

BRIEFING 02

BRANDSCHUTZ IM  
STAHLBAU – AUF  
HÖCHSTEM NIVEAU

HEISSBEMESSUNG  
SICHERHEIT,  
KOSTENERSPARNIS,  
KREATIVE FREIRÄUME

LÖSUNGEN AUF MASS  
FÜR ARCHITEKTEN,  
INGENIEURE, BAUHERREN  
UND INVESTOREN

PRAXISBEISPIEL  
HEISSBEMESSUNG

DETAILUNTERSUCHUNG  
MIT ZUKUNFT  
DÄMMSCHICHTBILDNER

# BRAND- SCHUTZ HEISS- BEMES- SUNG



Die Gruner Gruppe steht für qualitativ massgebende Baudienstleistungen. Vor über 150 Jahren gegründet, zählt Gruner heute über 30 Standorte in der Schweiz und weltweit. Kompetenz, Fachwissen und langjährige Erfahrung mit komplexen Bauvorhaben zeichnen uns aus.

Die Gruner Gruppe verfügt über ein breites Kompetenzspektrum in den Bereichen Energie, Gebäudetechnik, Generalplanung, Infrastruktur, Konstruktion, Sicherheit und Umwelt. Spezifische Lösungen für Ihr Bauvorhaben erarbeiten wir bei Bedarf in interdisziplinären Projektgruppen.

# BRANDSCHUTZ

# HEISSBEMESSUNG

Die leistungsorientierte Beurteilung von Tragwerken im Brandfall, die sogenannte Heissbemessung, ist ein wesentlicher Bestandteil der zeitgemässen Brandschutzplanung. Damit ist es möglich, Gebäude risikogerecht, wirtschaftlich und ästhetisch auszulegen. In diesem **BRIEFING** stellen wir Ihnen unsere Möglichkeiten der modernen Simulationsverfahren zur Beurteilung von Tragwerken im Brandfall (Heissbemessung) vor.

Ziel der numerischen Untersuchungen mithilfe der Finite-Elemente-Methode (FE-Methode) ist eine detaillierte Analyse des mechanischen Gesamttragverhaltens einer Stahlkonstruktion unter Hochtemperaturbelastung. Hierfür setzen wir einen kombinierten Ansatz aus grober und feinskaliger Modellierung ein (GFEM/DFEM: Global Finite Element Method/Detailed Finite Element Method). Damit lassen sich vor allem grosse Tragstrukturen im Stahlbau wirtschaftlich untersuchen. Des Weiteren werden die Verbindungsmittel im Detailmodell berücksichtigt, da gerade die Anschlüsse eine mechanisch wichtige Rolle im Tragwerk darstellen.

Neben der Untersuchung von Gesamttragwerken sind auch weitere Detailuntersuchungen möglich. So können Wärmebrücken von Anschlüssen (z.B. Trägerklemmen von Rohrleitungen) an geschützten Bauteilen untersucht werden.

Diese modernen Simulationsverfahren der Heissbemessung schaffen grosses Potenzial für Betrachtungen zur wirtschaftlichen Optimierung von Stahlkonstruktionen im Brandfall. Unsere Spezialisten beraten Sie gerne.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre.

*Dr. Ralf Schnetgöke*

*Stv. Geschäftsbereichsleiter Brandschutz*

# BRANDSCHUTZ IM STAHLBAU – AUF HÖCHSTEM NIVEAU

Stahl ist als Material einfach und verständlich: Er ist homogen, isotrop und mit geringen Streuungen industriell herstellbar. Dies lässt eine einfache Überprüfung komplexer numerischer Methoden zu. Insbesondere die Heissbemessung bei Brand entwickelt sich deshalb im Stahlbau rasch.

«Heissbemessung im Stahlbau ist eine Aufgabe für hoch spezialisierte Fachingenieure mit Verantwortungsbewusstsein.»



Prof. Dr. Mario Fontana, ETH Zürich

In den letzten Jahren haben sich die IT-Technologie sowie die Numerik im Bauwesen markant entwickelt. Für die Heissbemessung gilt dies besonders für die realistische Berechnung der Temperatureinwirkung mithilfe von CFD-Modellen und für das Bilden von Strukturmodellen der Gesamttragwerke mit FEM.

