

## Ausgabe 2022/4

### Mechanische Materialeigenschaften für die Abklingphase von Naturbrandszenarien (CoolFire) | AiF Nr.: 20915 N

#### Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF Nr.: 20915 N

Für die sichere und wirtschaftliche Bemessung von Stahlkonstruktionen des Hoch- und Industriebaus stellt die Brandbemessung einen bedeutenden Aspekt dar. Die Tragfähigkeit einer Struktur im Brandfall hängt von ihrer Fähigkeit ab, mechanischen und thermisch induzierten Beanspruchungen trotz der Verringerung der Werkstofffestigkeit und -steifigkeit standzuhalten. In der Praxis werden zusätzlich zu vereinfachten Bemessungsverfahren zunehmend erweiterte Berechnungsmethoden zur Bemessung verwendet. Erweiterte Bemessungsverfahren unter Berücksichtigung von Naturbrand-szenarien haben das Potential die Planungssicherheit zu erhöhen und die Kosten und Aufwendungen für Brandschutzmaßnahmen zu reduzieren. Eine wichtige Grundlage der Berechnung sind geeignete konstitutive Werkstoffmodelle, welche das Verhalten von Stählen während des gesamten Brandes realitätsnah abbilden. Dies schließt die Abkühlphase von Naturbrandszenarien und das Werkstoffverhalten nach einem Brandereignis mit ein.

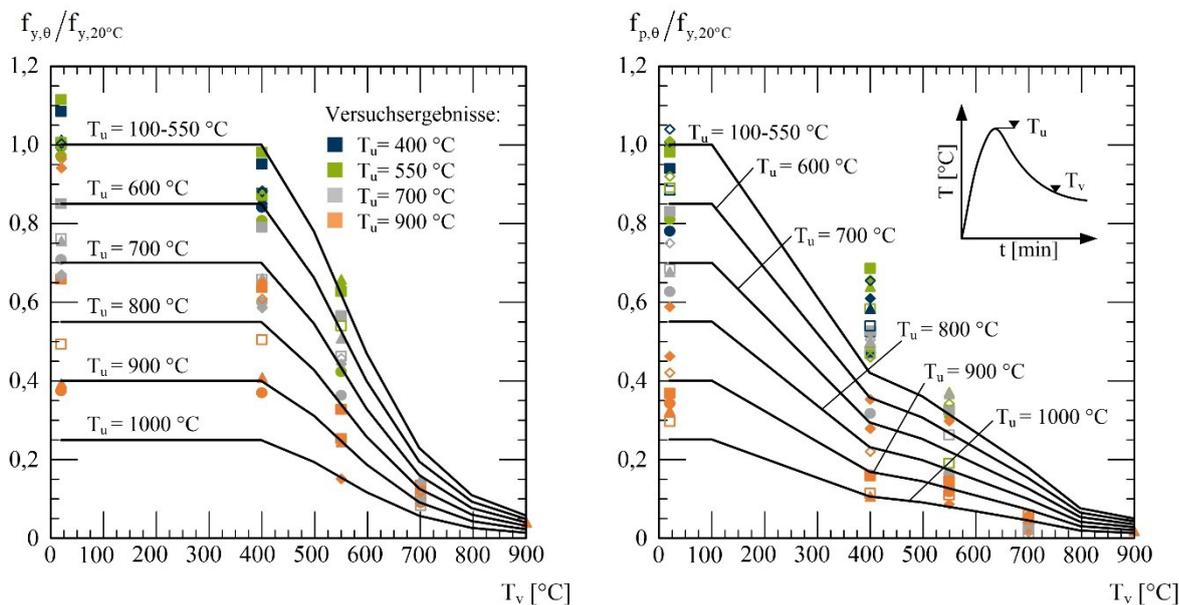
Zur Beschreibung des temperaturabhängigen Werkstoffverhaltens von Baustahl für eine Brandbemessung ist in EN 1993-1-2 ein Spannungs-Dehnungs-Modell einschließlich Abmin-

derungsfaktor-Temperatur-Beziehungen gegeben. Für normalfesten Baustahl darf dieses im Rahmen erweiterter Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung von Naturbrandkurven sowohl für die Aufheiz resp. Vollbrandphase als auch für die Abkühlphase verwendet werden. Im Zuge der Weiterentwicklung des Eurocodes 3 zur nächsten Generation erfolgt in prEN 1993-1-2 eine Ausweitung der Anwendungsgrenzen des mechanischen Werkstoffmodells auf Baustahl bis einschließlich S700. Mangels Forschungsergebnissen bezüglich des Abkühlverhaltens höherfester Baustähle ist diese Erweiterung jedoch für Stahlgüten oberhalb S500 zunächst auf die Aufheiz- und Vollbrandphase beschränkt. Eine zutreffende Beschreibung des Werkstoffverhaltens letzterer Baustähle auch in der Abkühlphase von Naturbränden ist erstrebenswert. Vor diesem Hintergrund wurde das Werkstoffverhalten normal-, höher sowie höchstfesten Baustahls im Brandfall systematisch untersucht, wobei insbesondere die Abkühlphase von Naturbränden betrachtet wurde.

