

# Validierung des Berechnungsverfahrens von HEAT2/HEAT3 nach EN ISO 10211-1, Anhang A

## Prüferferenzfall 1

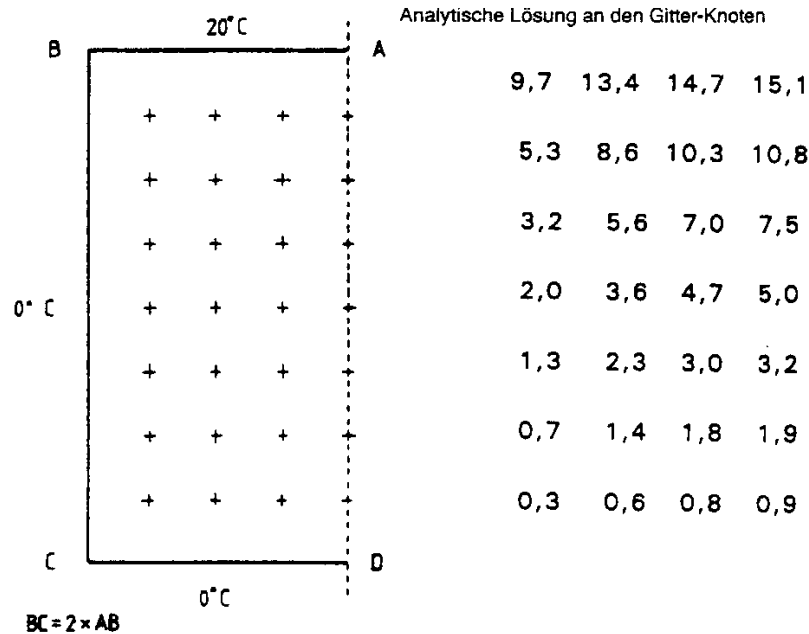


Bild 1.1 Prüferferenzfall 1

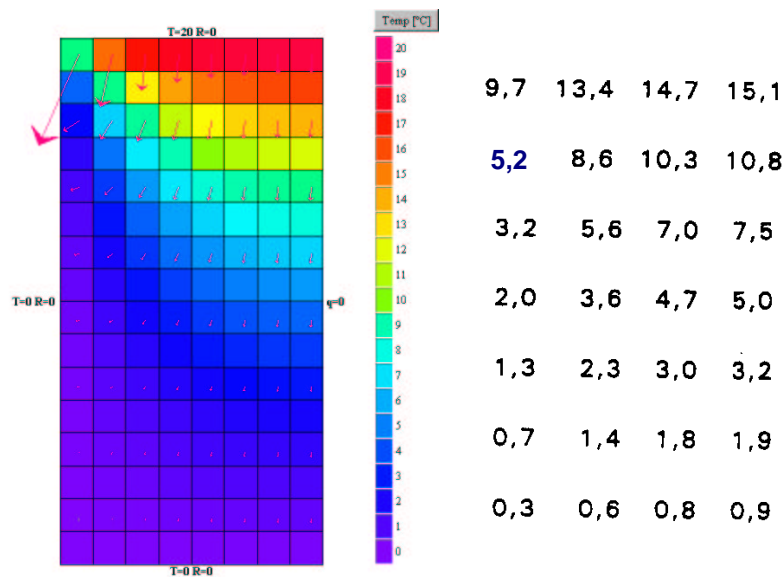


Bild 1.2 Berechnete Temperaturverteilung (HEAT2), mit Kennzeichnung von Größe und Richtung der Wärmeströme

Nach EN ISO 10211-1 soll die Differenz zwischen den berechneten Temperaturen und den Angaben der Norm einen Wert von 0,1 K nicht überschreiten.

Die berechneten Temperaturen entsprechen bereits bei einer Unterteilung in 128 Zellen den Anforderungen. Lediglich 1 Wert weicht um 0,1 K ab. Für HEAT3 gelten die gleichen Ergebnisse wie für HEAT2.