Parallel dazu hat sich die Theorie der Baustatik enorm entwickelt. Sie nutzt diese neuen numerischen Methoden für geometrisch nicht-lineare Ansätze an Gesamttragwerken, welche grosse Verformungen im Brandfall wirklichkeitsnah berücksichtigen können.

In der Numerik sind die riesigen Bauwerke und deren Modellierung oft schwierig. Sie erfordert sehr viele Stäbe und Knoten, was selbst leistungsfähigste Computersysteme an ihre Grenzen bringt. Hier hilft das aus dem Flugzeugbau bekannte GFEM/DFEM-Verfahren, bei dem lokale Teile verfeinert werden und der Rest grob modelliert wird. Dazu können unterschiedliche Programme gekoppelt oder sequenziell eingesetzt werden.

Auch die Brandschutzvorschriften machen dank ihrer periodischen Überarbeitung ständig Fortschritte. So wurden im Jahr 2015 in der Schweiz neben Liberalisierungen speziell die

Ingenieurmethoden im Brandschutz vermehrt gefördert. Sie dürfen nun z.B. auch im Bereich der Fluchtwege angewendet werden. Mit der Anwendung solch komplexer Methoden steigt aber auch die Verantwortung der Bauherren und Eigentümer gegenüber der Gesellschaft, besonders bei der Auswahl geeigneter Fachplaner. Diese sollten auch nach Jahren noch die Verantwortung für ihre Berechnungen und Entscheidungsgrundlagen übernehmen können, sonst stehen der Eigentümer und seine Versicherung mal später nach einem Ereignis ganz alleine da. Denn Eigenverantwortung und Qualitätssicherung sind Begriffe, die mit jeder Liberalisierung untrennbar verbunden sind.

Die Heissbemessung im Stahlbau ist in den meisten Fällen eine Aufgabe für hoch spezialisierte Fachingenieure, welche mit Wissenschaftlichkeit und Eigenverantwortung die neuesten Methoden zielgerichtet anwenden. Dieses Vorgehen hat für den Stahl- und den Holzbau in den letzten Jahren viele Möglichkeiten geschaffen und wird die Planung von komplexen Bauten in Zukunft wesentlich prägen. Die wissenschaftlich abgestützte Heissbemessung kann einen Beitrag leisten zur wirtschaftlichen Optimierung im Brandschutz, ohne die Bevölkerung stärker zu gefährden.

*Prof. Dr. Mario Fontana, ETH Zürich,  
Institut für Baustatik und Konstruktion*

# SICHERHEIT, KOSTENERSPARNIS, KREATIVE FREIRÄUME

## Ausgangslage: herkömmlicher Brandschutz

Der bauliche Brandschutz für den Stahlbau erfolgt durch:

- > Anstrich des Stahls mit Dämmschichtbildner (DSB)
- > Bekleidung des Stahls mit Dämmplatten und Spritzputzschichten

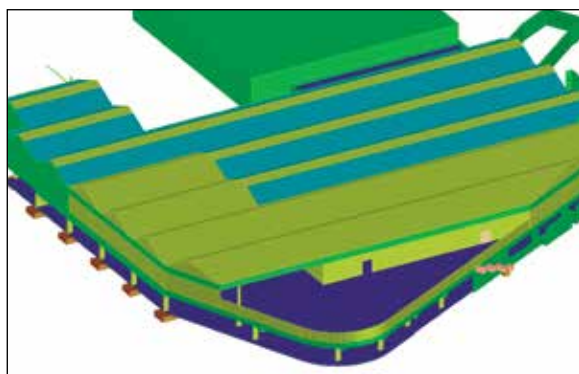
Beide Brandschutzmassnahmen haben den Nachteil, dass nachträgliche Änderungen an den Konstruktionen durch die Bekleidung oder den Anstrich verhindert werden oder teuer nachgepflegt werden müssen. Darüber hinaus sind viele Anschlussdetails und Kollisionen mit der Haustechnik nicht geregelt. Ausserdem können während der Bauphase durch Unachtsamkeit Beschädigungen auftreten, die nachgebessert werden müssen.

Die Herstellungskosten, der Schutz und der Erhalt für bauliche Brandschutzmassnahmen sind Kostenkriterien, welche die Anwendung der Heissbemessung rechtfertigen.

