

Thermische Analyse zur Beurteilung der Tragfähigkeit im Brandfall

Validierung numerischer Berechnungen

Erstellt von:



Sinfiro 2020-05-05/PAF
BRANDSCHUTZINGENIEURE

Az.:

Sinfiro GmbH & Co. KG

Ebertstraße 2
72336 Balingen

Telefon: +49 (0) 74 33 99 98 - 0

Telefax: +49 (0) 74 33 99 98 - 998

www.sinfiro.de | info@sinfiro.de

Dieses Dokument umfasst 12 Seiten.

INHALTSVERZEICHNIS

1	VALIDIERUNG NUMERISCHER BERECHNUNGEN	3
2	WÄRMEÜBERTRAGUNG (ABKÜHLPROZESS)	3
2.1	ANGABEN ZUM MODELL	3
2.2	AUSWERTUNG	4
3	WÄRMEÜBERTRAGUNG (ERWÄRMUNGSPROZESS)	5
3.1	ANGABEN ZUM MODELL	5
3.2	AUSWERTUNG	6
4	WÄRMEDURCHGANG BEI MEHREREN SCHICHTEN	7
4.1	ANGABEN ZUM MODELL	7
4.2	AUSWERTUNG	8
5	REFERENZBAUTEIL DIN SPEC 18230-4	9
5.1	ANGABEN ZUM MODELL	9
5.2	AUSWERTUNG	10
6	LITERATURHINWEISE	12

1 Validierung numerischer Berechnungen

Für die Berechnung der resultierenden zeitabhängigen Temperaturverteilung in Bauteilen verwenden die Sinfire Brandschutzingenieure die Software MATLAB (R2020a). Die numerischen Berechnungen (zeitabhängige Temperaturverteilung in Bauteilen) mit der Software sollen anhand der im nationalen Anwendungsdokument zu DIN EN 1991-1-2, Anhang CC und der in DIN SPEC 18230-4 benannten Referenzbeispielen validiert werden.

2 Wärmeübertragung (Abkühlprozess)

2.1 Angaben zum Modell

An einen ebenen Querschnitt wird ein Abkühlprozess simuliert werden. Die Geometrie und die Randbedingungen entsprechen der nachfolgenden Abbildung und Tabelle.

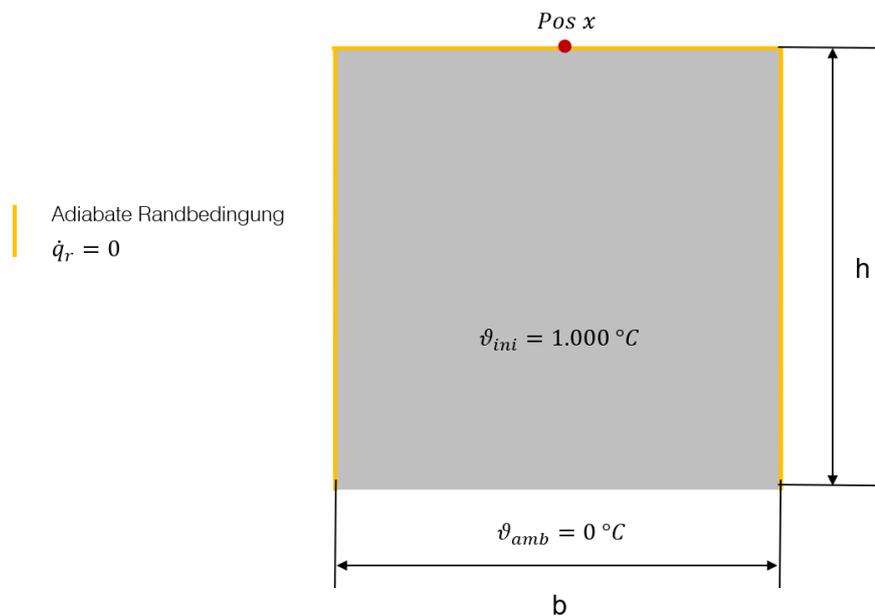


Abbildung 1 | Darstellung des ebenen Quaders (Abkühlprozess)

Tabelle 1: Materialeigenschaften und Randbedingungen

Material	fiktiver Wert
Stoffwerte	
Wärmeleitfähigkeit	1,0 W/(m·K)
spez. Wärmekapazität	1,0 J/(kg·K)
Rohdichte	1.000 kg/m ³
Randbedingungen	
Abmessungen <i>h, b</i>	1,0 m
Wärmeübergangskoeffizient	1,0 W/(m ² ·K)
(resultierende) Emissivität	0
Anfangsbedingungen	
Umgebungstemperatur	0 °C
Temperatur im Querschnitt	1.000 °C
Referenzgröße	
Temperatur im Punkt X (Pos x)	

2.2 Auswertung

Die verwendete Software arbeitet im Rahmen der DIN EN 1991-1-2/NA hinreichend genau. Die betrachteten Größen liegen innerhalb der geforderten Toleranzen.

