

**Grundlagendokument zu
steeltec 02:2015
Brandschutz
im Stahlbau**

Impressum

SZS Publikation C2.6:2015

Herausgeber:

SZS Stahlbau Zentrum Schweiz
Seefeldstrasse 25
CH-8008 Zürich

Erarbeitet durch:

Prof. Dr. Mario Fontana, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, IBK
Patrick Schulthess, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, IBK
Antonio Ferrarese, Stahlbau Zentrum Schweiz, SZS

SZS-Publikation C2.6:2015

Version 1.0

Letzte Überarbeitung: 05.08.2016

C2_6_Grundlagendokument_steeltec_02_15_d_05082016

Inhalt

I	Brandschutz im Stahlbau	
1	Einleitung	1
2	Erwärmungskurven	2
2.1	Ungeschützte Profile	2
2.2	Geschützte Profile	3
3	Kritische Temperatur	4
3.1	Zugbeanspruchte Bauteile und Träger	4
3.2	Druckbeanspruchte Bauteile	4
4	Approximation zur Berechnung des modifizierten Profilkoeffizienten	7
Anhang		
1	Bezeichnungen	A1
2	Literaturverzeichnis	A2

1 Einleitung

In der Publikation steeltec 02:2015 werden verschiedene Berechnungsverfahren und Arbeitshilfen für die Brandbemessung vorgestellt. Unter anderem sind in der Publikation Tabellen für die kritische Temperatur druckbeanspruchter Bauteile sowie das Nomogramm mit den Erwärmungskurven für geschützte und ungeschützte Stahlprofile zu finden. Ziel dieses Dokumentes ist es, die Hintergrundinformationen und Berechnungsgrundlagen der Publikation steeltec 02:2015 festzuhalten und zu dokumentieren.

Sämtliche gezeigten Nachweise basieren auf den Normen EN 1991-1-2 und EN1993-1-2 und sind mit der Norm SIA 263:2013 im Einklang.

2 Erwärmungskurven

2.1 Ungeschützte Stahlprofile

Die Erwärmungskurven für ungeschützte Stahlprofile wurden mit dem Zeitschrittverfahren gemäss EN 1993-1-2 Ziffer 4.2.5.1 erstellt:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t$$

Für das Zeitintervall Δt wurde der in EN 1993-1-2 Ziffer 4.2.5.1 (4) vorgeschlagene Maximalwert von 5 Sekunden verwendet. Das Zeitschrittverfahren ist gemäss EN 1993-1-2 Ziffer 4.2.5.1(5) für Profilmfaktoren $A_m/V \geq 10 \text{ m}^{-1}$ anwendbar. Im Folgenden werden die für die Berechnung benötigten Grundlagen erläutert sowie die verwendeten Parameter angegeben.

2.1.1 Abschattungsfaktor (k_{sh})

Die Erwärmungskurven wurden für einen Abschattungsfaktor von 1.0 erstellt.

2.1.2 Spezifische Wärmekapazität (c_a)

Die spezifische Wärmekapazität von Stahl wurde gemäss den in EN 1993-1-2 Ziffer 3.4.1.2 temperaturabhängigen Gleichungen berücksichtigt.

2.1.3 Dichte von Stahl (ρ_a)

Die Dichte von Stahl ρ_a wurde gemäss EN 1993-1-2 Ziffer 3.2.2 (1) zu 7850 kg/m^3 angesetzt.

2.1.4 Nettowärmestrom (\dot{h}_{net})

Der Nettowärmestrom muss gemäss EN 1991-1-2 Ziffer 3.1(2) unter Berücksichtigung der Wärmeübertragung durch Konvektion und Strahlung ermittelt werden:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}$$

wobei:

Formel	Normbezug
$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m)$	EN 1991-1-2 / 3.1 (3)
$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4]$	EN 1991-1-2 / 3.1 (6)

Die folgenden Parameter wurden verwendet um den Nettowärmestrom zu berechnen:

Bezeichnung	Wert	Einheit	Normbezug
Emissivität der Flamme ε_f	1.0	-	EN 1993-1-2 / 4.2.5.1 (3)
Emissivität der Baustahloberfläche ε_m	0.7	-	EN 1993-1-2 / 2.2 (2)
Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient α_c	25	W/(m ² K)	EN 1991-1-2 / 3.2.1 (2)
Konfigurationsfaktor ϕ	1.0	-	EN 1991-1-2 / 3.1 (7)

2.2 Geschützte Stahlprofile

Die Erwärmungskurven für geschützte Stahlprofile wurden mit dem Zeitschrittverfahren gemäss EN 1993-1-2 Ziffer 4.2.5.2 erstellt. Für das Zeitintervall Δt wurde ein Wert von 5 Sekunden gewählt. Der gemäss 4.2.5.2 (3) maximal zulässige Wert für das Zeitintervall von 30 Sekunden ist somit eingehalten. Die Temperaturänderung pro Zeitintervall berechnet sich nach Eurocode zu:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p c_a \rho_a \left(1 + \frac{\phi}{3}\right)} \Delta t - \left(e^{\frac{\phi}{10}} - 1\right) \Delta\theta_{g,t}$$

(aber $\Delta\theta_{a,t} \geq 0$ wenn $\Delta\theta_{g,t} > 0$)

mit:

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p / V$$

1.1.1 Dimensionslose Wärmekapazität (ϕ)

Die dimensionslose Wärmekapazität nach EN 1993-1-2 Ziffer 4.2.5.2 wird für die Erstellung der Nomogramme vernachlässigt ($\phi=0$). Diese Vereinfachung liefert konservative Ergebnisse.

