

Brandschutz in der Gebäudetechnik - Neue Entwicklungen bei der Heißbemessung von Montagesystemen



Dr.-Ing.
Susanne Reichel,
Geschäftsbereich VI
Forschung,
Entwicklung,
Modellierung,
MFPA Leipzig GmbH

- die Tragfähigkeit des Bauwerks während eines bestimmten Zeitraums erhalten bleibt;
- die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks begrenzt wird;
- die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird;
- die Bewohner des Bauwerks unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können;
- die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.“

I. Gesetzliche und normative Grundlagen

Schutzziele an den Brandschutz sind im Rahmen der EU-Bauproduktenverordnung [1] als „Grundanforderungen an Bauwerke“ definiert. Folglich sind diese unmittelbar in das nationale Recht der Mitgliedstaaten übernommen und Nutzer baulicher Anlagen haben einen Anspruch auf deren Einhaltung. Die Basisanforderungen an den Brandschutz sind wie folgt definiert: „Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand

Im Hinblick auf Montagesysteme sind in Deutschland gemäß der Muster-Leitungs-Anlagen-Richtlinie (MLAR) [2] „die besonderen Anforderungen hinsichtlich der brandsicheren Befestigung der im Bereich zwischen den Geschossdecken und Unterdecken verlegten Leitungen [...] zu beachten“. In [3] werden die Herausforderungen im Rahmen der Gebäudetechnik dargelegt, die aus den Anforderungen der Schutzziele resultieren. Insbesondere wird auf die Bedeutung der Verformungen von Montagesystemen im

Brandfall hingewiesen, da bei hohen Installationsdichten und geringem Abstand zur brandschutzwirksamen Unterdecke erhebliche Schäden entstehen können. Zudem wird auf die Bedeutung der Einhaltung der Schutzziele im Zusammenhang mit

- der Überbauung klassifizierter Bauteile mit Funktionserhalt;
- Montagesystemen mit sicherheitsrelevanten Anwendungen (Lüftung, Entrauchung);
- der Erhaltung der Tragfähigkeit im Brandfall bei Sprinklersystemen hingewiesen.

Derzeit erfolgen die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit und die Abschätzung des Verformungsverhaltens im Brandfall zumeist rechnerisch auf Basis der Vorschriften des Eurocodes EN 1993-1-2 [4] oder experimentell auf Basis von Brandversuchen für typische Anwendungen.

Eine Nachweisführung im Brandfall ist erforderlich, da die Materialeigenschaften von Stahl eine erhebliche Temperatursensitivität aufweisen: Sowohl Steifigkeit als auch Festigkeit sinken mit steigender Werkstofftemperatur deutlich. Bei beiden Nachweismethoden – rechnerisch sowie experimentell – wird eine Brandbeanspruchung nach der Einheits-Temperaturzeit-Kurve (ETK) gemäß [5] berücksichtigt.

Die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit stellt sicher, dass während eines Brandes keine Installationsteile herabstürzen, die auftretende Beanspruchung also die Tragfähigkeit der eingesetzten Systemkomponenten nicht überschreitet. Für die rechnerische Nachweisführung ist in [4] der funktionale Zusammenhang zwischen Streckgrenze des Materials und Temperatur angegeben (Abbildung 2).

Eine möglichst zutreffende Prognose des Verformungsverhaltens im Brandfall ist erforderlich, um Schäden an der darunterliegenden Deckenkonstruktion und eine damit einhergehende Beeinträchtigung der brandschutztechnischen Wirkung zu vermeiden. Die Gesamtverformung im Brandfall resultiert teilweise aus der thermischen