Tabelle 2: Referenz- und berechnete Größen für die Wärmeübertragung (Abkühlung)

Zeit in s	Referenzgröße Temperatur in °C	Berechnete Temperatur in °C	Abweichung in K und in %	Grenzabweichung in K und %
0	1.000,0	1.000,0	0,0 K 0,0 %	± 5 K und ± 1 %
60	999,3	999,2	-0,1 K 0,0 %	
300	891,8	892,2	0,4 K 0,0 %	
600	717,7	717,7	0,0 K 0,0 %	
900	574,9	574,6	-0,3 K 0,0 %	
1.200	460,4	459,8	-0,6 K -0,1 %	
1.500	368,7	368,2	-0,5 K -0,1 %	
1.800	295,3	294,9	-0,4 K -0,1 %	

3 Wärmeübertragung (Erwärmungsprozess)

3.1 Angaben zum Modell

An einen ebenen Querschnitt wird ein Erwärmungsprozess simuliert werden. Die Geometrie und die Randbedingungen entsprechen der nachfolgenden Abbildung und Tabelle.

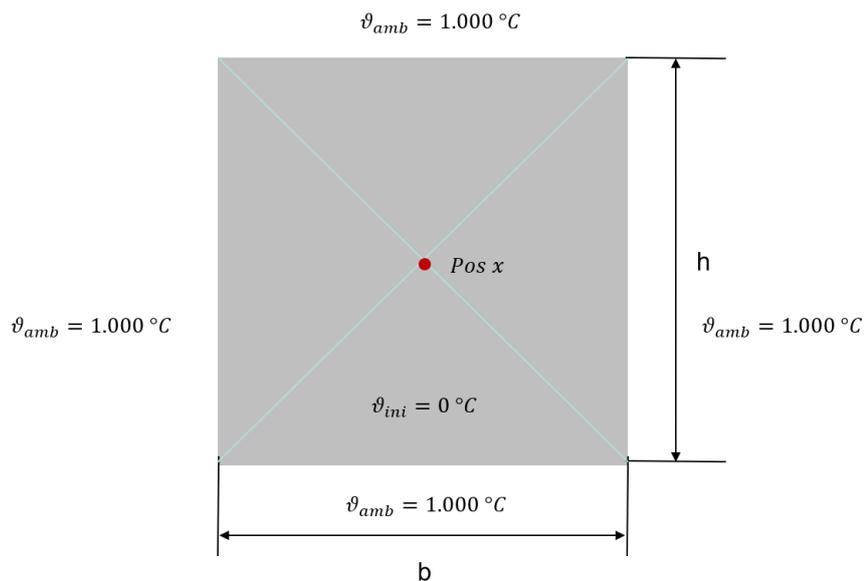


Abbildung 2 | Darstellung des ebenen Quaders (Erwärmungsprozess)

Tabelle 3: Materialeigenschaften und Randbedingungen

Material	fiktiver Wert	
Stoffwerte		
Wärmeleitfähigkeit	0 °C	1,5 W/(m·K)
	200 °C	0,7 W/(m·K)
	1000 °C	0,5 W/(m·K)
spez. Wärmekapazität	1.000 J/(kg·K)	
Rohdichte	2.400 kg/m ³	
Randbedingungen		
Abmessungen h, b	0,2 m	
Wärmeübergangskoeffizient	10,0 W/(m ² ·K)	
(resultierende) Emissivität	0,8	
Anfangsbedingungen		

Material	fiktiver Wert
Umgebungstemperatur	1.000 °C
Temperatur im Querschnitt	0 °C
Referenzgröße	
Temperatur im Punkt X (Pos x)	

3.2 Auswertung

Die verwendete Software arbeitet im Rahmen der DIN EN 1991-1-2/NA hinreichend genau. Die betrachteten Größen liegen innerhalb der geforderten Toleranzen.