2.2.1 Spezifische Wärmekapazität (c_a)

Die spezifische Wärmekapazität von Stahl wurde gemäss den in EN 1993-1-2 Ziffer 3.4.1.2 temperaturabhängigen Gleichungen berücksichtigt.

2.2.2 Dichte von Stahl (ρ_a)

Die Dichte von Stahl ρ_a wurde gemäss EN 1993-1-2 Ziffer 3.2.2 (1) zu 7850 kg/m³ angesetzt.

3 Kritische Temperatur

3.1 Zugbeanspruchte Bauteile und Träger

Die Kurven für die kritische Temperatur in Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades wurden gemäss EN 1993-1-2 Ziffer 4.2.4 erstellt. Der Anpassungsfaktor κ , abgeleitet aus Vergleichen mit Ofenversuchen, trägt der ungleichmässigen Temperaturverteilung über den Querschnitt (κ_1) und entlang der Stabachse (κ_2) bei Trägern Rechnung. $\kappa = \kappa_1 \cdot \kappa_2$

Die Anpassungsfaktoren werden wie folgt angesetzt [5]:

Anpassungsfaktor κ_1 (Temperaturverteilung im Trägerquerschnitt):

- allseitig dem Feuer ausgesetzt: $\kappa_1 = 1.00$
- dreiseitig dem Feuer ausgesetzt, ungeschützt mit Betonplatte auf der 4. Seite $\kappa_1 = 0.70$
- dreiseitig dem Feuer ausgesetzt, brandgeschützt mit Betonplatte auf der 4. Seite $\kappa_1 = 0.85$

Anpassungsfaktor κ_2 (Temperaturverteilung entlang des Trägers):

- an den Auflagern statisch unbestimmt gelagerter Träger: $\kappa_2 = 0.85$
- in allen anderen Fällen $\kappa_2 = 1.00$

Für μ_0 ist in EN 1993-1-2 / 4.2.4 jeweils $\mu_{0,fi} \cdot \kappa$ einzusetzen. Damit ergeben sich die Kurven für die kritische Temperatur auf der linken Seite des Nomogramms.

3.2 Druckbeanspruchte Bauteile

3.2.1 Berechnungsvorgehen für die Tabellen (Abb. 47 bis 49 steeltec 02:2015)

Die Diagramme für die kritische Temperatur für druckbeanspruchte Bauteile mit verschiedenen Verhältnissen zwischen Knicklänge im Brandfall zu Knicklänge im Kaltzustand können nach EN 1993-1-2 Ziffer 4.2.3.2 berechnet werden. Für die Berechnung der Kurven wird für gegebene kritische Temperaturen θ_{crit} die zulässige Ausnutzung $\mu_{fi,0}$ berechnet. Als Eingangsparameter in die Diagramme sind Eingangsgrössen $\bar{\lambda}_{0,fi}$, θ_{crit} und f_y vorgegeben.

Materialabhängiger Parameter:

$$\alpha = 0.65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Mit den Eingangsgrössen $\bar{\lambda}_{0,fi}$ und θ_{crit} kann folgender Berechnungsgang durchgeführt werden:

$$\bar{\lambda}_{0,fi} = \frac{L_{K,fi}}{i} \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{E/f_y}}$$

Dabei bezeichnet $L_{K,fi}$ die Knicklänge für das System im Brandfall.

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda}_{0,fi} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right]^{0.5}$$

$$\phi_{\theta} = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2]$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_{\theta} + \sqrt{\phi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}}$$

Dabei wird die Berechnung einmal für $\theta = 20^{\circ}\text{C}$ und einmal für die gewählte Temperatur θ_{crit} ausgeführt. Aus der Berechnung resultieren die Grössen:

$$\chi_{fi,\theta=20^{\circ}}$$

und

$$\chi_{fi,\theta=\theta_{crit}}$$

Der Knickwiderstand bei einer Temperatur von 20°C beträgt gemäss EN 1993-1-2 Ziffer 4.2.3.2:

$$N_{b,fi,0,Rd} = \chi_{fi,\theta=20^{\circ}\text{C}} \cdot A \cdot k_{y,\theta=20^{\circ}\text{C}} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}$$

Bei einer beliebigen Temperatur θ_{crit} beträgt der Knickwiderstand:

$$N_{b,fi,\theta_{crit},Rd} = \chi_{fi,\theta=\theta_{crit}} \cdot A \cdot k_{y,\theta=\theta_{crit}} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}$$