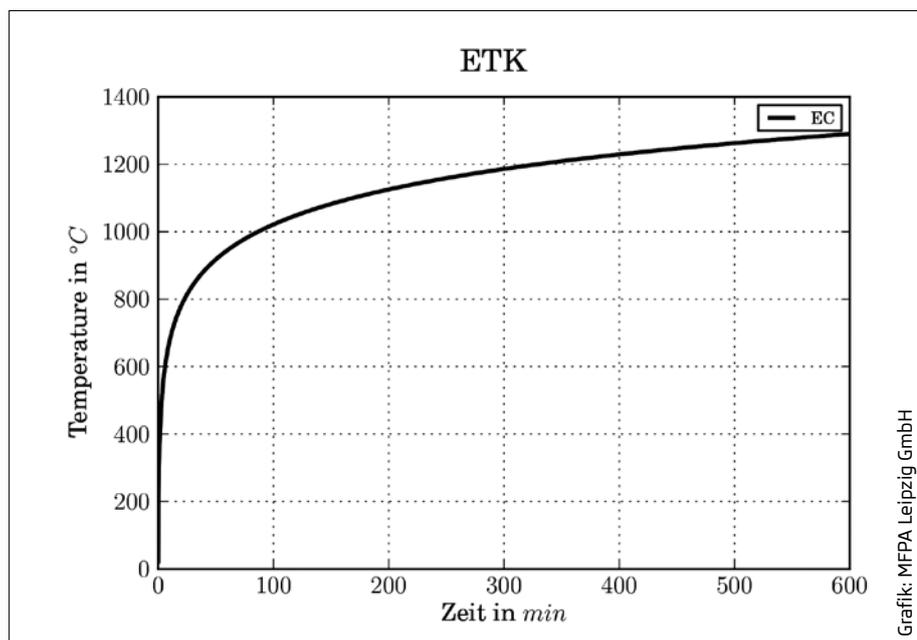


Abbildung 1: Einheits-Temperaturzeit-Kurve nach DIN EN 1363-1

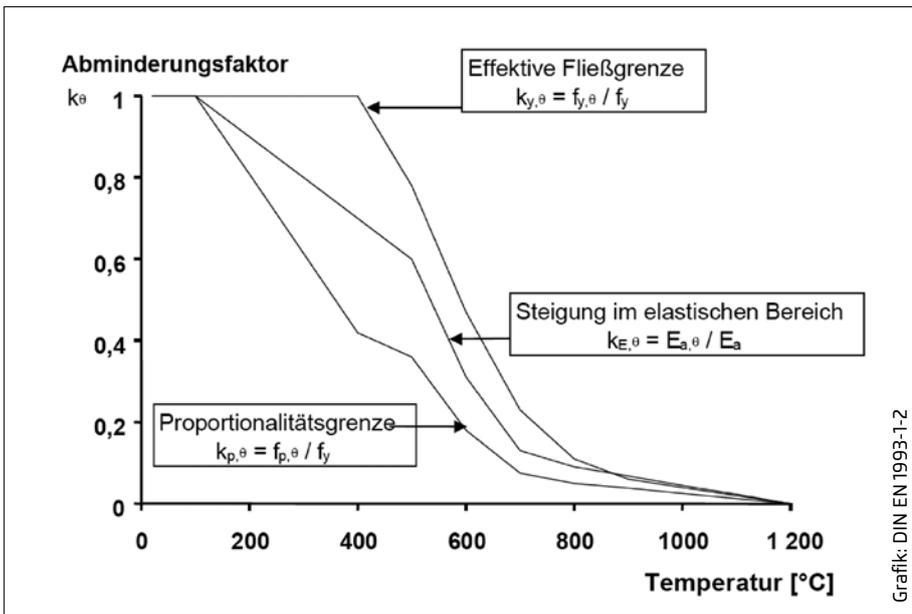


Abbildung 2: Temperaturabhängige Abminderung der Materialeigenschaften von Stahl gemäß [4]

Längenänderung. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit des E-Moduls, der Proportionalitätsgrenze und der Streckgrenze sind jedoch zusätzliche erhebliche elastische und plastische Verformungen zu beobachten, die mit steigender Temperatur zunehmen und – je nach Art der Konstruktion – das Verformungsverhalten des Systems dominieren können. Funktionale Zusammenhänge zwischen E-Modul und Temperatur sowie zwischen Proportionalitätsgrenze und Temperatur sind ebenfalls in [4] angegeben (Abbildung 2).

II. Verformungsberechnung

Für die Bemessung und Verformungsberechnung von Stahlkonstruktionen im Kaltfall wird ein linear elastisch-ideal plastisches Materialmodell unterstellt. Dieses wird unter Temperaturbeanspruchung gemäß [4] um einen nichtlinearen Übergangsbereich ergänzt (Abbildung 3).

Aufgrund der Komplexität des zu berücksichtigenden Materialverhaltens ist eine Berechnung der temperaturabhängigen Verformungen nicht analytisch möglich, sodass beispielsweise in [6] auf numerische Methoden zurückgegriffen wird.