Tabelle 4: Referenz- und berechnete Größen für die Wärmeübertragung (Erwärmung)

Zeit in min	Referenzgröße Temperatur in °C	Berechnete Temperatur in °C	Abweichung in K bzw. in %	Grenzabweichung
30	36,9	39,0	2,1 K	für t ≤ 60 min ± 5 K für t > 60 min ± 3 %
60	137,4	140,0	2,6 K	
90	244,6	250,5	2,4 %	
120	361,1	370,5	2,6 %	
150	466,2	476,2	2,1 %	
180	554,8	565,0	1,8 %	

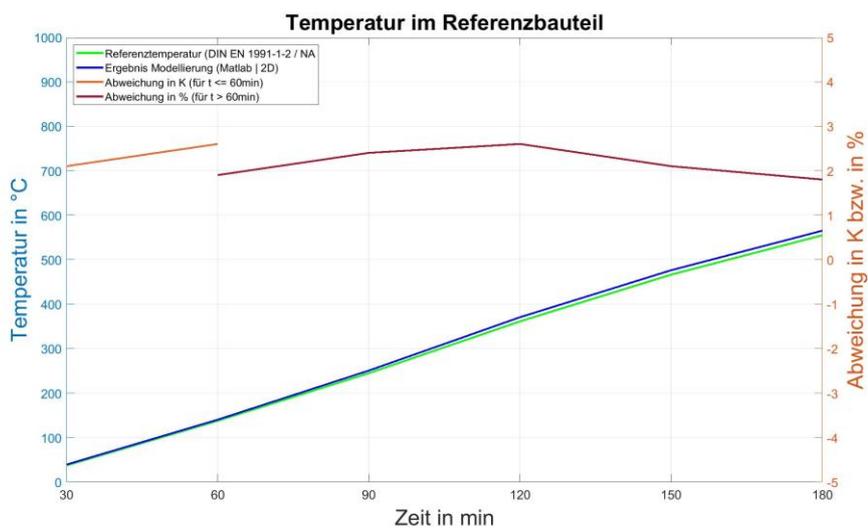


Abbildung 3 | Verlauf der Referenztemperatur und der berechneten Temperatur inkl. Abweichung

4 Wärmedurchgang bei mehreren Schichten

4.1 Angaben zum Modell

Für die Validierung von Berechnungen von Temperaturfeldern schlägt die DIN EN 1991-1-2/NA unter anderem das folgende Referenzbeispiel vor.

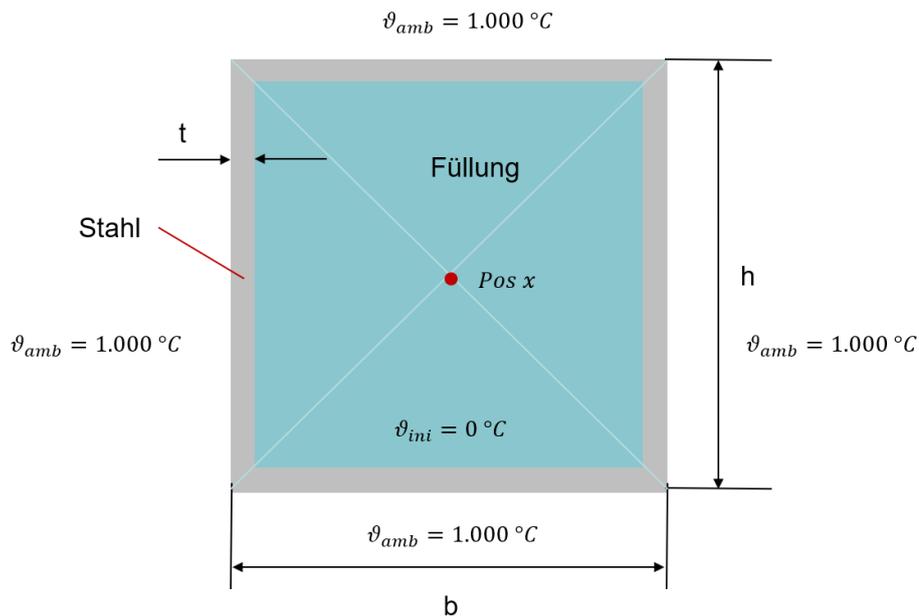


Abbildung 4 | Darstellung des ebenen Quaders (Erwärmungsprozess)

Tabelle 5: Materialeigenschaften und Randbedingungen

Material	Stahl	Füllung
Stoffwerte		
Wärmeleitfähigkeit	DIN EN 1993-1-2	0,05 W/(m·K)
spez. Wärmekapazität	DIN EN 1993-1-2	1.000 J/(kg·K)
Rohdichte	DIN EN 1993-1-2	50 kg/m ³
Randbedingungen		
Abmessungen h, b, t	$h = b = 0,201 \text{ m}; t = 0,0005 \text{ m}$	
Wärmeübergangskoeffizient	10,0 W/(m ² ·K)	
(resultierende) Emissivität	0,8	
Anfangsbedingungen		
Umgebungstemperatur	1.000 °C	
Temperatur im Querschnitt	0 °C	0 °C

Material	Stahl	Füllung
<u>Referenzgröße</u>		
Temperatur im Punkt X (Pos x)		

4.2 Auswertung

Die verwendete Software arbeitet im Rahmen der DIN EN 1991-1-2/NA hinreichend genau. Die betrachteten Größen liegen innerhalb der geforderten Toleranzen.

