

# M F P A L e i p z i g G m b H

Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle für Baustoffe, Bauprodukte und Bausysteme  
Anerkannt nach Landesbauordnung (SAC 02) und notifiziert nach Bauproduktengesetz (NB 0800)

## Geschäftsbereich III: Baulicher Brandschutz

MFPA Leipzig GmbH – Postfach 74 11 06 – 04323 Leipzig

Hilti Corporation  
Business Unit Installation  
Feldkircherstrasse 100  
9494 Schaan  
Liechtenstein

|              |                    |                |                    |
|--------------|--------------------|----------------|--------------------|
| Ihre Zeichen | Ihre Nachricht vom | Unsere Zeichen | Datum              |
|              |                    | G 3.2/15-291-1 | 11. September 2015 |

### Betreff: Verformungsberechnung Montageschienen im Brandfall

Sehr geehrte Damen und Herren,

in §40 der MBO [1] wird festgestellt, dass Leitungsanlagen über notwendigen Fluren nur zulässig sind, wenn die Nutzung des Rettungswegs im Brandfall ausreichend lange gewährleistet ist. In Abschnitt 3.5.3 der MLAR wird für die Einhaltung dieses Schutzziels gefordert:

*... die besonderen Anforderungen hinsichtlich der brandsicheren Befestigung im Bereich zwischen den Geschossdecken und Unterdecken verlegten Leitungen sind zu beachten.*

Für den Brandfall im Unterdeckenbereich muss dementsprechend sichergestellt werden, dass Rohrbefestigungen/Tragsysteme sich nicht soweit verformen, dass die sich darunter befindende Unterdecke mechanisch beschädigt wird.

Der Nachweis der begrenzten Verformung kann durch Brandprüfungen mit Brandbeanspruchung nach DIN EN 1363-1 [2] sichergestellt werden. Alternativ werden aktuell die Verformungen der Stahlbauteile mithilfe der Spannungs-Dehnungsbeziehung nach DIN EN 1993-1-2 [3] (kurz: EC3-1-2) berechnet.

Hierzu muss aber angemerkt werden, dass rechnerisch nicht ohne weiteres sichergestellt werden kann, dass darunterliegende Bauteile wie Unterdecken im Brandfall mechanisch unbeschädigt bleiben. Ausführende Erläuterung zur Abweichung zwischen rechnerisch und experimentell ermittelten Verformungen von Rohrbefestigungen/Tragsystemen können Anlage 1 entnommen werden. Es zeigt sich, dass mit einer Verformungsberechnung gemäß EC3-1-2 nicht sichergestellt werden kann, dass brandschutztechnisch wirksame Unterdecken ausreichend



Gesellschaft für  
Materialforschung und  
Prüfungsanstalt für das  
Bauwesen Leipzig mbH

Hans-Weigel-Str. 2 b  
04319 Leipzig

Tel.: +49 (0) 341 - 65 82-0  
Fax.: +49 (0) 341 - 65 82-135  
www.mfpa-leipzig.de

Geschäftsführer:  
Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn

Handelsregister:  
Amtsgericht Leipzig  
HRB 17719  
USt-Id Nr.: DE 813200649

Es gelten die AGB der  
MFPA Leipzig GmbH.

Bankverbindung:  
Sparkasse Leipzig  
IBAN: DE47860555921100560781  
BIC: WELADE8LXXX

### Geschäftsbereich III: Baulicher Brandschutz

Tel.: +49 (0) 341 - 6582-134  
Fax: +49 (0) 341 - 6582-197  
brandschutz@mfpa-leipzig.de

Geschäftsbereichsleiter:  
Dipl.-Ing. Sebastian Hauswaldt

### Arbeitsgruppen:

- **Brandverhalten** von  
**Bauprodukten**
- **Brandverhalten** von  
**Bauarten** und  
**Sonderkonstruktionen**



Deutsche  
Akkreditierungsstelle  
D-PL-11021-01-00

Durch die DAKKS GmbH nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren. Die Urkunde kann unter [www.mfpa-leipzig.de](http://www.mfpa-leipzig.de) eingesehen werden.



lange unbeschädigt bleiben, da die in der Realität auftretenden Verformungen in den meisten Fällen deutlich größer sind.

Für den Nachweis der begrenzten Verformung sollten daher Brandprüfungen mit Brandbeanspruchung nach DIN EN 1363-1 [2] durchgeführt werden.

Es gelten die Allg. Geschäftsbedingungen (AGB) der MFWA Leipzig GmbH.