Im Zuge der Nachrechnung von Verformungsmessungen aus Brandversuchen unter Nutzung der Materialzusammenhänge aus [4] wird anhand eigener Forschungsergebnisse (siehe auch [6]) eine signifikante Diskrepanz zwischen berechneten und gemessenen Verformungen festgestellt: Die durch die Berechnungen prognostizierten Werte unterschätzen den realen Verformungszustand und liegen folglich auf der

unsicheren Seite (Abbildung 4). Diese Beobachtung steht in Übereinstimmung mit aktuellen Forschungsergebnissen der RAL Gütegemeinschaft Rohrbefestigung (vgl. [3]).

Die Abweichung zwischen berechneter und gemessener Verformung steigt mit zunehmender Temperatur (siehe auch [3, 6]). Für dünnwandige Montageschienen sind diese Abweichungen sehr relevant, da die Stahltemperatur mit nur kurzer Verzögerung der Brandtemperatur folgt und unter den Bedin-

gungen der ETK bereits in der 23. Prüfminute 800 °C überschritten werden (Abbildung 1).

Aufgrund der auf der unsicheren Seite liegenden Berechnungsergebnisse kann bei Verwendung der temperaturabhängigen Materialeigenschaften aus EN 1993-1-2 [4] eine mechanische Schädigung der brandschutztechnisch wirksamen Unterdecken nicht ausgeschlossen werden. Als Folge daraus wird von der RAL Gütegemeinschaft empfohlen, „[...] die Anwendung von DIN EN 1993-1-2 zur Berechnung der Verformung dünnwandiger kaltprofilierter, offener Profile aus Stahl im Brandfall aufgrund derzeitiger Forschungsergebnisse zunächst auszusetzen [...]“ (vgl. [3, 6]).

III. Stand der Technik

Um den aus den Schutzziele resultierenden baurechtlichen Anforderungen gerecht zu werden, müssen dennoch verlässliche Aussagen zum Verformungsverhalten von Montagesystemen getroffen werden. Derzeit werden daher, wie in [3] dargelegt und empfohlen, originalmaßstäbliche Brandversuche für alle brandschutztechnisch kritischen Anwendungen durchgeführt. Die Prüfergebnisse werden in Form der Verformung und Tragfähigkeit des jeweiligen Systems in Prüfberichten dokumentiert und dürfen für die Nachweisführung herangezogen werden.