Die einwirkende Normalkraft im Brandfall lässt sich mit der folgenden Definition berechnen:

$$\mu_{fi,0} = \frac{N_{fi,Ed}}{N_{fi,0,Rd}} \Rightarrow N_{fi,Ed} = \mu_{fi,0} \cdot N_{fi,0,Rd}$$

Der Versagenszustand ist erreicht, wenn die einwirkende Normalkraft dem Knickwiderstand im Brandfall entspricht. Somit gilt:

$$1 = \frac{N_{fi,Ed}}{N_{fi,\theta_{crit},Rd}} = \frac{\mu_{fi,0} \cdot N_{fi,0,Rd}}{N_{fi,\theta_{crit},Rd}} = \frac{\mu_{fi,0} \cdot \chi_{fi,\theta=20^{\circ}\text{C}} \cdot A \cdot k_{y,\theta=20^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}{\chi_{fi,\theta=\theta_{crit}} \cdot A \cdot k_{y,\theta=\theta_{crit}} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}$$

Vereinfachen des obigen Ausdrucks und Auflösen nach $\mu_{fi,0}$ ergibt:

$$\mu_{fi,0} = \frac{k_{y,\theta=\theta_{crit}} \cdot \chi_{fi,\theta=\theta_{crit}}}{\chi_{\theta=20^{\circ}\text{C}}}$$

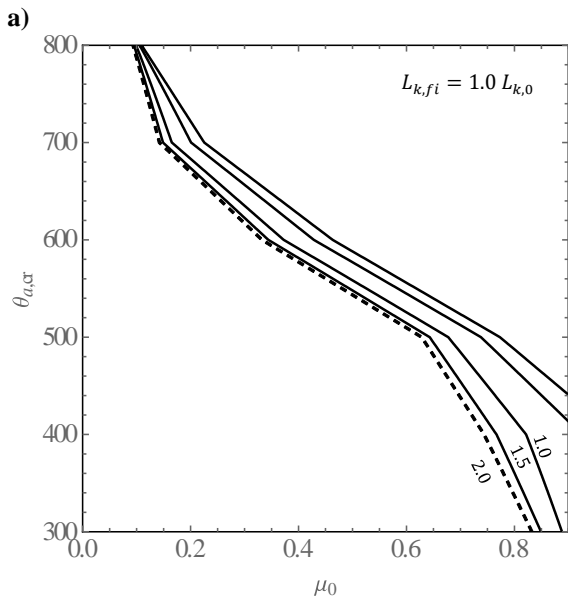
Für beliebige Temperaturen, kann mit diesem Vorgehen der zulässige Ausnutzungsgrad berechnet werden.

3.2.2 Resultate

Wir das im vorhergehenden Kapitel beschriebene Berechnungsverfahren für Stahl S235 sowie verschiedene Schlankheiten $\bar{\lambda}_0$ und Verhältnisse von Knicklänge im Kalt- zum Brandfall angewendet, so können die Diagramme und Tabellen für die kritischen Temperaturen in Bild 1 berechnet werden. Diese Diagramme können in guter Näherung auch für Stahl S355 angewendet werden. Die Eingangsgrössen für die Diagramme bzw. Tabellen werden wie folgt berechnet:

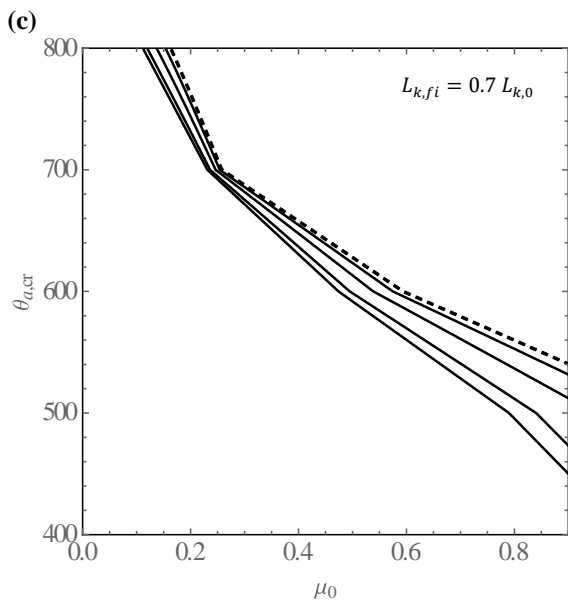
$$\bar{\lambda}_0 = \frac{L_{k,0}}{i} \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{E/f_y}} \qquad \mu_{fi,0} = \frac{N_{d,fi}}{N_{Rd,fi,t=0}}$$

Wobei hier für $\bar{\lambda}_0$ bzw. $L_{k,0}$ die Knicklänge bei Raumtemperatur bzw. in der Regel die Geschosshöhe eingesetzt wird.