## Vorteile einer Heissbemessung

Im Planungsprozess für Baukonstruktionen kann eine Heissbemessung unkompliziert eingebunden werden. Der Lastfall Brand ist dann wie z.B. Wind und Schnee ein Teil der Bemessungsberechnung und optimiert die konstruktiven Anforderungen hinsichtlich Feuerwiderstandsfähigkeit. Auch in der Ausführungsphase, wenn ein Anstrich oder eine Bekleidung für eine Konstruktion vorgesehen ist, kann eine Begutachtung nicht zertifizierter Situationen (die Störung eines Dämmschichtbildners oder einer Plattenbekleidung) mithilfe der numerischen Methoden der Heissbemessung einfach und schnell erfolgen.

Für bestehende Gebäudekonstruktionen bieten die numerischen Methoden der Heissbemessung die Möglichkeit, unter konservativen Annahmen oder in Testversuchen die Bestimmung des Feuerwiderstandes zu gewährleisten. In vielen Fällen sind Simulationsverfahren die einzige Wahl, um eine ausreichend genaue Aussage zum vorhandenen Feuerwiderstand treffen zu können und Zusatzmassnahmen in einem kostenoptimierten Rahmen qualitativ und quantitativ an die vorhandene Situation anzupassen.



Designmodell des Gebäudes

## Weiterentwickelte Methoden

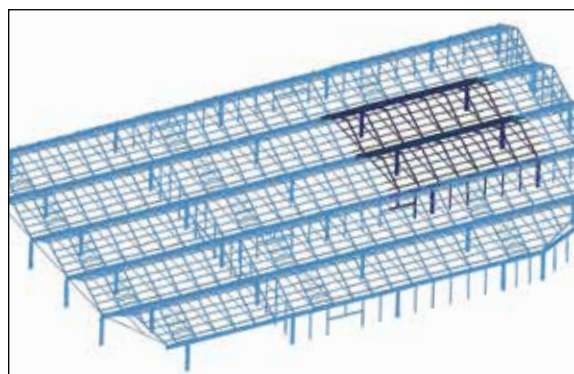
Durch fortschreitende Entwicklungen im Brandschutz und in der numerischen Simulation stehen leistungsstarke Werkzeuge zur Verfügung, mit deren Hilfe komplexe physikalische Vorgänge effizient berechenbar sind. Im Ergebnis werden damit wirtschaftliche Prozesse wie die Feuerbeständigkeit von Tragwerken nachweisbar.

Die Ausführung im Stahlbau ist damit im Idealfall ohne baulichen Brandschutz möglich. Das spart einerseits viel Geld und Zeit in der Ausführungsphase. Andererseits lässt dies Bewertungen in bestehenden Konstruktionen zu, die ohne Simulationsverfahren sehr schwer zu beurteilen sind.

## Dienstleistung Simulation

Für die Simulation von Bränden und ihre Auswirkungen auf Gebäudekonstruktionen sind komplexe Berechnungsmethoden nötig. Mit einer Kombination von Strukturanalyse und Strömungssimulation können gesamte Tragstrukturen von Bauwerken modelliert und in ihrem Verhalten unter Brandeinwirkung beurteilt werden. Die gängigen Berechnungsmethoden der Baustatik sind nicht für komplexe strukturmechanische Berechnungen ausgelegt, die das Hochtemperaturverhalten von Baumaterialien berücksichtigen müssen.

Wichtig sind hierbei u.a. die Verwendung der nichtlinearen Methoden in allen strukturmechanischen Anwendungen (Geometrie, Material und Kontakt). Durch Simulationsverfahren aus dem Flugzeugbau, die auf den Brandschutz angewendet werden, lassen sich gerade grosse Strukturen wirtschaftlich und qualitativ hochwertig berechnen. Unsere Berechnungsingenieure mit jahrelanger Erfahrung können diese komplexen Verfahren effizient für die neuen Nachweisverfahren nutzen.