## Prüferferenzfall 2

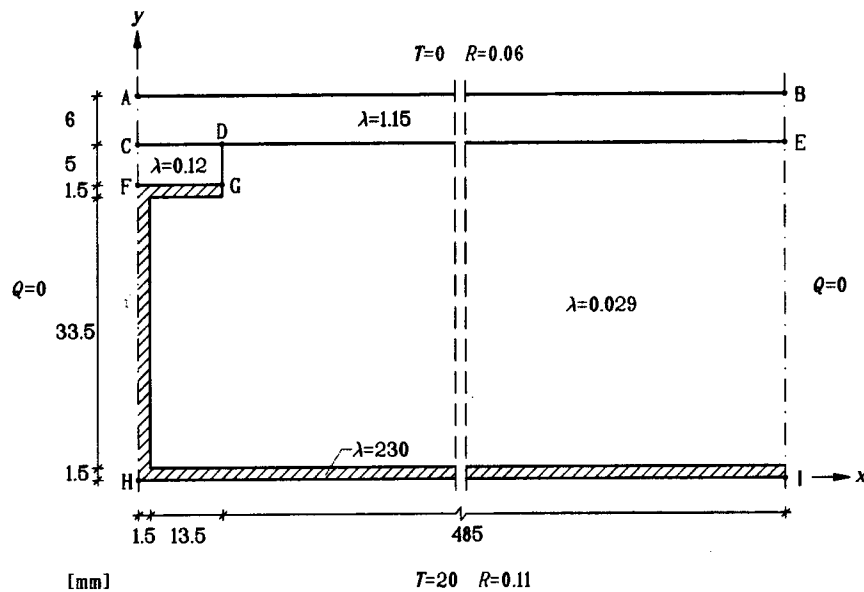


Bild 2.1 Prüferferenzfall 2

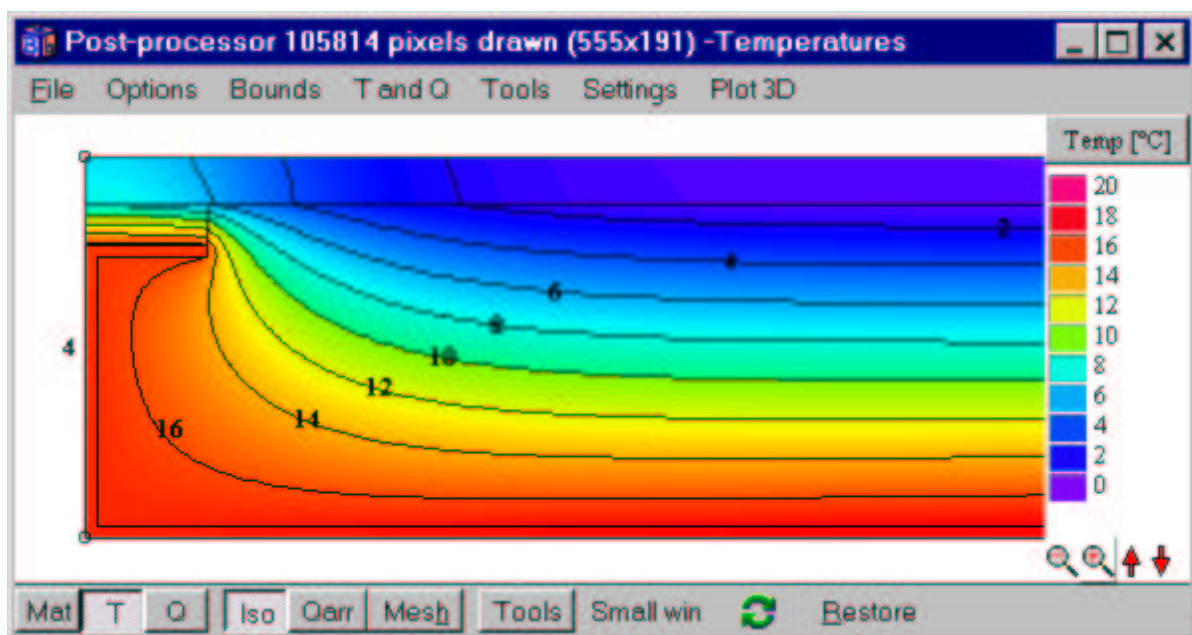


Bild 2.2 Berechnete Temperaturverteilung (HEAT2)

Tabelle 2.1 zeigt die mit HEAT2 bzw. HEAT3 berechneten Temperaturen für eine Unterteilung in 1254 bzw. 5016 Zellen. Nach EN ISO 10211-1 soll die Differenz zwischen den berechneten Temperaturen und den in der letzten Spalte aufgelisteten Werten 0,1 K nicht überschreiten.

Bei 1254 Zellen erfüllen alle Temperaturen mit Ausnahme von Punkt G dieses Genauigkeitskriterium. Die Abweichung bei G ist auf die hohen Temperaturgradienten an diesem Punkt zurückzuführen, welche die Interpolation erschweren. Um die Anforderungen an allen Punkten zu erfüllen, werden etwa 4000 Zellen benötigt.

Der berechnete Gesamtwärmestrom beträgt bei 1254 Zellen  $Q = 9,479 \text{ W/m}$  und nähert sich bei höherer Unterteilung einem Wert von rund  $9,49 \text{ W/m}$  an. Die Abweichung zur Angabe in der Norm ( $9,5 \text{ W/m}$ ) beträgt  $\leq 0,2 \%$ .