Mit freundlichen Grüßen

Dipl.-Ing. S. Hauswaldt  
Geschäftsbereichsleiter



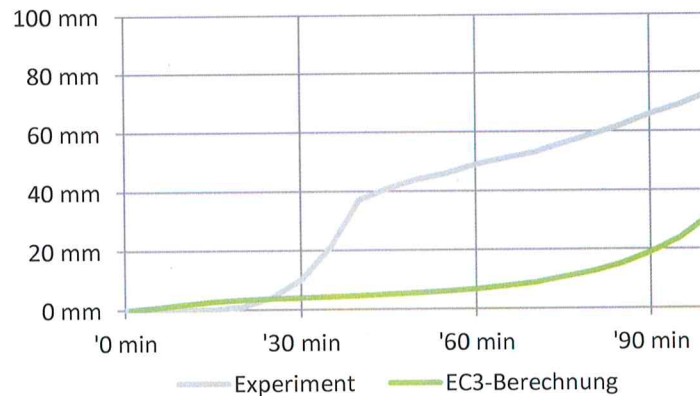
Anlage 1: Verformungsberechnung dünnwandiger Montageschienen im Brandfall (4 Seiten)

## 1 Literatur

- [1] *Musterbauordnung*: 2002-11.
- [2] *DIN EN 1363-1: 2012-10*: Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen.
- [3] *DIN EN 1993-1-2: 2010-12*: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.
- [4] *LANGE, J., WOHLFEIL, N.*: Untersuchungen zum Werkstoffverhalten des Feinkornbaustahls S 460 unter erhöhten Temperaturen. Bautechnik 84 (2007).
- [5] *Hauswaldt, S., Korzen, M.*: A constitutive model for the use of Finite Element Method in structural fire design. Formulation, benefit and limits shown on a numerical steel model based on Eurocode 3. (2010).

## Anlage 1: Verformungsberechnung dünnwandiger Montageschienen im Brandfall

### 1 Beispiel Verformungsberechnung Montageschiene im Brandfall



**Abbildung 1: Vergleich zwischen experimentell ermittelter und mit EC3-1-2-Modell berechneter Verformungen einer ausgewählten Montageschiene unter ETK-Brandeinwirkung**

In Abbildung 1 werden die Verformungen einer kaltverformten, dünnwandigen, offenen Montageschienen aus Kohlenstoffstahl aus einer ETK-Feuerwiderstandsprüfung und aus einer numerischen Berechnung mit der Spannungs-Dehnungsbeziehung des EC3-1-2 verglichen. Bereits dieser exemplarisch gewählte Vergleich zeigt signifikante Abweichungen zwischen experimentellen und numerischen Ergebnissen nach 30, 60 und 90 Minuten. Dies ist insbesondere interessant, da die berechneten Verformungen kleiner als die experimentell ermittelten sind. Simulationen und Auswertungen vieler anderer Versuche zeigen ähnliche Missverhältnisse.

### 2 FE-Simulation von Stahlbauteilen im Brandfall

Simulationen mit der Methode der Finiten Elemente (FE) ermöglichen grundsätzlich Bauteil-Berechnungen, die mit rein analytischen Methoden nicht lösbar sind. Der Realitätsbezug einer Simulation hängt neben der sorgfältigen Betrachtung der **Struktur** maßgeblich von der Beschreibung des Werkstoffverhaltens in Form des **Materialmodells** ab.

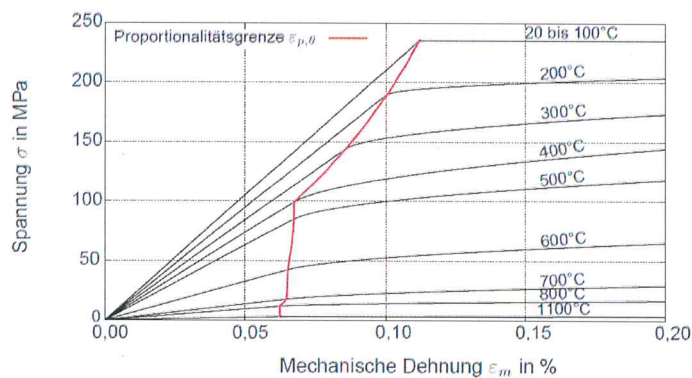
- Strukturanalysen mit der FE-Methode sind heutzutage ein Standardwerkzeug. Erfahrene Anwender können mithilfe erprobter FE-Programme realitätsnahe Verformungsbilder auch bei großen Verformungen betrachten. Bei einer Fehleranalyse hinsichtlich der Verformungsberechnung dünnwandiger Profile müsste zunächst untersucht werden, ob Stabilitätsversagensfälle wie das Beulen der Stege realitätsnah beschrieben wird. Dies ist jedoch nicht Gegenstand dieser Stellungnahme.
- Jedes Materialmodell beschreibt Materialverhalten idealisiert. In Abhängigkeit von der Wahl des Modells und dem abzubildenden Prozess wird experimentelles Materialverhalten realitätsnäher oder -ferner beschrieben. Damit ein Materialmodell möglichst realistische Materialantworten gibt, muss die Wahl des Modells nicht nur an experimentellen Messdaten identifiziert werden, vielmehr ist es wichtig zu verstehen, welches Modell sich für die Simulation eines bestimmten Szenarios eignet.