GFEM/DFEM-Modell der Gebäudekonstruktion



# LÖSUNGEN AUF MASS FÜR ...

## Architekten

Bauliche Brandschutzanforderungen an das Stahltragwerk durch Anstrich oder Bekleidung können Einschränkungen in der Ausführung von Entwürfen bedeuten. Entweder ist die Umsetzung teuer und/oder der gestalterische Effekt eingeschränkt. Des Weiteren sind Konstruktionsdetails für Anstrichsysteme oder Bekleidungen nicht immer ausreichend geregelt und bedürfen häufig der Zustimmung im Einzelfall. Durch eine Heissbemessung kann der Feuerwiderstand eines Tragwerkes nachgewiesen werden, um so den baulichen Brandschutz zu umgehen und den Stahlbau ungeschützt auszuführen.

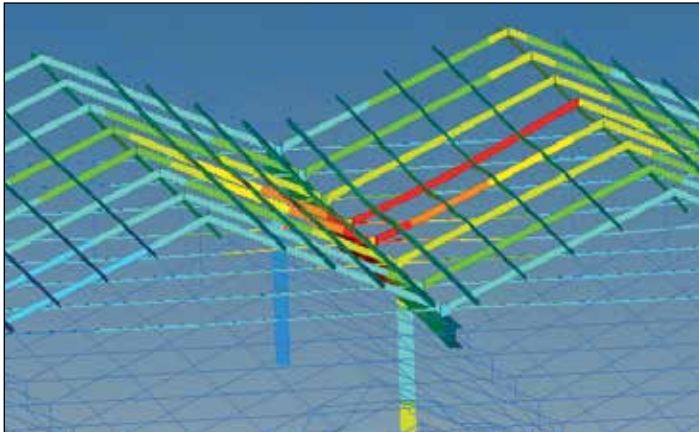
## Ingenieure

Dank der neuesten Entwicklungen in der numerischen Analyse, gestützt mit leistungsfähigen Rechenclustern, sind Simulationsverfahren in der Lage, sehr detaillierte Aussagen für viele physikalische Prozesse zu treffen. Die Weiterentwicklungen von Hardware und Software erlauben die immer stärkere Einbindung dieser Verfahren – im Speziellen die Heissbemessung – für numerische Berechnungen im Brandschutz. Mit der sinnvollen Kopplung von Berechnungsmethoden aus Ingenieurgebieten ausserhalb der Bautechnik, z.B. dem Flugzeugbau, lassen sich mechanische Fragestellungen nach der plastischen Auslastung von Konstruktionen bis hin zum Versagenszustand analysieren. Durch die effiziente Anwendbarkeit sind nahezu alle Konstruktionsgrössen rechenbar.

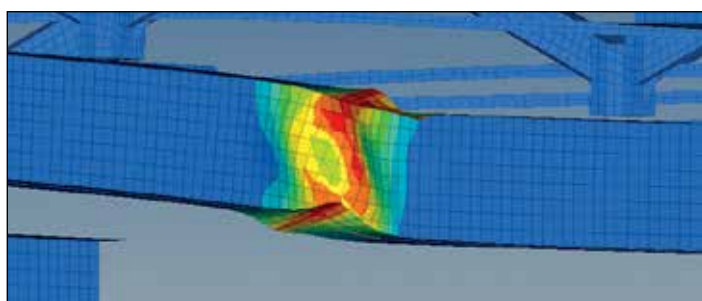
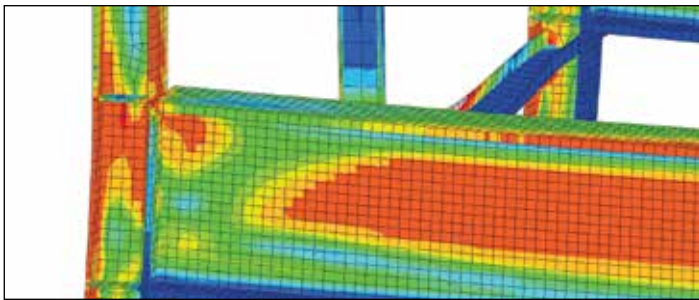
## Bauherren und Investoren

Der bauliche Brandschutz erfordert eine ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit von tragenden Bauteilen. Im Stahlbau kann dieser Widerstand durch Anstrich oder Bekleidung von Stahlbauteilen gewährleistet werden. Allerdings sind diese Schutzsysteme nicht nur in der Herstellung, sondern auch im Unterhalt sehr kostenintensiv.

