kW/m^2 auf $1,125 \text{ MW}$ begrenzt. Durch das Brandereignis wird im gesamten Betrachtungszeitraum eine Wärmemenge von insgesamt ca. 1.908 MJ bzw. 530 kWh freigesetzt.

In der nachstehenden Abbildung ist der Brandverlauf bzw. der zeitliche Verlauf der Wärmefreisetzungsrate dargestellt.

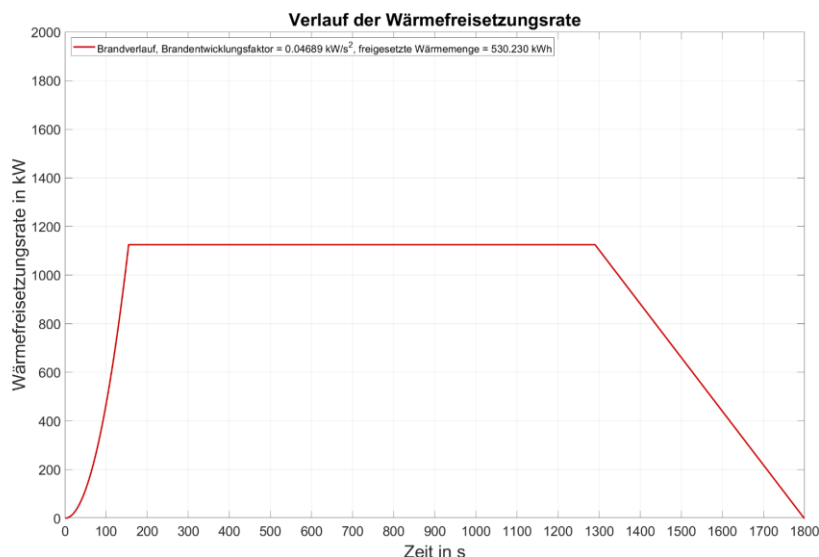


Abbildung 5 | Brandverlaufskurve bzw. zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzungsrate

Bezüglich des untersuchten Bemessungsbrandszenariums ist anzumerken, dass die gewählte Wärmefreisetzungsrate signifikant höher ist als die in einem Hallenbad auf Grund der sehr geringen (bis fehlenden) Brandlasten zu erwartende. Somit liegen die getroffenen Annahmen und die Ergebnisse auf der sicheren Seite.

Die computergestützten Brandsimulationen zur Berechnung der resultierenden Rauchgastemperatur an der Stahlbeton-Rippendecke wurden mit dem Simulationsprogramm FDS (Fire Dynamics Simulator, Version 6.6.0) des National Institute of Standards and Technology (NIST) durchgeführt.

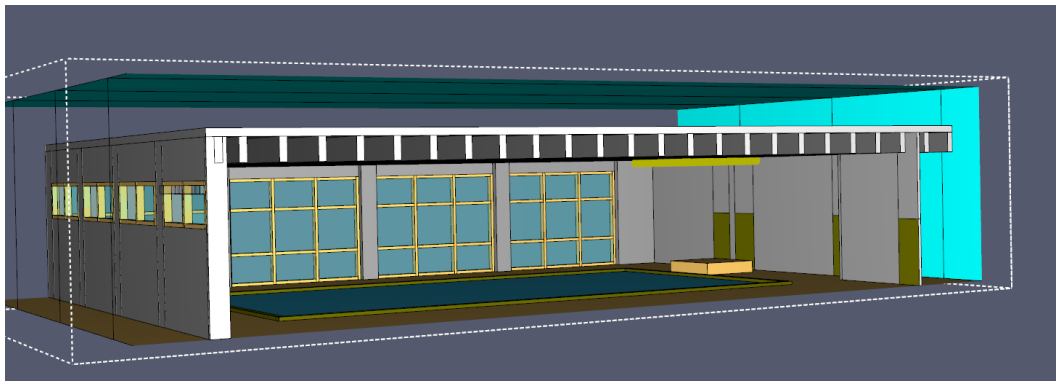


Abbildung 6 | Exemplarische Teilansicht des in FDS implementierten Gebäudeteils (Hallenbad)

Auf Basis der Ergebnisse der Brandsimulation erfolgte die Berechnung des Wärmeübergangs in das Bauteil und die Temperaturentwicklung (zweidimensional) bzw. die resultierende zeitliche Temperaturverteilung im Bauteilquerschnitt unter Berücksichtigung temperaturabhängiger Materialstoffwerte nach DIN EN 1992-1-2. Die hierfür verwendeten FE-Modelle sind gemäß dem nationalen Anhang zu DIN EN 1991-1-2, Anhang cc, validiert und für die Nachweise des baulichen Brandschutzes geeignet.