Daher soll zunächst geklärt werden, ob die etablierte und bekannte nichtlineare Spannungs-Dehnungsbeziehung des EC3-1-2 geeignet ist, die Verformung einer dünnwandigen Montageschiene nach 30, 60 oder 90 Minuten ETK-Brand realitätsnah zu beschreiben.

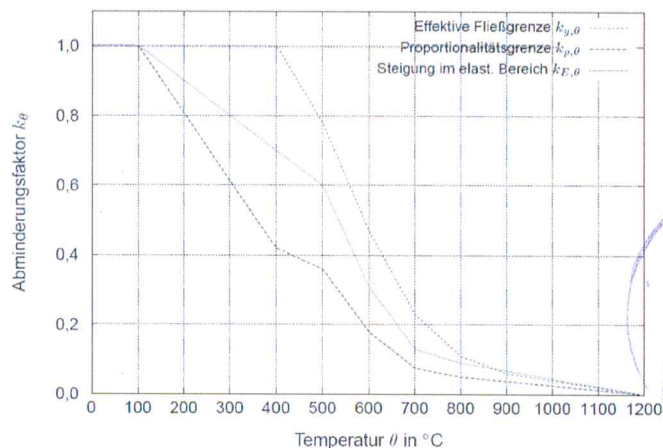
### 3 Spannungs-Dehnungsbeziehung des EC3-1-2

EC3-1-2 regelt die Tragwerksbemessungen von Stahlkonstruktionen im Brandfall und bietet hierfür unterschiedliche Bemessungsverfahren an. Üblicherweise wird das vereinfachte Bemessungsverfahren (siehe EC3-1-2, Teil 4.2) eingesetzt. Hierbei wird der Bauteilgrenzzustand durch rechnerische Reduktion der Tragfähigkeit des Stahls bestimmt. Die hierfür benötigte temperaturabhängige Spannungs-Dehnungsbeziehung für Kohlenstoffstahl ist der Kernpunkt des EC3-1-2. Sie wird durch eine abschnittsweise formulierte, nichtlineare Funktion beschrieben. In Abbildung 2 sind die Spannungs-Dehnungslinien in 100-Grad Schritten im nichtlinearen Bereich bis zu einer mechanischen Dehnung von 0,2 % ausgewertet.



**Abbildung 2: Spannungs-Dehnungskurven nach EC3-1-2 für Kohlenstoffstahl mit 235 MPa Fließspannung**

Es ist wichtig sich vor Augen zu führen, dass dieses Materialgesetz für die statische Bemessung konstruktive Stahlbauteile entwickelt wurde. Die Spannungen von Stahlbauteilen betragen üblicherweise bis zu 70 % Ausnutzung der Fließspannung (bezogen auf den Ausgangswert bei Raumtemperatur).

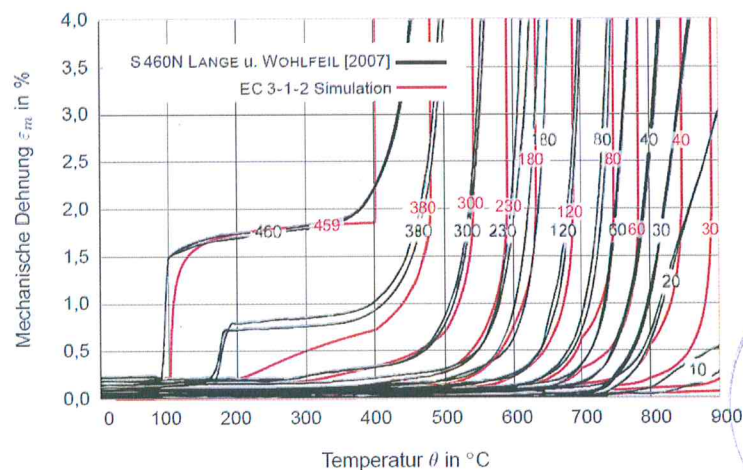


**Abbildung 3: Temperaturabhängige Abminderungsfaktoren des EC3-1-2**

Die in Abbildung 3 dargestellten Abminderungsfaktoren des EC3-1-2 zeigen, dass diese Grenze bei ca. 530 °C Stahltemperatur erreicht wird. Bis zu diesen Temperaturen gibt es entsprechend umfangreiche Erfahrungen hinsichtlich der numerischen und experimentellen Untersuchung von Stahlkonstruktionen unter ETK-Brandbeanspruchung. Das Materialmodell ist für diesen Anwendungsbereich ausreichend validiert.