Aufgrund der Vielzahl denkbarer Konstruktionen (vgl. [3]) als Kombination aus

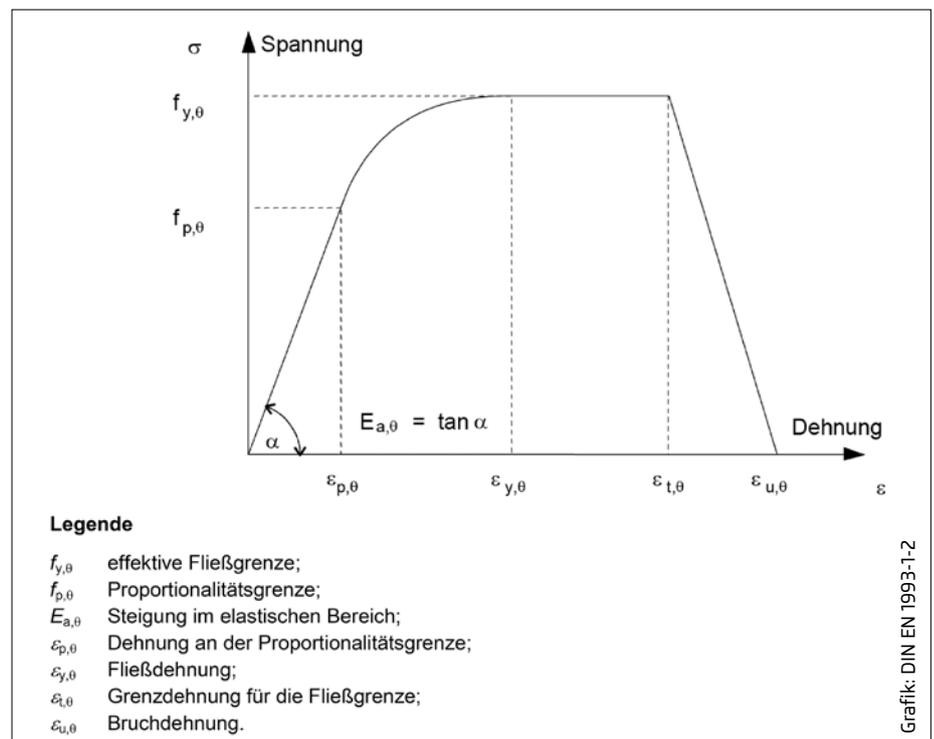
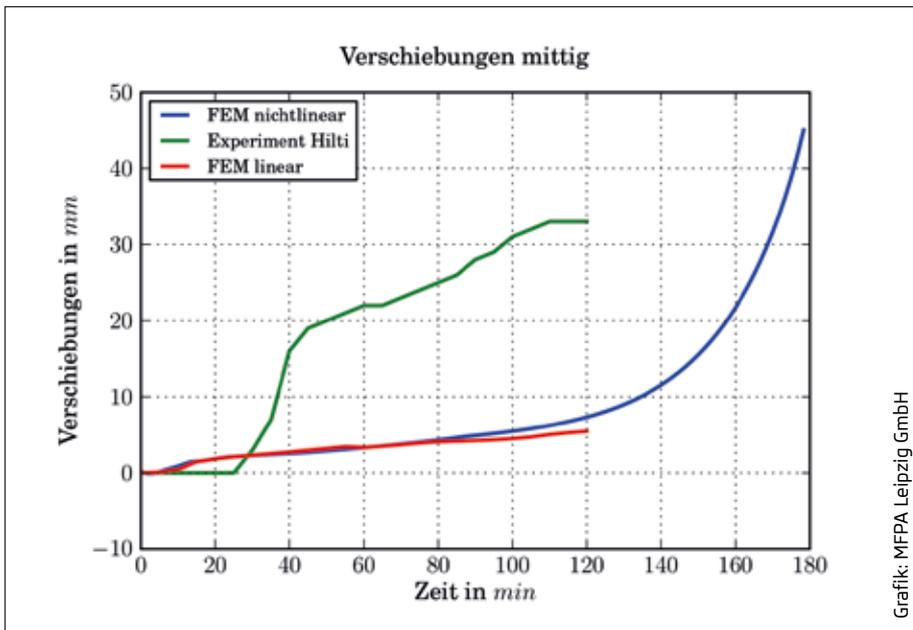


Abbildung 3: Spannungs-Dehnungsbeziehung von Stahl unter erhöhter Temperatur gemäß [4]



Grafik: MFPA Leipzig GmbH

Abbildung 4: Verformungsverhalten einer dünnwandigen Montageschiene – grün: reale Testbedingungen, rot: Berechnung mit linear elastischem Materialmodell, blau: nichtlineare numerische Simulation gemäß EC3-1-2

Montageschienen, Gewindestangen, Rohrschellen und anderen Komponenten, die jeweils verschiedene Größen aufweisen können, ist ein beträchtlicher finanzieller und zeitlicher Aufwand erforderlich, um die Nachweisführung für die gesamte relevante Produktpalette mittels originalmaßstäblicher Brandversuche abdecken zu können. Werden nur ausgewählte Konstruktionen geprüft, sind die Versuchsergebnisse nicht flexibel anwendbar – also nicht auf abweichende Konstruktionen übertragbar. Da die Versuchsergebnisse immer für das Gesamtsystem vorliegen, ist eine Abschätzung der Einflüsse der einzelnen Systemkomponenten auf das Verformungsverhalten kaum möglich.

Auf Basis der vorangegangenen Feststellungen und Überlegungen strebt die Firma Hilti im Rahmen der Entwicklung und Neueinführung von Produkten zukünftig eine flexible, ökonomische Lösung für die Bemessung und Verformungsberechnung von Montagesystemen im Brandfall an.

IV. Neue Entwicklungen

An der MFPA Leipzig GmbH wird derzeit ein Nachweisverfahren auf Komponenten-Ebene entwickelt. Ziel ist die getrennte brandschutztechnische Bewertung aller Systembestandteile, beispielsweise Rohrschellen, Gewindestangen, Schellenanbindungen, Montagewinkel, Verbindungsknöpfe und Montageschienen. Für den konkreten Anwendungsfall werden anschließend aus der Kombination der erforderlichen Einzelwerte

die Tragfähigkeit und die Verformung im Brandfall bestimmt.