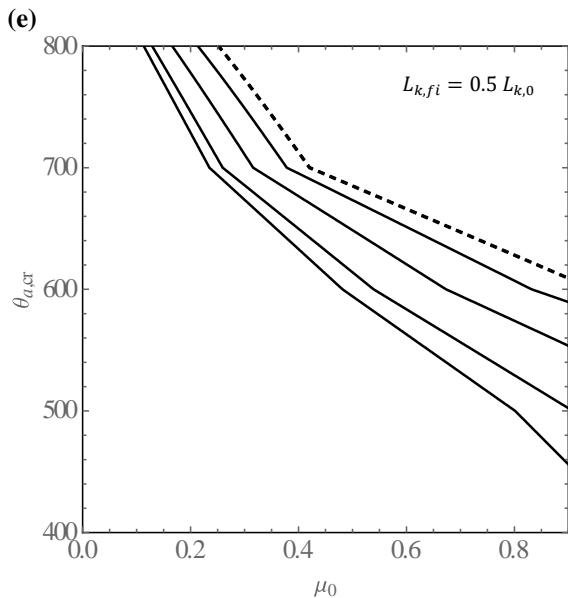
(b)

$\bar{\lambda}_0$										
$\mu_{fi,0}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.20	718	708	697	690	683	679	675	673	671	670
0.25	687	682	674	666	659	653	649	646	644	643
0.30	666	660	652	643	635	627	624	621	617	617
0.35	645	638	629	619	610	603	599	596	595	594
0.40	623	616	607	597	591	586	582	580	578	577
0.45	602	596	589	581	574	569	566	563	561	560
0.50	585	580	573	565	558	553	549	546	544	543
0.55	569	564	557	549	542	536	532	529	527	526
0.60	553	548	540	532	525	519	515	513	511	509
0.65	537	532	524	516	509	503	498	491	485	481
0.70	521	515	508	500	484	470	458	450	443	438



(d)

$\bar{\lambda}_0$										
$\mu_{fi,0}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.20	727	730	733	738	744	749	753	757	760	762
0.25	692	693	695	697	698	699	702	705	707	708
0.30	672	674	675	679	680	682	685	686	685	687
0.35	652	654	657	661	664	667	669	670	671	672
0.40	631	634	638	643	647	651	653	655	656	657
0.45	611	615	619	625	630	634	637	640	641	642
0.50	593	596	600	607	613	618	621	624	626	627
0.55	577	581	586	592	597	601	606	609	611	613
0.60	562	566	572	579	585	589	593	595	597	598
0.65	546	552	558	566	573	578	582	585	587	589
0.70	531	537	544	553	560	567	572	575	577	579



(f)

$\bar{\lambda}_0$										
$\mu_{fi,0}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.20	732	741	752	764	778	791	805	827	845	859
0.25	696	701	713	728	744	759	773	784	793	802
0.30	676	682	689	695	709	726	741	753	763	771
0.35	656	663	672	681	690	698	710	724	734	743
0.40	636	645	654	665	676	685	692	697	703	712
0.45	617	626	637	650	662	673	681	687	691	694
0.50	597	607	620	634	648	660	669	676	681	685
0.55	582	591	603	619	634	647	658	665	671	675
0.60	567	577	589	603	620	635	646	655	661	666
0.65	552	563	576	591	606	622	635	644	651	656
0.70	537	549	563	579	594	609	623	633	641	647

Bild 1: Kritische Temperatur in Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades, (a) $L_{k,fi} = 1.0 L_{k,0}$ für S235 Diagramm; (b) Tabellenform; (c) $L_{k,fi} = 0.7 L_{k,0}$ für S235 Diagramm (d) Tabellenform; (e) $L_{k,fi} = 0.5 L_{k,0}$ für S235 Diagramm; (f) Tabellenform;

4 Approximation zur Berechnung des modifizierten Profilmfaktors

Die Berechnung der Erwärmungskurven von geschützten Stahlprofilen erfolgt nach dem in Kapitel 2.2 beschriebene Zeitschrittverfahren. Um die isolierende Wirkung der Brandschutzverkleidung zu berücksichtigen kann bei der Berechnung der Erwärmungskurve mit dem Zeitschrittverfahren der Wert von ϕ gemäss EN 1993-1-2 Ziffer 4.2.5.2 berücksichtigt werden wobei ϕ eine Funktion der Temperatur ist. Die Erwärmungskurven für geschützte Stahlprofile in den Nomogrammen wurden auf der sicheren Seite liegend für $\phi = 0$ erstellt. Dies ist konservativ, da sich die Stahlprofile mit dieser Vereinfachung in der gleichen Zeit stärker erwärmen und somit von einer ungünstigeren Situation ausgegangen wird, als sie tatsächlich vorliegt. Um dem Benutzer des Nomogramms nun aber zu ermöglichen, die isolierende Wirkung der Brandschutzverkleidung zu berücksichtigen, wird im steeltec 02:2015 der modifizierte Profilmfaktor verwendet. Mit dieser Näherung und den publizierten Nomogrammen kann die isolierende Wirkung der Brandschutzverkleidung im relevanten Temperaturbereich von 300°C bis 700°C ausreichend genau approximiert werden, ohne dass die aufwändige Berechnung mit dem Zeitschrittverfahren durchgeführt werden muss. In der Literatur sind zwei verschiedene Vorschläge für den modifizierten Profilmfaktor zu finden nämlich:

Variante A (ECCS [3]):

$$\frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\phi}{2}}$$

Variante B (EN1993-1-2 [1] bzw. SIA 263:2015 [6]):

$$\frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\phi}{3}}$$

wobei ϕ im Zusammenhang mit der Approximation wie folgt berechnet werden muss:

$$\phi = \frac{c_p \cdot \rho_p \cdot d_p}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \frac{A_p}{V}$$

Weiter ist zu beachten, dass die spezifische Wärmekapazität des Stahls im Zusammenhang mit der Approximation nicht temperaturabhängig, sondern konstant zu 600 J/(kg · K) angenommen wird. Die Dichte des Stahls beträgt 7850 kg/m³.

Für die Publikation steeltec 02:2015 wurde untersucht, welche der beiden Approximationen die Berechnung mit temperaturabhängigem ϕ -Wert besser approximiert. Dazu wurden Erwärmungskurven für zwei gängige Isolationstypen unterschiedlicher Stärke und mit verschiedenen Profilmfaktoren miteinander verglichen. Für den Vergleich wurden die Erwärmungskurven für $\phi=0$ (gestrichelte Linie), $\phi \neq 0$ (gezogene Linie) und die Approximationen gemäss Variante A (rote Linie) bzw. Variante B (blaue Linie) berechnet. Zusätzlich wurde das Verhältnis der mit der Approximation erhaltenen Erwärmungskurven zur exakten Kurve mit temperaturabhängigem ϕ berechnet. Wäre die Approximation perfekt, so müsste dieses Verhältnis konstant bei 1.0 liegen.

Der Vergleich der beiden Approximationen zeigt:

- Die Näherung gemäss Variante A liefert im relevanten Temperaturbereich von 300°C bis 700°C die besseren Resultate und weicht nur minimal von der Erwärmungskurve aus der exakten Berechnung mit dem Zeitschrittverfahren und temperaturabhängigem ϕ ab.
- Die Näherung gemäss Variante B liefert tendenziell höhere Stahltemperaturen. Die Näherung liefert somit konservative Ergebnisse.
- Die Erwärmung der Stahlprofile mit den Näherungen gemäss Variante A und B wird im Temperaturbereich unter 300°C relativ stark überschätzt und ist dort deutlich weniger genau. Die Näherung liefert somit konservative Ergebnisse.
- Im Temperaturbereich von über 700°C kann die Stahltemperatur mit Variante A unterschätzt werden. Im relevanten Temperaturbereich ist die Approximation gemäss Variante A aber besser.

Aus den oben genannten Gründen wird im steeltec 02/2015 die Approximation gemäss Variante A verwendet.

Brandschutzverkleidung Typ 1 (Spritzputz)

$$\rho_p = 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \lambda_p = 0.12 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad c_p = 1200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \quad d_p = 20 \text{ mm}$$