Für die Untersuchung wurde die Annahme getroffen, dass der Unterzug bzw. die Rippe dreiseitig und die Decke einseitig (mit der aus der Brandsimulation berechneten Rauchgastemperatur) brandbeaufschlagt werden. Die Oberseite der Decke wurde als adiabatisch angesetzt.

Nachfolgende Abbildung verdeutlicht exemplarisch die Wärmeströme in das untersuchte Bauteil.

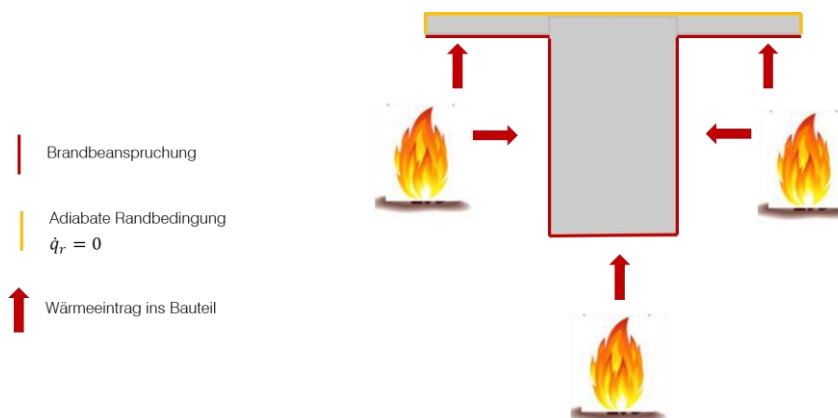


Abbildung 7 | Exemplarische Darstellung der Brandbeanspruchung und der Wärmeströme ins brandbeanspruchte Bauteil

Im Rahmen der Sanierung ist geplant, aus Gründen des Schallschutzes eine Decke (Ecophon) an die Unterzüge anzubringen. Dadurch wird eine direkte (dreiseitige) Brandbeaufschlagung der Rippen (Unterzug) und eine direkte (einseitige) Brandbeaufschlagung der Decke unterbunden. Die getroffenen Annahmen sind somit deutlich auf der sicheren Seite liegend.

Nachfolgende Abbildung zeigt das erstellte Modell der Stahlbeton-Rippendecke inklusive Berechnungsgitter (Finite-Elemente-Netz) und die Positionen der verwendeten Temperaturmessstellen. Das in MATLAB erstellte Modell der Stahlbeton-Rippendecke beinhaltet auch die Bügelbewehrung (8 mm Durchmesser) und die Bewehrung (20 mm Durchmesser).

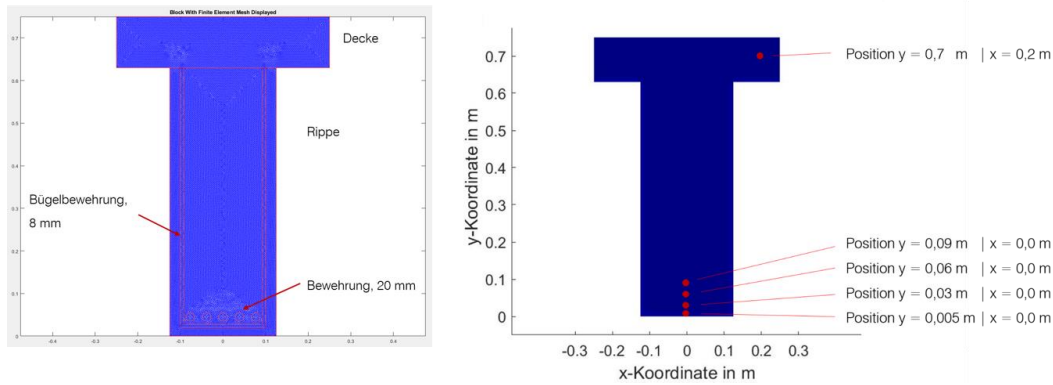
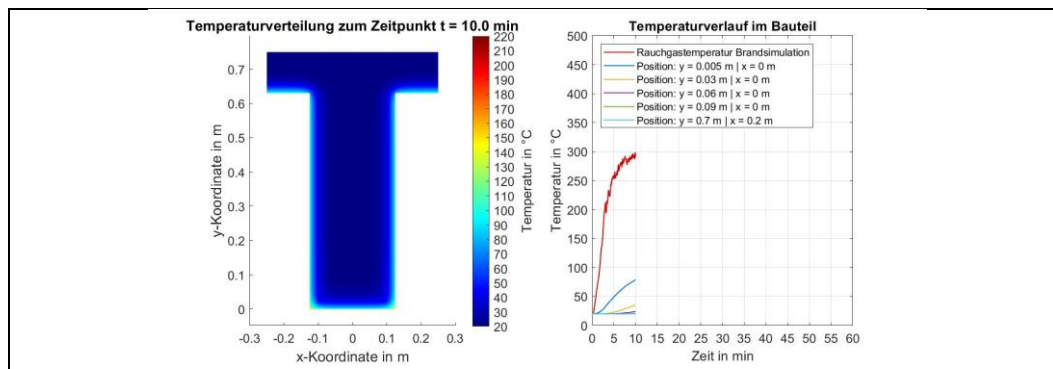