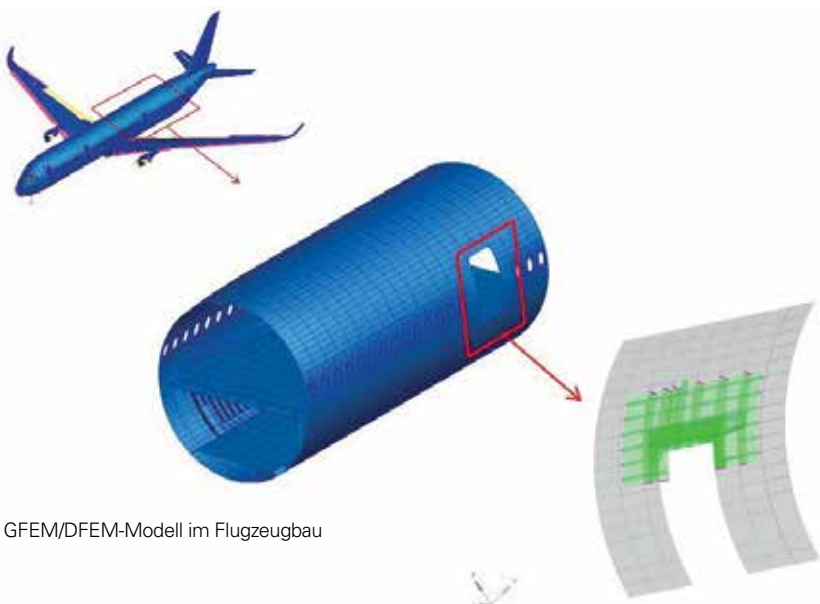
Mithilfe unseres neuen Heissbemessungsverfahrens, das auf Berechnungsprinzipien aus dem Flugzeugbau beruht, sind sowohl grosse Konstruktionen effektiv analysierbar als auch Untersuchungen für bestehende Konstruktionen mit baulichem Brandschutz möglich. Basierend auf den Ergebnissen unserer Analysen können in der Regel Kosten eingespart und somit auch Bauprojekte günstiger angeboten werden. Wird eine Heissbemessung frühzeitig in die Planung von Konstruktionen eingebunden, sind Optimierung von Bauteilen hinsichtlich ungeschützter Ausführung und Stahlgewichtersparnis planbar. Ausserdem kann dem Betreiber des zukünftigen Bauobjektes die Problematik der langfristigen Zulassung des Stahlanstriches erspart werden.



Thermische Analyse des Brandnahbereiches



Spannungen und Verformungen durch Brandeinwirkung im Konstruktionsdetail



GFEM/DFEM-Modell im Flugzeugbau

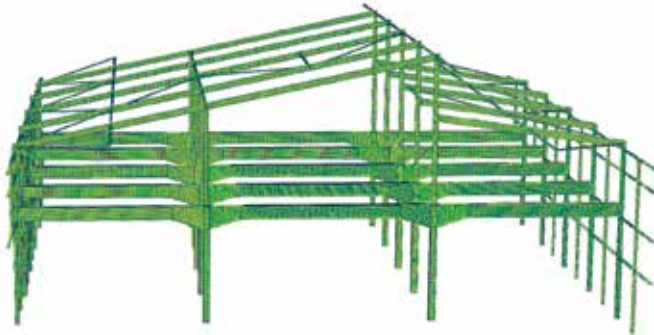
# PRAXISBEISPIEL HEISSBEMESSUNG

Durch die Neunutzung einer umgebauten Lagerhalle wurde die brandschutztechnische Untersuchung des ungeschützten Stahlwerks nötig. Wir konnten den baulichen Brandschutz mit einer Heissbemessung unter Naturbrandszenario nachweisen.

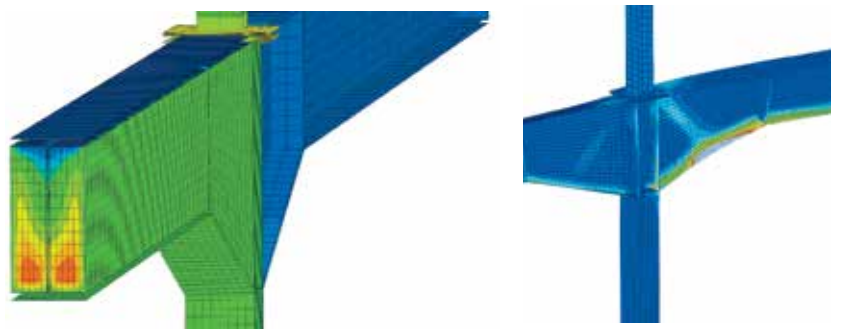


Die Temperatursimulation in der Crossfithalle wurde mithilfe eines CFD-Modells durchgeführt. Die mechanische Analyse mithilfe nichtlinearer FE-Rechnung zeigte ein starkes Anwachsen der plastischen Dehnungen im Stahl, besonders in den Rahmenknoten (Position des grössten Stützmomentes).