Tabelle 6: Referenz- und berechnete Größen für Wärmedurchgang bei mehreren Schichten

Zeit in min	Referenzgröße Temperatur in °C	Berechnete Temperatur in °C	Abweichung in K und in %	Grenzabweichung
30	340,5	340,2	-0,3 K -0.08 %	± 5 K und ± 1 %
60	717,1	721,8	4,7 K 0.65 %	
90	881,6	885,0	3,4 K 0.38 %	
120	950,6	952,5	1,9 K 0.2 %	
150	979,3	980,4	1,1 K 0.11 %	
180	991,7	991,9	0,2 K 0.02 %	

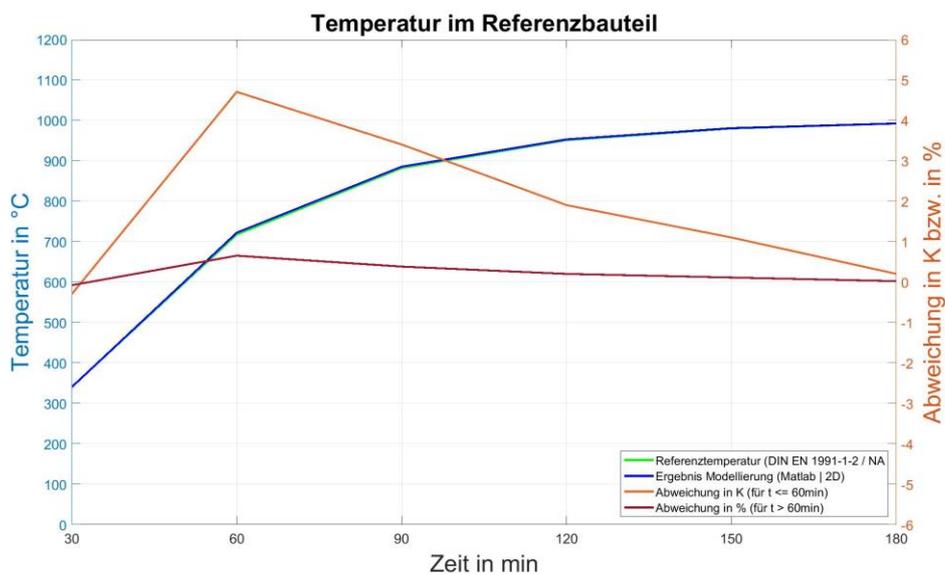


Abbildung 5 | Verlauf der Referenztemperatur und der berechneten Temperatur inkl. Abweichung

5 Referenzbauteil DIN SPEC 18230-4

5.1 Angaben zum Modell

Für die Validierung von Berechnungen von Temperaturfeldern schlägt die DIN SPEC 18230-4 unter anderem das folgende Referenzbeispiel vor.

Referenzbauteil Beton

- temperaturabhängige Stoffdaten $\lambda(\vartheta), \rho(\vartheta), c(\vartheta)$
- Wärmeübertragungsbedingungen

$$\alpha_a = 5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\alpha_i = 25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\varepsilon_b = 0,9$$

$$\varepsilon_{f,g} = 0,7$$

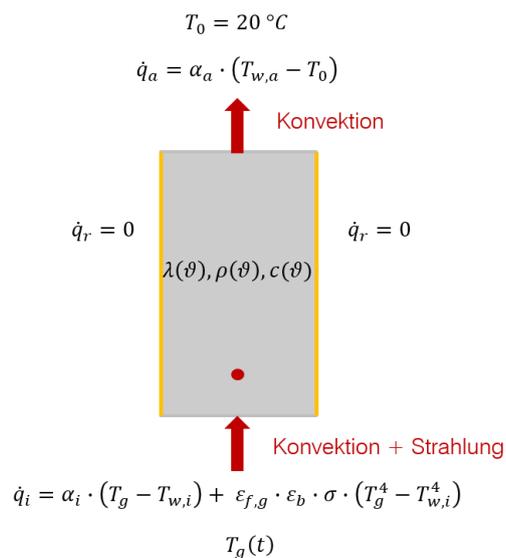


Abbildung 6 | Darstellung Referenzbauteil Beton (Erwärmungsprozess)