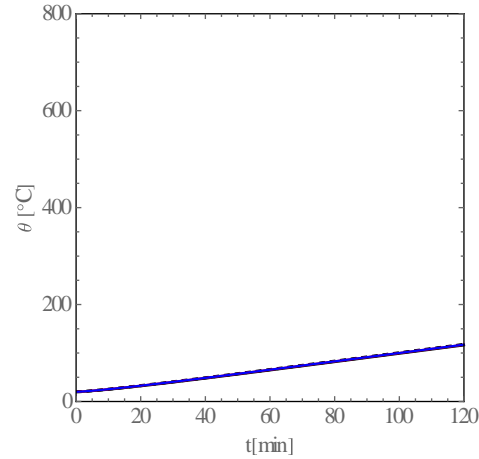
$A_p / V = 10$

$A_p / V = 100$

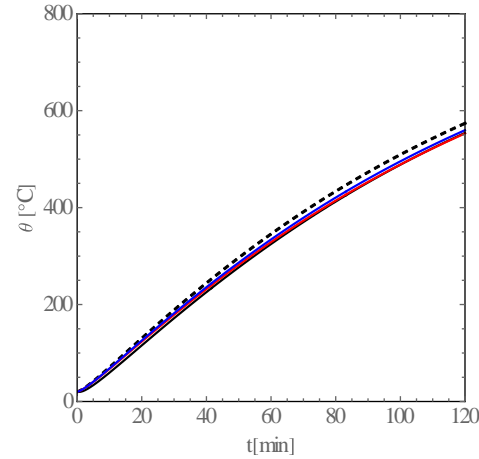
$A_p / V = 200$

$A_p / V = 300$

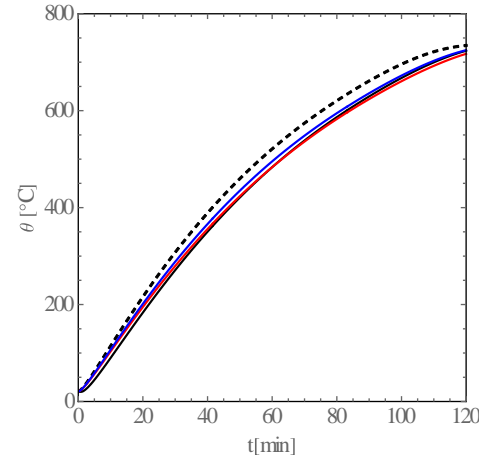
Erwärmungskurven



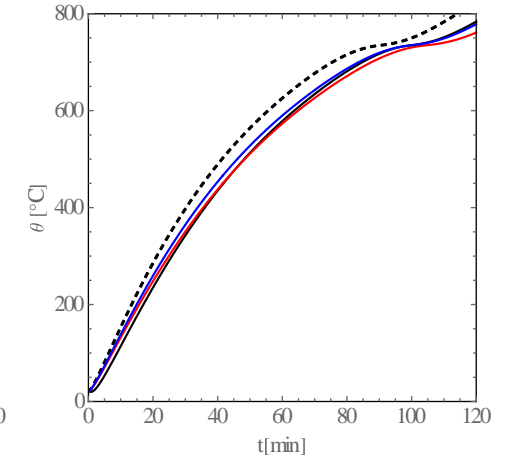
Erwärmungskurven



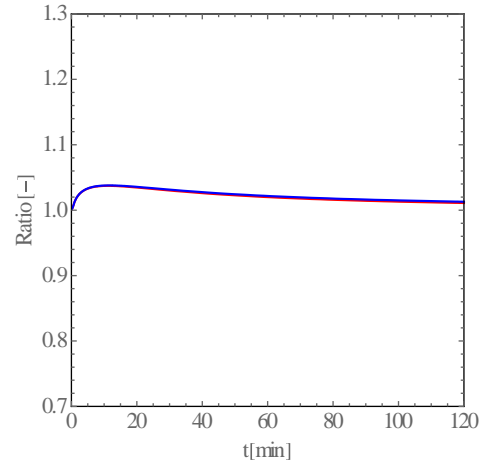
Erwärmungskurven



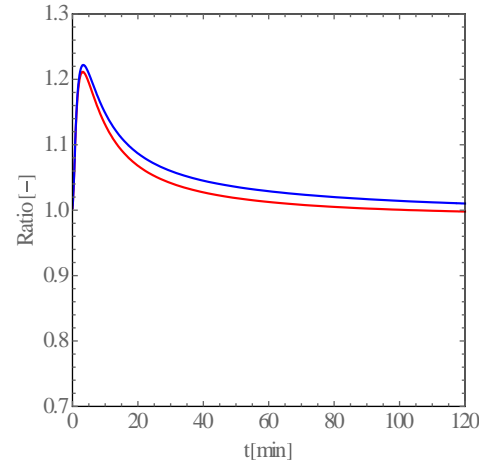
Erwärmungskurven



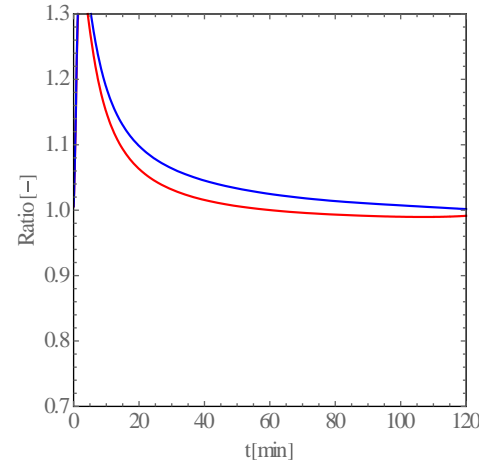
Verhältnis Approximation zu exakter Berechnung



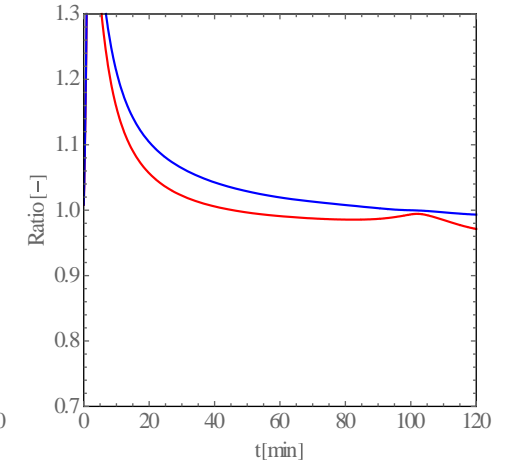
Verhältnis Approximation zu exakter Berechnung



Verhältnis Approximation zu exakter Berechnung



Verhältnis Approximation zu exakter Berechnung



Variante A / Variante B / Berechnung mit $\phi(\theta)$ gezogene Linie schwarz / Berechnung mit $\phi=0$ gestrichelte Linie schwarz