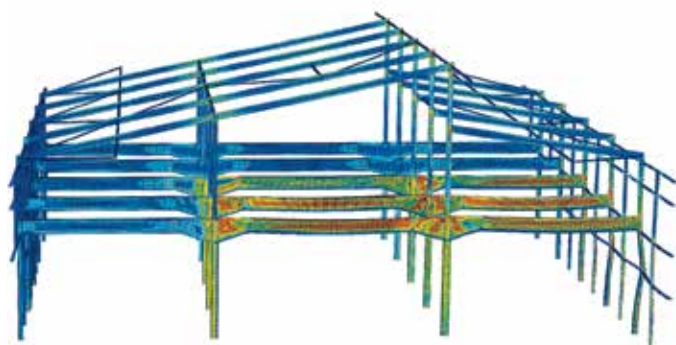
Aufgrund der grossen Bauteilabmessungen, der schützenden Wirkung des Kammerbetons in den Rahmenträgern und der Teilumschliessung der Stützen mit Mauerwerk hatte das Tragwerk für den Lastfall Brandtemperatur genügend plastische Reserven, sodass die Auswertung nach Spannungen, Dehnungen und Stabilität für die ungeschützte Ausführung kein Versagen zeigte.



FE-Modell der Hallenstahlkonstruktion



Thermische Analyse der Bauteile (links) und plastische Dehnungen im Bauteil (rechts)



Mechanische Analyse des Stahltragwerks unter Temperaturbeanspruchung

Die Neunutzung einer umgebauten Lagerhalle brachte eine Neubewertung als Büro und Versammlungsstätte mit sich. Demzufolge muss das Tragwerk nach brandschutztechnischer Forderung 60 Minuten Normbrandbeanspruchung (ISO-Normbrand) standhalten. Die tragenden Bauteile sind entsprechend stark ausgebildet und für die neue Nutzung überdimensioniert, sodass eine Untersuchung für das ungeschützte Stahltragwerk sinnvoll wurde. Die Primärkonstruktion besteht aus fünf gevouteten Zweifeld-Stahlrahmen, auf denen eine Betonrippendecke aufliegt. Das Gebäude ist eingeschossig, wobei das Obergeschoss gleichzeitig das Dachgeschoss bildet und damit keine Anforderungen an den baulichen Brandschutz stellt.

Für die Beurteilung des Gesamttragverhaltens des ungeschützten Tragwerks wurde eine Heissbemessung unter Naturbrandszenario in der grössten Nutzungseinheit, einer Crossfithalle, vorgesehen. Dazu wurde das Stahltragwerk der gesamten Halle als FE-Modell abgebildet.

Da die Nutzungseinheiten brandschutztechnisch voneinander getrennt sind, konnte das GFEM/DFEM-Verfahren angewendet werden. Der vom Brand beflammete Bereich der Konstruktion wurde modelltechnisch detailliert und der Kaltbereich vereinfacht im FE-Programm idealisiert abgebildet. Beide Modellteile sind dabei miteinander gekoppelt.

In Teilen sind die Stahlträger mit Beton ausgefacht. Der Beton wurde in seiner Wirkung auf die Struktur nicht mechanisch angesetzt (konservative Herangehensweise), konnte aber für die thermische Analyse zur Bestimmung der Bauteiltemperatur verwendet werden.

# DETAILUNTERSUCHUNG MIT ZUKUNFT

Untersuchung von Dämmschichtbildnern durch numerische Modellierung.