Es wurden umfangreiche Naturbrandversuche an normalfestem Baustahl S355 J2+N sowie höherfestem, vergütetem Baustahl S690QL und höchstfestem Baustahl S960QL durchgeführt und zudem eine Datenbasis zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustahl unter Temperaturbeanspruchung aus Ergebnissen von Zugversuchen an normal- und höherfesten Baustählen bei erhöhten Temperaturen aus der Literatur erstellt und ausgewertet. Auf Grundlage der Datenbasis sowie Versuchsergebnissen wurde das konstitutive Werkstoffmodell für Baustahl im Brandfall nach prEN 1993-1-2 kritisch bewertet und weiterentwickelt.

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass normalfester Baustahl S355 nach einem Brand ein nahezu vollständig reversibles Verhalten aufweist, sofern die Temperatur im Brandverlauf die A1-Temperatur nicht überschreitet, sodass das konstitutive Werkstoffmodell nach prEN 1993-1-2 grundsätzlich das temperaturabhängige Verhalten normalfesten Baustahls während aller Brandphasen zutreffend beschreibt. Für eine Anwendung auf höherfesten, vergüteten Baustahl in der Aufheiz- und Vollbrandphase eines Brandfalls hat sich das Modell ebenfalls als geeignet erwiesen. Es wurde jedoch festgestellt, dass das Abkühlverhalten höherfester Baustähle verschieden zu demjenigen normalfesten Baustahls ist. Die Steifigkeit des Werkstoffs ist zwar ebenfalls nach

einer Temperatureinwirkung vollständig reversibel, jedoch hängt die Rückentwicklung der Festigkeit maßgeblich von der Maximaltemperatur während der Erwärmungsphase ab. Höhere Temperaturen führen hier dazu, dass die initiale Festigkeit nach vollständigem Abkühlen nicht wieder erreicht werden kann. Dies konnte auch bereits bei Temperaturen unterhalb der A1 Temperatur beobachtet werden. Auf Grundlage der Versuchsergebnisse wurde ein Modellvorschlag für eine Anwendung auf höherfesten Baustahl während der Abkühlphase von Naturbrandszenarien erarbeitet (siehe Bild 1). Dafür wurde das bestehende Werkstoffmodell nach prEN 1993-1-2 durch eine zusätzliche Abminderungsfaktor-Temperatur-Beziehung in Abhängigkeit von der erreichten Maximaltemperatur der Aufheiz-/ resp. Vollbrandphase für die Festigkeitsentwicklung während des Abkühlens erweitert. Durch die Integration der zusätzlichen Abminderungsfaktor-Temperatur-Beziehung mittels tabellarischer Werte oder optional einfacher linearer Gleichungen in das bereits bekannte Werkstoffmodell für Baustahl im Brandfall wird eine einfache Handhabung für die Ingenieurpraxis ermöglicht. Planungsbüros und Stahlbauunternehmen, welche überwiegend KMU sind, steht damit ein einfaches, auf bekannten Verfahren aufbauendes, Tool für die Brandbemessung zur Verfügung, welches unmittelbar und ohne Zusatzaufwand eingesetzt werden kann.



$$f_{y,\theta,c} = g(T_u) \cdot f_{y,\theta} = g(T_u) \cdot k_{y,\theta} \cdot f_{y,20^\circ\text{C}}$$

$$f_{p,\theta,c} = g(T_u) \cdot f_{p,\theta} = g(T_u) \cdot k_{p,\theta} \cdot f_{y,20^\circ\text{C}}$$

c = „cooling“

mit:

$T_u$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
$g(T_u)$	1	1	1	1	1	1	0.85	0.70	0.55	0.40	0.25	0.10	0

alternativ mit:

$$T_u \leq 500^\circ\text{C} : g(T_u) = 1,0$$

$$T_u > 500^\circ\text{C} : g(T_u) = 1,75 - 1,5 \frac{T_u}{1000}$$

**Bild 1: Modellvorschlag zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens höherfester Baustähle in der Abkühlphase von Naturbränden**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages