

# Feuerwiderstand von verzinkten Verbundträgern aus höher- und hochfesten Baustählen (IGF-Nr.: 21536 N)

Fire resistance of hot-dip galvanized high-strength structural steel

*Frenz, Justus; Zehfuß, Jochen; Firan, Mirabela; Mensinger, Martin; Kühne, Ronny; Feldmann, Markus*

## Abstract

The goal of this ongoing project (2021-2023) is to evaluate the fire resistance of composite girders with hot-dip galvanized high-strength structural steel. Current building regulations are updated based on research results (Dr. Gaigl [1]) to include a reduced surface emissivity of hot-dip galvanized steel for temperatures up to 500 °C. These characteristics were observed only at small scale thus far, so in the current project, the values are checked at large-scale and under loaded conditions in the fire test situation. With the recorded data from the fire tests, a finite element model will be validated and used for sensitivity analysis and parameter study. All results will generate a use-and-design-guide for the fire resistance design of composite girders with hot-dip galvanized steel.

## 1. Einführung

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung und Verifizierung einfach anzuwendender Regeln zur Bestimmung des Feuerwiderstandes von feuerverzinkten Verbundträgern aus hochfesten Baustählen im Brandfall. Die für eine Heißbemessung im Verbundbau gültige Norm DIN EN 1994-1-2 wird aktuell unter Berücksichtigung des positiven Effektes einer Feuerverzinkung im Brandfall überarbeitet, die in [1] festgestellt wurde. Durch eine kombinierte Anwendung des Verbundbaues unter Verwendung höher- und hochfester Stähle und einer Feuerverzinkung wird der Feuerwiderstand von Verbundkonstruktionen maßgeblich positiv beeinflusst. Dazu werden im Projekt für die Baupraxis wichtige wissenschaftliche Fragestellungen zur Ausbildung des Temperaturverlaufs über die Höhe des Stahlprofils eines feuerverzinkten Verbundträgers, zum Materialverhalten hochfester Stähle bei hohen Temperaturen, zum Erwärmungsverhalten von Anschlüssen feuerverzinkter Bauteile (auch in Kombination mit geschützten Bauteilen), zur Thematik einer möglichen Flüssigmetallversprödung von hochfesten Stählen im Brandfall und zur optimierten Ausbildung einfachsymmetrischer hybrider Verbundträgerquerschnitte geklärt.

Die Aufgaben umfassen somit eine allgemeine Voruntersuchung und den Aufbau von Finite-Element-Modellen in Arbeitspaket 1, die Ermittlung von temperaturabhängigen

Materialeigenschaften, insbesondere die Spannungs-Dehnungs-Beziehung bei erhöhten Temperaturen der verwendeten höher- und hochfesten Stahlsorten S460 und S690 als zweites Arbeitspaket sowie Untersuchungen zum rissfreien Feuerverzinkten von hochfesten Stählen und die Frage der Flüssigmetallversprödung unter Brandeinwirkung (Arbeitspaket 3). Das vierte Arbeitspaket umfasst einerseits großskalige Brandversuche von belasteten Verbundträgern sowie unbelastete Großversuche, in denen der Temperatureintrag von verzinkten Sekundärträgern in geschützte Primärträger durch verschiedene Anschlussstypen untersucht werden. Mit den gewonnenen Versuchsdaten werden als Arbeitspaket 5 numerische Untersuchungen und Parameterstudien zum Erwärmungs- und Tragverhalten von Verbundträgern durchgeführt. Aus diesen Ergebnissen wiederum werden Regeln und Empfehlungen für die optimierte Anwendung im Entwurf von Verbundträgern abgeleitet (Arbeitspaket 6) und anwenderfreundlich aufbereitet (Arbeitspaket 7).

## 2. Belastete Großversuche mit verzinkten Verbundträgern

An insgesamt sechs Verbundträgern mit verzinkten Stahlprofilen wurde das Trag- und Erwärmungsverhalten in Großversuchen am iBMB der TU Braunschweig untersucht.



Bild 1 Versuchsträger in Deckenprüfstand

Es wurden Träger mit sechs verschiedenen Stahlprofilen (jeweils zwei Standard-Walz-, Einfachsymmetrische und doppelsymmetrische Schweißprofile), zwei Stahlsorten (S460 und S690), zwei verschiedene Betongurtabmessungen (1,0 x 0,15 m und 1,0 x 0,20 m) geprüft. An jedem Träger wurde zudem ein Anschlussdetail mit einem kurzen Sekundärträger mittig angeordnet, um vergleichend

zu den unbelasteten Großversuchen (mit geschützten Primärträgern) den Wärmeeintrag in verzinkte Primär-Verbundträger messtechnisch zu erfassen. Alle Versuchsträger hatten die gleiche Spannweite (ca. 9,0 m), Kopfbolzendübelanzahl und -anordnung auf den Stahlträgern (Typ SD 1,  $\varnothing = 22$ ,  $l = 125$  mm) und Trapezblechprofil an der Betongurtunterseite (HR 51).