Der praktische Einsatz von Anstrichsystemen wie Dämmschichtbildnersystemen (DSBS) ist nicht immer zertifizierungsgerecht umsetzbar. Nicht selten entstehen Wärmebrücken in geschützte Bauteile entweder konstruktionsbedingt (z.B. Trapezblechanbindung an Träger) oder aufgrund von nachträglichen Massnahmen (Trägerklemmensysteme für Sekundärkonstruktionen).

Werden z.B. nachträglich ungeschützte Installationen mit Klemmen an geschützten Primärstrukturen befestigt, so müssen bezüglich der Wirkung von Wärmebrücken in das Stahlbauteil essenzielle Fragen geklärt werden, wie: Mit wie vielen Klemmen kann der Träger unter Beachtung der Hauptlast des Hauptträgers belastet werden? Wie gross dürfen die Klemmen sein? Ist eine einseitige Belastung durch die Klemmen möglich?

Zur Verdeutlichung sollen einfache Trägerklemmen an einem einfachen Profilträger dienen: Im Brandfall würde der Dämmschichtbildner im Bereich der Klemme nicht aufschäumen können und diese Stelle würde eine ungeschützte Beflammungsfläche bilden, sodass ein Wärmeeintrag über die Klemme in das tragende Bauteil möglich wäre.

Mithilfe einer FE-gestützten Simulation kann die genaue thermische und mechanische Beeinträchtigung durch einen nichtzertifizierten Bereich des Anstrichschutzes beurteilt werden. Dabei wird das Bauteil mit dem vollständig aufgeschäumten Dämmschichtbildner abgebildet. Die Störstellen werden entweder als Fehlstellen oder mit Abbildung der ungeschützten Klemme in das Modell integriert.

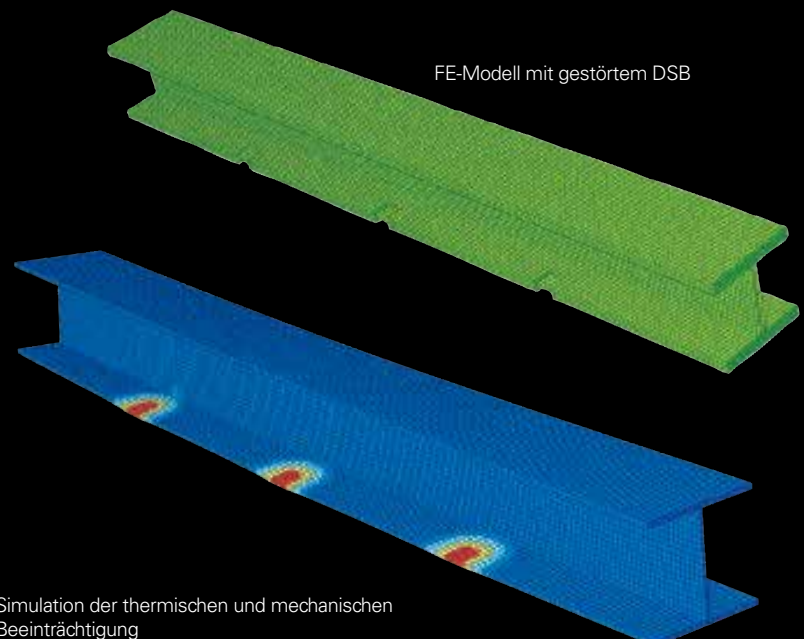
Die Temperaturbeaufschlagung kann dabei durch Eintrag einer ISO-Normbrand- oder einer Naturbrandtemperaturbeanspruchung auf das gesamte Bauteil erfolgen. Somit kann die Verteilung des Wärmeeintrags aufgrund der Störung des DSB beurteilt und in einer mechanischen Analyse – unter Beachtung der Randbedingungen und der Belastung – ermittelt werden.

Die numerischen Parameter für die thermische Analyse des DSB sind über die mathematische Darstellung der Werte für spezifische Wärmekapazität, Emissivität, Wärmeleitung und Aufschäumdicke des DSB gegeben. Für Wärmekapazität und Emissivität liegen aus der Fachliteratur Werte vor. Die Aufschäumdicke und die Wärmeleitfähigkeit sowie das Aufschäumverhalten im Störbereich sollten jedoch in Realbrandversuchen genauer untersucht werden. Mithilfe dieser Validierung lassen sich mit numerischen Modellen genauere Vorhersagen treffen, ohne dass zu konservative Ansätze verwendet werden müssen. Im Ergebnis erfolgt eine sichere Aussage zum einen darüber, welche Temperaturen aufgrund der Störung im Bauteil über einen Belastungszeitraum vorliegen. Zum anderen darüber, ob die Tragfähigkeit unter den vorhandenen Bedingungen ausreichend lange gewährleistet werden kann.