Mit diesem Ansatz gelingt zum einen eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Zum anderen gewinnen Planer und Installationsfirmen an Flexibilität, da die Bemessung und Verformungsberechnung im Brandfall für jede denkbare Kombination der Komponenten gelingt.

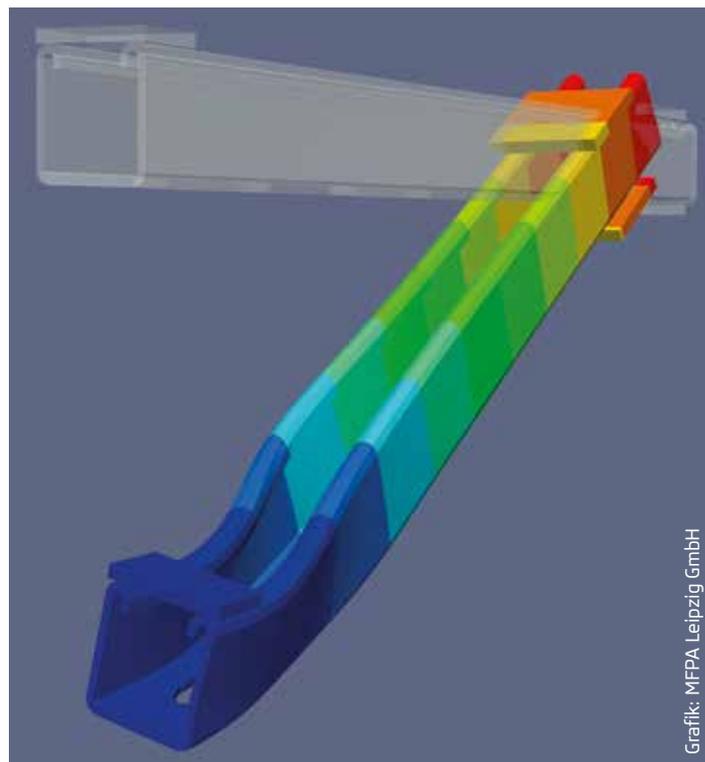
Für die brandschutztechnische Bewertung der Anschlüsse, Gewindestangen und Rohrschellen werden von anerkannten Materialprüfanstalten Brandversuche durchgeführt, aus denen die Tragwiderstände und Verformungen in Abhängigkeit der Branddauer abgeleitet werden.

Aufgrund des temperaturabhängigen elastisch-plastischen Materialverhaltens von Stahl müssen im Zuge der experimentellen Untersuchung der Anschlüsse zwischen Gewindestange und Montageschiene verschiedene Verformungszustände berücksichtigt werden. Ist die maximale Biegespannung der Montageschiene zu jedem Zeitpunkt kleiner als die temperaturabhängige Fließgrenze, verformt sich diese kaum. Im Gegensatz dazu resultieren große Biegeverformungen der Montageschiene, wenn sich deren maximale Biegespannungen der temperaturabhängigen Fließgrenze nähern.

Das Tragverhalten von Anschlüssen im Brandfall muss dementsprechend für unterschiedliche Verformungszustände der Schienen untersucht werden.

Die Montageschiene selbst stellt sich als die variantenreichste Systemkomponente dar, da zahlreiche Parameter einen Einfluss auf das Trag- und Verformungsverhalten im Brandfall ausweisen:

- Schienentyp,
- Länge,
- Ausrichtung (nach oben oder nach unten geöffnet),



Grafik: MFPA Leipzig GmbH

Abbildung 5: Verformte Struktur zum Zeitpunkt $t = 120$ min



- Beanspruchungsniveau (mechanische Auslastung),
- Beanspruchungsart (Anzahl und Position der Lasten),
- Auflagerbedingungen (gelenkig, eingespannt).

Eine Vorgehensweise in Analogie zu den übrigen Komponenten würde einen erheblichen Versuchsaufwand bedeuten. Daher wird für die Montageschienen eine rechnerische Bemessung und Verformungsberechnung im Brandfall unter Nutzung von numerischen Methoden angestrebt. In diesem Zusammenhang birgt die Entwicklung eines zutreffenden Materialmodells die größten Herausforderungen.