Jeder Träger wurde im Großversuch mit drei hydraulischen Pressen mechanisch belastet. Das Lastniveau wurde so vorgegeben, dass gemäß Din EN 1994-1-2 die Tragfähigkeit des Trägers nach 30 Minuten erreicht ist (R 30). Nach einer kurzen statischen Vorbelastungsdauer (ca. 20 Minuten) wurden die Träger solange der Brandbeanspruchung ausgesetzt (Einheits-Temperaturzeitkurve ETK), bis sie unzulässig große Verformungen bzw. Verformungsgeschwindigkeiten zeigten.

### 3. Ergebnisse der Großversuche

Im Versuchsverlauf wurden an ca. 130 Temperaturmessstellen je Versuchsträger das Erwärmungsverhalten im Betongurt, Kopfbolzendübeln, Stahlprofil, Sekundärträger und Anschluss erfasst. Außer- und innerhalb des Brandraums waren zudem Kameras, mit denen der Versuchsverlauf aufgezeichnet wurde.

In der Betonplatte blieben die Temperaturen (erwartungsgemäß) nach 30 Minuten ETK-Beflammung unter 250 °C. Die gemessenen Temperaturen der verzinkten Stahlprofile (Kategorie A und B) zeigen in einer ersten Auswertung, dass der vorgeschlagene Ansatz aus [1] mit einer temperaturabhängigen Emissivität zutreffend ist.

Tab. 1 Temperaturabhängige Emissivität verzinkter Stahlbauteil [2]

Bauteiltemperatur	Emissivität $\epsilon_m$
$\leq 500$ °C	0,35
$> 500$ °C	0,7

Zusätzlich wurden die Vertikalverformung in Trägermitte sowie Trägerlängsverformung und Schlupf zwischen Betonplatte und Stahlträger an den Trägerenden aufgezeichnet.

### 4. Auswirkung der Verzinkung auf die Erwärmung des Stahlprofils

Aus dem Forschungsvorhaben IGF-Nr. 21403 N (TUM, Hr. Tutzer) liegen Messwerte zur Erwärmung von unverzinkten Stahlträgern vor, die im gleichen Versuchsaufbau aufgezeichnet worden sind. Ein erster Vergleich der

Werte zeigt einen deutlichen Unterschied in der Geschwindigkeit der Erwärmung des ungeschützten Stahlträgers im Vergleich zum feuerverzinkten Profil.

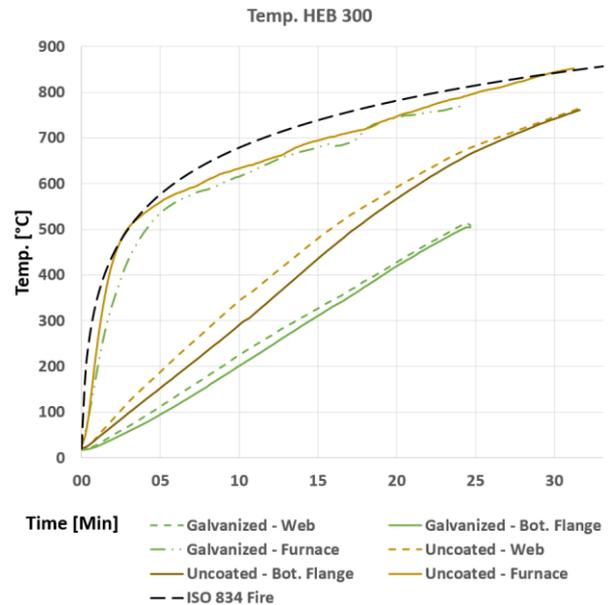


Bild 2 Vergleich des Erwärmungsverhalten eines verzinkten („Galvanized“) und eines ungeschützten („uncoated“) Stahlprofils (HEB300) im Verbundträger

### 5. Erkenntnisse und Ausblick

Nach Abschluss der Großversuche hat die ausführliche Auswertung der Versuchsdaten begonnen. Nachlaufend wurden aus den Versuchskörpern zudem Probestücke zur weiteren Analyse nach dem Brandversuch gesichert.

Mit Hilfe der Messdaten werden FEM-Modelle kalibriert und verifiziert, sodass eine breit angelegte Parameterstudie und Sensitivitätsanalyse der einzelnen Parameter durchgeführt werden kann.

Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse anwenderfreundlich in Regeln und Empfehlungen für die optimierte Anwendung der Feuerverzinkung als Möglichkeit der Verbesserung der Feuerwiderstandsdauer verzinkter Stahlbauteile aufbereitet.

Kontakt: J. Frenz (Mail: [j.frenz@ibmb.tu-bs.de](mailto:j.frenz@ibmb.tu-bs.de))

### 6. Literatur

- /1/ Gaigl, C. (2019) Fire resistance of hot-dip galvanized steel structures; Dissertation
- /2/ DASt-Richtlinie 027 – 2020-11