Abbildung 8 | In MATLAB modellierter Deckenausschnitt inklusive Unterzug (Rippe) und Finite-Elemente-Netz (links) und verwendete Temperaturmessstellen (rechts)

Strenggenommen ist es im Hinblick auf die Genauigkeit und Aussagekraft der Ergebnisse hinreichend (da der Einfluss des Bewehrungsstahls vernachlässigbar gering ist), die Rippe und die Decke ohne Bewehrung, das heißt als massives Betonbauteil zu modellieren. Anhand der resultierenden Temperaturverteilung im Beton kann auf die Temperatur der Bewehrung geschlossen werden (bzw. mit dieser gleichgesetzt werden).

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde jedoch wie bereits erwähnt die Bewehrung exemplarisch berücksichtigt. Die exakte Position des Bewehrungsstahls bzw. die damit verbundene Betonüberdeckung ist für die Bestimmung der Temperaturverteilung bzw. die Schlussfolgerung, ob die resultierenden Temperaturen für das zu untersuchende Bauteil (z. B. Unterzüge) in einem kritischen Bereich liegen oder unkritisch sind, nicht ausschlaggebend.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der durchgeführten thermischen Analyse. Links ist die Temperaturverteilung im Bauteilquerschnitt zu verschiedenen Zeitpunkten und rechts die Temperaturentwicklung in ausgesuchten Querschnittspunkten dargestellt.



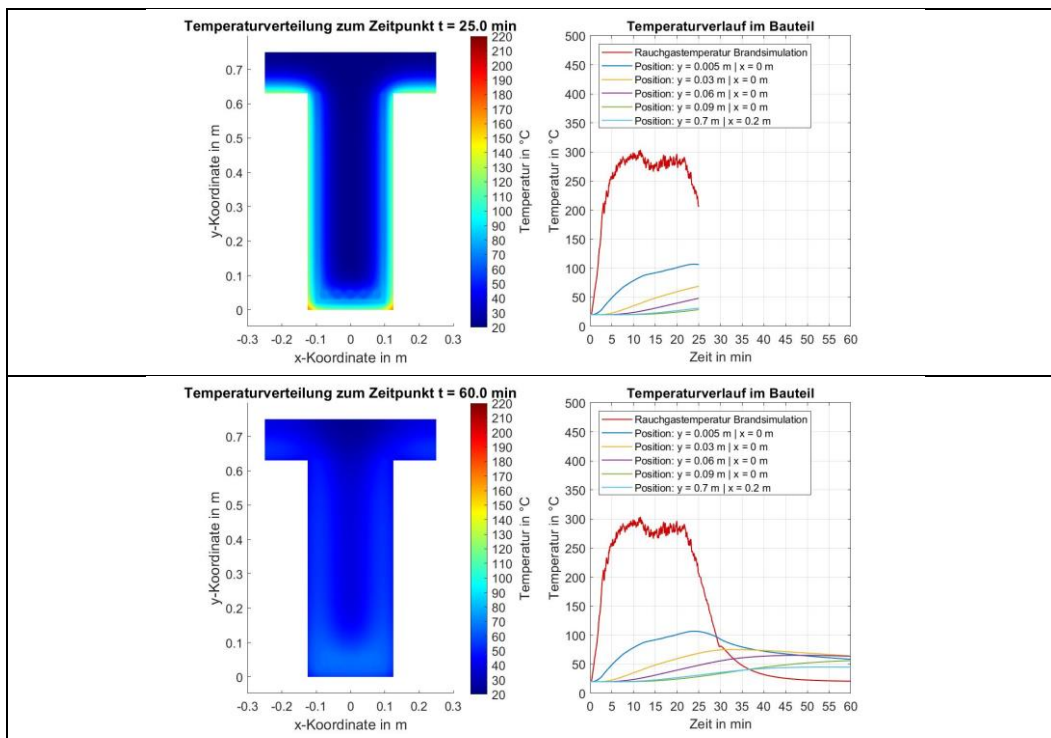


Abbildung 9 | Berechnete Temperaturverteilung im Bauteilquerschnitt und Temperaturverlauf zu verschiedenen Zeitpunkten

Unter Brandeinwirkung steigen die Querschnittstemperaturen stetig, wobei die Temperaturen nahe der Querschnittsoberfläche schneller ansteigen als im Querschnittsinneren. Danach nehmen die Temperaturen nahe der Querschnittsoberfläche wieder ab, während innerhalb des Querschnitts ein Temperatenausgleich stattfindet. Daher steigen die Temperaturen in Querschnittsmitte noch weiter an, wenn die Rauchgastemperatur außerhalb des Querschnittes bereits in der Abkühlphase (nach ca. 22 min) ist.