Somit sind durch effiziente, leistungsstarke Modellierungstools und abgestimmte physikalische Parameter Beurteilungen von nachträglichen Konstruktionssituationen schnell und sicher möglich.



Die Befestigung von Konstruktionsteilen mit Klemmen stellt eine mögliche Schwachstelle im Brandschutz dar



Simulation der thermischen und mechanischen Beeinträchtigung



# ÜBER- BLICK

## LEISTUNGSBILD

- > Brandschutzberatung
- > Brandschutzkonzepte, Brandschutzpläne
- > Brandschutzexpertisen
- > Evakuierungssimulationen
- > Brandsimulationen (CFD)
- > Heissbemessung
- > Qualitätssicherung, Fachbauleitung
- > Brandfallsteuerungen (Planung, Tests)
- > kalibrierte Rauchversuche
- > Feuerwehrpläne, Einsatzplanung
- > Flucht- und Rettungspläne
- > Brandschutzordnung
- > Brandschutzbeauftragter
- > Weiterbildung, Schulungen

### Kontaktieren Sie uns.

Wir informieren und beraten Sie gerne.



[www.gruner-brandschutz.de](http://www.gruner-brandschutz.de)

# TEAMWORK

Mehr als 60 Mitarbeitende in der Schweiz, Deutschland und Österreich

## Ansprechpartner und Standorte des Geschäftsbereichs Brandschutz



**Jörg Kasburg**  
Geschäftsbereichsleiter  
Brandschutz



**Verena Langner**  
Niederlassungsleiterin Brandschutz,  
Wien



**Achim Ernst**  
Abteilungsleiter Brandschutz,  
Brandfallsteuerung



**Manuel Tiedemann**  
Niederlassungsleiter Brandschutz,  
Hamburg



**Dr. Ralf Schnetgöke**  
Stv. Geschäftsbereichsleiter Brandschutz  
**Ansprechpartner Heissbemessung**



**Christoph Vahlhaus**  
Niederlassungsleiter Brandschutz,  
Köln



**Sirko Radicke**  
Teamleiter Brandschutz,  
Basel



**Carsten Willmann**  
Geschäftsführer Brandschutz,  
Stuttgart



**Matthias Stamm**  
Teamleiter numerische  
Methoden Strukturmechanik, Brand-  
schutz, Ingenieurmethoden  
**Ansprechpartner Heissbemessung**



**Pascal Lequime**  
Senior Projektleiter Tragwerke  
**Ansprechpartner Heissbemessung,  
Konstruktion**

**Gruner AG** Basel, T +41 61 317 64 42, [basel@gruner.ch](mailto:basel@gruner.ch)

**Gruner AG** Zürich, T +41 43 299 74 22, [zuerich-gruner@gruner.ch](mailto:zuerich-gruner@gruner.ch)

**Gruner AG** Köniz, T +41 31 917 10 59, [koeniz-gruner@gruner.ch](mailto:koeniz-gruner@gruner.ch)

**Gruner GmbH** Wien, T +43 1 595 22 75 10, [wien@gruner.at](mailto:wien@gruner.at)

**Gruner GmbH, Hamburg** Hamburg, T +49 40 356 23 93 0, [hamburg@gruner.eu](mailto:hamburg@gruner.eu)

**Gruner GmbH, Köln** Köln, T +49 221 999 848 0, [koeln@gruner.eu](mailto:koeln@gruner.eu)

**Gruner GmbH, Stuttgart** Stuttgart, T +49 711 7207 119 0, [stuttgart@gruner.eu](mailto:stuttgart@gruner.eu)

**Gruner GmbH, Stuttgart, Geschäftsstelle München** München, T +49 89 215 403 46, [muenchen@gruner.eu](mailto:muenchen@gruner.eu)

**Gruner GmbH, Hamburg, Geschäftsstelle Berlin** Berlin, T +49 30 88 706 2121, [berlin@gruner.eu](mailto:berlin@gruner.eu)