Brandschutzverkleidung Typ 2 (Gipskarton)

$$\rho_p = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \lambda_p = 0.20 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad c_p = 1200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \quad d_p = 20 \text{ mm}$$

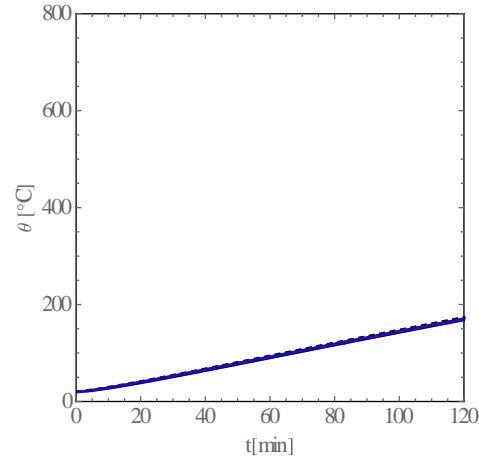
$A_p / V = 10$

$A_p / V = 100$

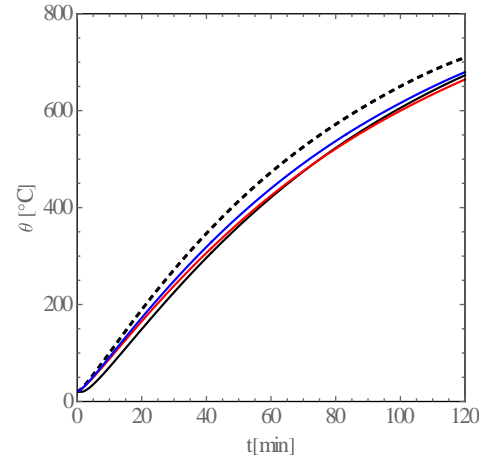
$A_p / V = 200$

$A_p / V = 300$

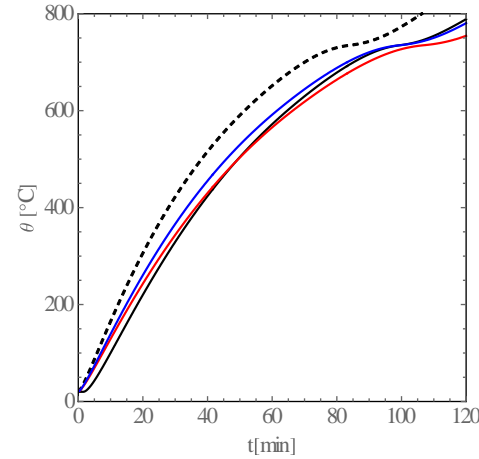
Erwärmungskurven



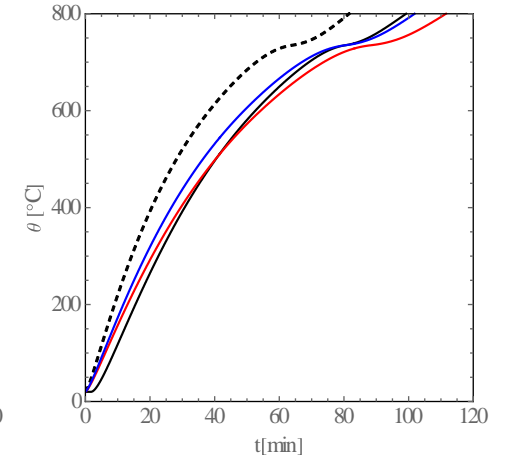
Erwärmungskurven



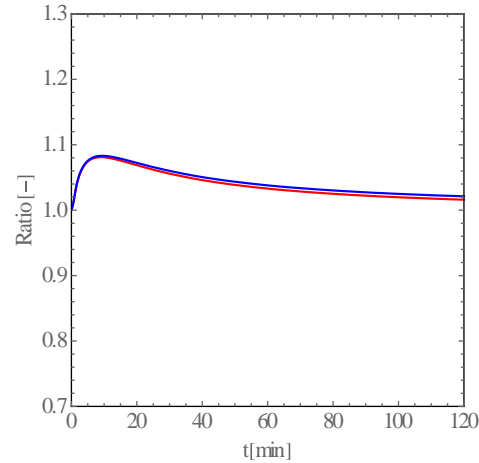
Erwärmungskurven



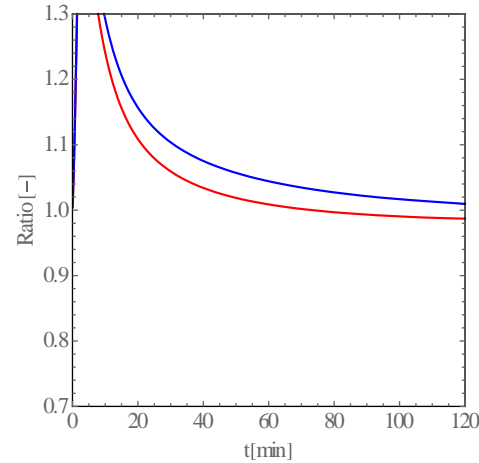
Erwärmungskurven



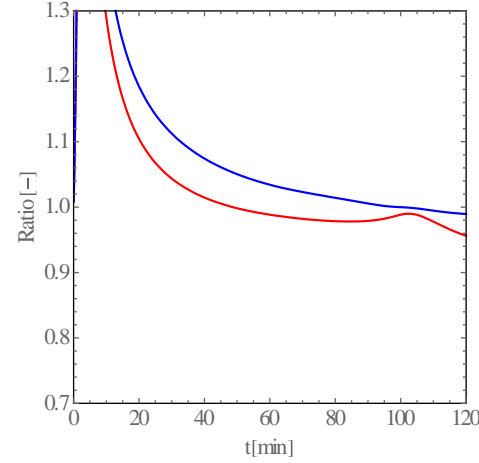
Verhältnis Approximation zu exakter Berechnung



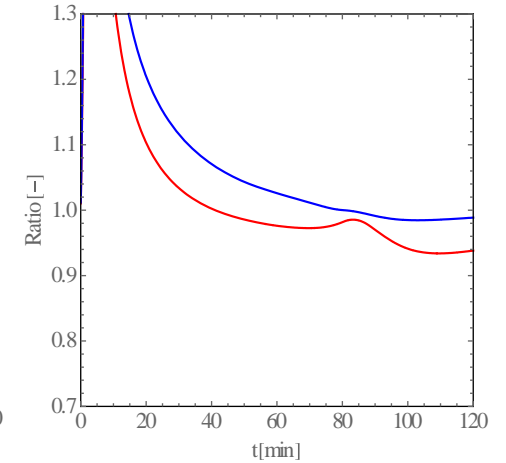
Verhältnis Approximation zu exakter Berechnung



Verhältnis Approximation zu exakter Berechnung



Verhältnis Approximation zu exakter Berechnung



Variante A / Variante B / Berechnung mit $\phi(\theta)$ gezogene Linie schwarz / Berechnung mit $\phi=0$ gestrichelte Linie schwarz

5 Bezeichnungen

5.1 Lateinische Kleinbuchstaben

c_a	spezifische Wärmekapazität von Stahl
c_p	spezifische Wärmekapazität der Verkleidung
d_p	Dicke der Brandschutzbekleidung
f_y	Flie遢spannung Stahl
\dot{h}_{net}	Nettowärmestrom
$\dot{h}_{net,c}$	Netto-Wärmestrom durch Wärmeübertragung
$\dot{h}_{net,r}$	Netto-Wärmestrom durch Wärmestrahlung
k_{sh}	Abschattungsfaktor
Δt	Zeitintervall
t	Zeit

5.2 Lateinische Grossbuchstaben

A_m	Mantelfläche des ungeschützten Profils
A_p	Mantelfläche der Verkleidung
$L_{k,fi}$	Knicklänge im Brandfall