Die berechneten Temperaturen im untersuchten Bauteil liegen während des gesamten Betrachtungszeitraums in einem für Beton und Bewehrungsstahl unkritischen Bereich (Temperaturen im Bauteil deutlich unter $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$), sodass für diesen Querschnitt keine signifikanten thermischen Dehnungen zu erwarten sind und die Tragfähigkeit des Tragsystems auch im Brandfall (während der Selbststretungs- und Interventionsphase) sichergestellt werden kann.

Auf Grundlage der Ergebnisse der (mit Ingenieurmethoden) durchgeführten Untersuchungen ist aus Sicht von Sinfire Brandschutzingenieuren und TRIAS Brandschutzplanung eine ausreichende brandschutztechnische Qualität der Decken inkl. Unterzüge (Rippen) gegeben, wodurch

- ein Versagen der Konstruktion und/oder Brandüberschlag während der Selbststretungsphase aufgrund der resultierenden Temperaturbelastung als unwahrscheinlich eingestuft werden kann
- ein Versagen der Konstruktion und/oder Brandüberschlag während der Interventionsphase aufgrund der resultierenden Temperaturbelastung als unwahrscheinlich eingestuft werden kann

Die Äquivalenz zum entsprechenden baurechtlichen Schutzziel wurde damit nachgewiesen.

Die Abweichung der brandschutztechnischen Qualität der Decke inkl. Unterzug kann aus ingenieurmäßiger Sicht akzeptiert und somit auf umfangreiche Ertüchtigungsmaßnahmen der Stahlbeton-Rippendecke verzichtet werden. Hierdurch konnte eine Gesamtkosteneinsparung in der Größenordnung von 150.000 € erzielt werden.

Herr Bernath, der Gruppenleiter „Planung Wärme- und Bädertechnik“ der Albstadtwerke GmbH, fasst das Projekt wie folgt zusammen: „Durch die gute Zusammenarbeit mit allen Beteiligten konnte ein zukunftsweisendes Brandschutzkonzept mit nachhaltigen und wirtschaftlichen Lösungen erarbeitet werden, welches die gesteckten Erfordernisse erfüllt.“

Zusammenfassung und Fazit

Das Praxisbeispiel der Sanierung eines Hallenbades zeigt exemplarisch, dass es auf vielen Ebenen lohnend sein kann, Ingenieurmethoden im Brandschutz als modernes und zeitgemäßes Werkzeug (stärker) mit einzubeziehen.

Durch einen Ingenieurmäßigen Nachweis der Einhaltung der objektspezifischen Schutzziele mittels moderner Ingenieurmethoden können beispielsweise

- bei Sanierungen von Bestandsgebäuden umfangreiche Ertüchtigungsmaßnahmen durch einen rechnerischen Nachweis oftmals vermieden,
- Kosten- und Zeiteinsparung erzielt,
- und wirtschaftliche Lösungen realisiert werden.

Thermische Analysen von Bauteilen liefern selbstverständlich nicht nur im Bestandsbau wirtschaftliche Lösungen, sondern bieten sich auch im Neubau an, um beispielsweise nachzuweisen, dass von den präskriptiven Anforderungen an die brandschutztechnische Qualität der Bauteile im Hinblick auf die Einhaltung der objektspezifischen Schutzziele abgewichen werden kann.

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Ralf Galster

Sachverständiger für Brandschutz
gemäß VwV Brandschutzprüfung
Geschäftsführer Sinfiro GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Patrick Frey

Bereichsleiter Ingenieurmethoden
Sinfiro GmbH & Co. KG

| | | |
|---|---|--|
|  <p>ALBSTADTWERKE STROM · ERDGAS · WASSER · WÄRME · BÄDER</p> |  <p>Sinfiro BRANDSCHUTZINGENIEURE</p> |  <p>TRIAS Brandschutzplanung</p> |
| Albstadtwerke GmbH | Sinfiro GmbH & Co. KG | TRIAS Brandschutzplanung |
| Goethestraße 91 72461 Albstadt | Ebertstraße 2 72336 Balingen | Überkinger Straße 12 70372 Stuttgart |
| Telefon +49 7432 160-3999 info@albstadtwerke.de www.albstadtwerke.de | Telefon +49 7433 9998-207 info@sinfiro.de www.sinfiro.de | Telefon +49 711 469070-0 mail@trias-ing.de www.trias-ing.de |