Gemäß [6] ist die Diskrepanz zwischen Berechnung und Realität bei Verwendung der Materialdaten aus EN 1993-1-2 [4] hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass Warmkriecheffekte, die bei Langzeitbeanspruchung unter hohen Temperaturen auftreten, nicht - bzw. für das vorliegende Problem nur unzureichend - erfasst werden. Folglich sollten für eine bessere Annäherung an das reale temperaturabhängige Last-Verformungs-Verhalten die Spannungs-Dehnungsbeziehungen (Abbildung 3) bei erhöhten Temperaturen angepasst werden.

Dafür ist die Untersuchung des eingesetzten Schienenmaterials mit Hilfe von instationären Heiß-Kriechversuchen denkbar. Dabei werden bei konstanter mechanischer Beanspruchung die Probekörpertemperatur gemäß der ETK erhöht und die resultierenden Dehnungen aufgezeichnet. Aus Heiß-Kriechversuchen mit unterschiedlichen Spannungsniveaus können Spannungs-Dehnungsbeziehungen bei konstanter (erhöhter) Temperatur abgeleitet werden, die anstelle der Werte aus [4] bei der numerischen Berechnung Berücksichtigung finden.

Um sicherzustellen, dass der entwickelte Modellierungsansatz das tatsächliche Verformungsverhalten im Brandfall zutreffend und auf der sicheren Seite liegend abbildet, ist eine Verifikation anhand der Nachrechnung einiger repräsentativer originalmaßstäblicher Versuche essentiell.

Das beschriebene Konzept einer hybriden Nachweismethode aus Versuchen und numerischen Berechnungen wurde bereits beispielhaft erprobt und als zielführend befunden.

Durch die Berücksichtigung geometrischer und physikalischer Nichtlinearitäten im Modell werden auch Einflüsse aus lokalen und globalen Stabilitätsproblemen erfasst und reale Verformungsbilder können reproduziert werden (Abbildung 5).

An der Überführung dieses Ansatzes in ein zuverlässiges Nachweiskonzept wird derzeit gearbeitet.

V. Zusammenfassung

Montagesysteme in der Installationstechnik haben im Hinblick auf das Erreichen der Schutzziele im Brandschutz im Bereich oberhalb brandschutztechnisch relevanter Unterdecken eine entscheidende Bedeutung, da bei einem Brand große Verformungen erhebliche Schäden verursachen können. Da unter Nutzung der temperaturabhängigen Materialeigenschaften nach EN 1993-1-2 (EC 3) zu geringe, auf der unsicheren Seite liegende Verformungen berechnet werden, ist die Nachweisführung mit originalmaßstäblichen Brandversuchen der derzeitige Stand der Technik. Um den damit verbundenen, zeitlichen und finanziellen Aufwand zu verringern und zeitgleich eine höhere Flexibilität im Hinblick auf nachweisbare Konstruktionsvarianten zu erlangen, wird ein Nachweiskonzept auf Komponenten-Ebene entwickelt. Mit Hilfe einer Kombination aus Brandversuchen und Berechnungen mit angepassten Materialmodellen soll das Verformungsverhalten im Brandfall für beliebige Kombinationen aus den untersuchten Komponenten prognostiziert werden, so dass die jeweils geforderten Schutzziele sicher nachgewiesen werden können. ◀

Literatur:

- [1] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates.
- [2] Muster-Richtlinie über Brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen (Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie MLAR), Fassung 10.2.2015.
- [3] Riello, G., Geibig, O.: Brandschutz in der Gebäudetechnik, in: BTGA-Almanach 2017, S. 28-31.
- [4] EN 1993-1-2 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.
- [5] DIN EN 1363-1:2012-10: Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1363-1:2012.
- [6] Hauswaldt, G., Beiter, C., Reichel, S.: Verformungsberechnung dünnwandiger Montageschienen im Brandfall, Workshop Heißbemessung, Braunschweiger Brandschutz-Tage 2016.



- **Der IKZ-Newsletter informiert über die wichtigsten News aus der Haustechnikbranche**
- **Sorgfältig recherchiert und bearbeitet durch die IKZ-Redaktion**
- **Wöchentlich neu und kostenlos**



**Jetzt anmelden unter:
www.ikz.de/newsletter**



STROBEL VERLAG GmbH & CO. KG
Zur Feldmühle 9-11
59821 Arnsberg
Telefon 02931 8900-0
Telefax 02931 8900-38
leserservice@strobel-verlag.de