Tabelle 7: Materialeigenschaften und Randbedingungen

Material	Beton
Stoffwerte	
Wärmeleitfähigkeit	DIN EN 1993-1-2
spez. Wärmekapazität	DIN EN 1993-1-2
Rohdichte	DIN EN 1993-1-2
Randbedingungen	
Abmessungen h, b	$h = 0,2 \text{ m}; b = 0,1 \text{ m}$
Wärmeübergangskoeffizient heiße Seite	$25,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Wärmeübergangskoeffizient kalte Seite	$5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
(resultierende) Emissivität	$0,7 \cdot 0,9 = 0,63$
Anfangsbedingungen	

Material	Beton
Umgebungstemperatur	Einheitstemperaturzeitkurve (ETK)
Temperatur im Querschnitt	20 °C
Referenzgröße	
Temperatur im Punkt X (Pos x = 35 mm)	

5.2 Auswertung

Die verwendete Software arbeitet im Rahmen der DIN SPEC 18230-4 hinreichend genau. Die betrachteten Größen liegen innerhalb der geforderten Toleranzen.

Tabelle 8: Referenz- und berechnete Größen für Referenzbauteil Beton

Zeit in min	Referenzgröße Temperatur in °C	Berechnete Temperatur in °C	Abweichung in K und in %	Grenzabweichung ¹
0	20,0	20,0	0,0 K 0.0 %	± 4 K
5	28,8	27,6	-1,2 K -4.2 %	
10	55,3	52,8	-2,5 K -4.6 %	
20	113,8	114,8	1,0 K 0.9 %	
30	202,9	202,5	-0,4 K -0.2 %	
40	276,7	275,6	-1,1 K -0.4 %	
50	337,1	335,5	-1,6 K -0.5 %	
60	388,0	386,1	-1,9 K -0.5 %	
70	431,7	429,6	-2,1 K -0.5 %	
80	470,2	467,6	-2,6 K -0.5 %	
90	504,4	501,6	-2,8 K -0.6 %	
120	589,7	586,4	-3,3 K -0.6 %	
150	657,4	653,9	-3,5 K -0.5 %	
180	713,7	710,2	-3,5 K -0.5 %	

¹ U. Max, U. Schneider: „Erarbeitung von DIN 18230-4 – Nachweise durch Brandsimulationen im Industriebau“, 25. Braunschweiger Brandschutz-Tage 2011

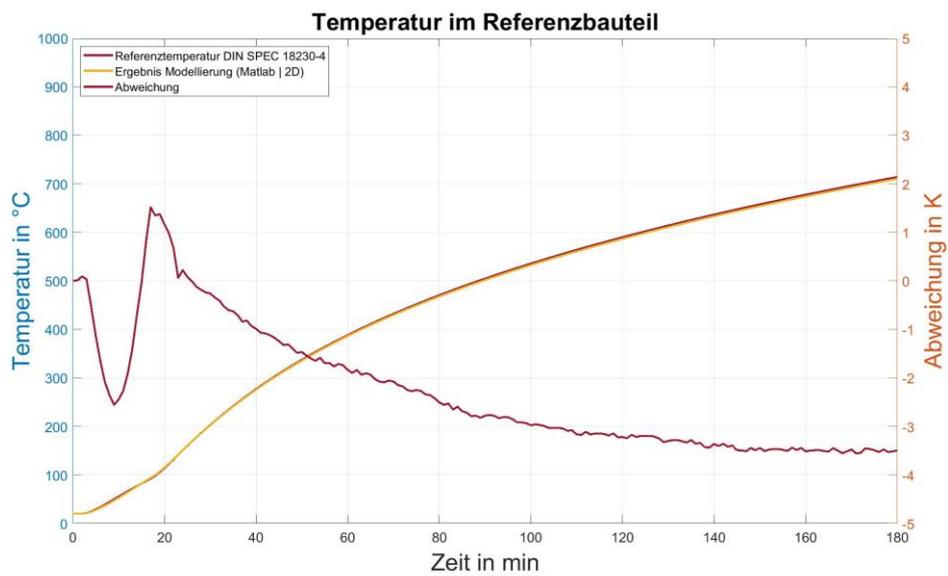


Abbildung 7 | Verlauf der Referenztemperatur und der berechneten Temperatur inkl. Abweichung

6 Literaturhinweise

- [1] DIN EN 1991-1-2- nationaler Anhang: National festgelegte Parameter Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung 12/2012
- [2] U. Max, U. Schneider: „Erarbeitung von DIN 18230-4 – Nachweise durch Brandsimulationen im Industriebau“, 25. Braunschweiger Brandschutz-Tage 2011