Hinsichtlich des Verformungsverhaltens dünnwandiger Profile ist es jedoch wichtig, dass das Verformungsverhalten bei instationären Kriechversuchen und höheren Temperaturen realitätsnah beschrieben wird. In Abbildung 4 werden mit der EC3-1-2 Spannungs-Dehnungsbeziehung ermittelte Dehnungs-Temperaturkurven mit Messwerten instationären Kriechversuche konstanter Aufheizgeschwindigkeit aus [4] verglichen. Man erkennt, dass durch die EC3-1-2-Formulierung das experimentelle Verformungsverhalten bis ca. 590 °C plausibel wiedergegeben wird. Auch die typische Form der Dehnungs-Temperaturkurve eines instationären Kriechversuchs mit sehr starker Dehnungszunahme und Krümmungsänderung zwischen 100 und 200 °C bei Spannungen nahe der Fließgrenze wird von der EC3-1-2 Spannungs-Dehnungsbeziehung offensichtlich treffend beschrieben.

Aber mit zunehmender Temperatur, insbesondere ab 700 °C, weichen die experimentelle Dehnung und die modellierte Dehnungslinie deutlich voneinander ab. Diese Abweichungen sind für die Bemessung der Verformung von Stahlbauteilen relevant, da dünnwandige Profile bei ETK-Brandbeanspruchung bereits ab der 15ten Brandminute Stahltemperaturen von 700 °C erreichen.



**Abbildung 4: Vergleich zwischen Dehnungs-Temperaturkurven instationärer Kriechversuche an S460N (aus [4]) und mit der EC3-1-2-Formulierung berechneter Dehnungs-Temperaturkurven (Bild aus [5])**

Die Spannungs-Dehnungslinien für 700 °C und mehr weisen einen sehr flachen Verlauf auf. Sollte die angenommene Fließgrenze das reale Materialverhalten nur leicht überschätzen, führt dies bereits zu einer deutlich zu niedrig prognostizierten Dehnung.

#### 4 Zusammenfassung

Die Spannungs-Dehnungsbeziehung wurde für die Heißbemessung von Stahlbauteilen entwickelt. Hierbei wird die Tragfähigkeit einer Stahlkonstruktion unter Brandeinwirkung gemäß 1363-1 berechnet. Stahltemperaturen über 530 °C werden nur in Ausnahmefällen betrachtet.

Gemäß EC 3-1-2, Teil 4.3 können für die Berechnung von Stahlbauteilen unter Brandbeanspruchung auch computergestützte Modelle verwendet werden. Es wird nur gefordert dass die Modelle anhand von Versuchsergebnissen validiert sein sollen. Zur Berechnung der Verformung dünnwandiger, offenen Montageschienen aus Kohlenstoffstahl nach 30, 60 oder 90 Minuten Branddauer wird insbesondere die temperaturabhängige Spannungs-Dehnungsbeziehung von Kohlenstoffstahl bei 600 bis 1000°C benötigt.

Es wurde wiederholt gezeigt (siehe exemplarisches Beispiel in Abschnitt 1 dieser Anlage) dass die EC3-1-2 Spannungs-Dehnungsbeziehung für das vorhandene Szenario (Temperaturen über 590°C) jedoch nicht geeignet ist, um Verformungen realitätsnah zu berechnen. Die Verformungen der dünnwandigen Montageschienen aus Kohlenstoffstahl werden unterschätzt. Die Funktionalität einer darunter liegenden brandschutztechnisch wirksamen Unterdecke kann im Brandfall nicht sichergestellt werden, da eine mechanische Schädigung nicht ausgeschlossen werden kann.

Die temperaturabhängige Spannungs-Dehnungsbeziehung des EC3-1-2 muss für Stahltemperaturen ab 590°C wie sie an dünnwandigen Profilen bei mehr als 15 Minuten ETK-Branddauer auftreten können, angepasst und validiert werden.

Ohne diese Anpassung kann das oben beschriebene Schutzziel weiterhin nur anhand der ingenieurmäßigen Bewertung entsprechender Feuerwiderstandsprüfungen erreicht werden.