$L_{k,0}$	Knicklänge bei Raumtemperatur
V	Volumen des Stahlprofils

5.3 Griechische Kleinbuchstaben

α	Knickkurvenbeiwert
α_c	Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient
$\Delta\theta_{a,t}$	Änderung der Stahltemperatur innerhalb eines Zeitschritts
ε_f	Emissivität der Flamme
ε_m	Emissivität der Baustahloberfläche
$\theta_{a,t}$	Stahltemperatur zum Zeitpunkt t
$\theta_{g,t}$	Lufttemperatur zum Zeitpunkt t
κ	Kalibrierungsfaktor

λ_p	Wärmeleitfähigkeit Brandschutzsystem
$\bar{\lambda}_0$	bezogene Schlankheit für das System im Kaltzustand
$\bar{\lambda}_{0,fi}$	bezogene Schlankheit für das System im Brandfall
$\bar{\lambda}_\theta$	bezogene Schlankheit bei der Temperatur θ
μ_0	Ausnutzungsgrad im Kaltzustand
ρ_a	Rohdichte des Stahls
ρ_p	Rohdichte der Brandschutzbekleidung
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante
ϕ	Konfigurationsfaktor
χ_{fi}	Abminderungsfaktor für Knicken

5.4 Griechische Grossbuchstaben

θ_g	Gastemperatur in Bauteilumgebung
θ_m	Bauteiloberflächentemperatur in °C
θ_r	Wirksame Strahlungstemperatur des Brandes in °Celsius.

6 Literaturverzeichnis

- [1] EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [2] EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke
- [3] ECCS, „Explanatory Document for ECCS No. 89 “Euro-Nomogram” Fire Resistance of Steel Structures”, No. 92, 1999
- [4] Mensinger M., Stadler M., „Aktualisierte Diagramme zur Bemessung von Stahlkonstruktionen für den Brandfall nach Eurocode 3“, Stahlbau 78 (2009) Heft 4
- [5] Stahlbau Zentrum Schweiz, steeldoc 03/15 tec 02:2015, „Brandschutz im Stahlbau“
- [6] Norm SIA 263:2013 - Stahlbau