Punkt	Koordinaten (x,y)	Berechnete Temperaturen (° C)				Temperaturen nach EN ISO 10211-1 (° C)
		HEAT2		HEAT3		
		N=1254	N=5016	N=1254	N=5016	
A	(0, 0.0475)	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
B	(0.5, 0.0475)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
C	(0, 0.0415)	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
D	(0.015, 0.0415)	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
E	(0.5, 0.0415)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
F	(0, 0.0365)	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
G	(0.015, 0.0365)	<b>16,1</b>	<b>16,3</b>	<b>16,1</b>	<b>16,3</b>	<b>16,3</b>
H	(0, 0)	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8
I	(0.5, 0)	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3

Tabelle 2.1 Berechnete Oberflächentemperaturen

### Prüferferenzfall 3

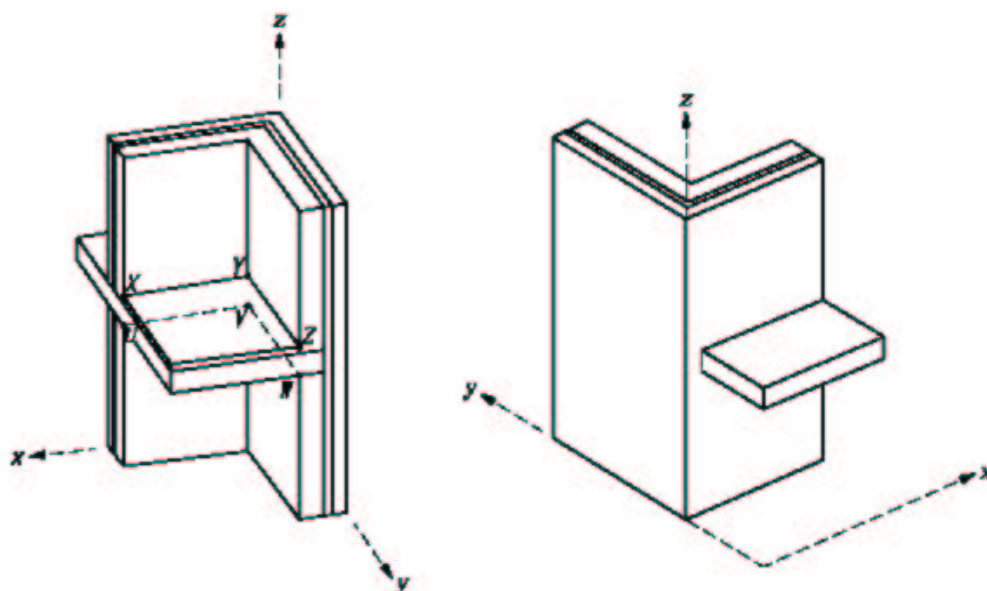


Bild 3.1 Prüferferenzfall 3

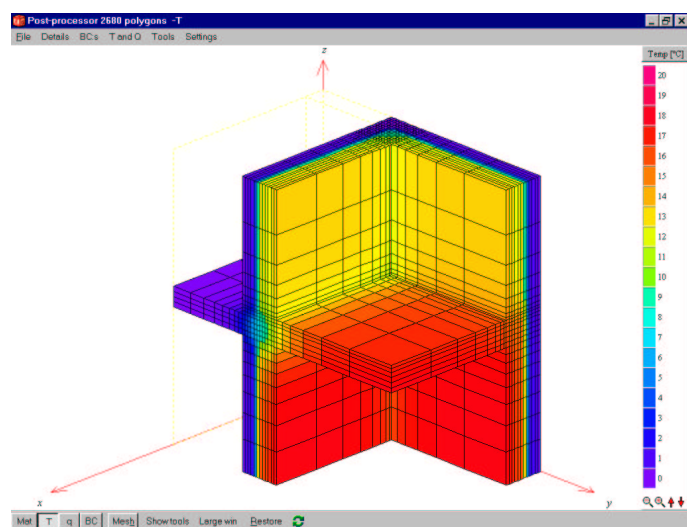


Bild 3.2 Berechnete Temperaturverteilung (HEAT3), 7600 Zellen

Die Tabellen 3.1 und 3.2 zeigen die mit HEAT3 berechneten Temperaturen und Wärmeströme für eine Unterteilung in 7600, 246000 bzw. 720900 Zellen. Nach EN ISO 10211-1 soll die Differenz zwischen den berechneten Temperaturen und den in der Norm angegebenen Werten 0,1 K nicht überschreiten. Der relative Fehler der Wärmeströme darf maximal 2 % betragen.

Bereits bei 7600 Zellen sind die Mindestanforderungen erfüllt. Tabelle 3.2 zeigt, daß sich die Wärmeströme bei einer Erhöhung der Unterteilung von 7600 auf 720900 Zellen nur noch geringfügig ändern (Abweichung < 1 %).

Punkt	Koordinaten (x,y,z)	Berechnete Temperaturen (° C)			Temperaturen nach EN ISO 10211-1 (° C)
		HEAT3			
		N=7600	N=246000	N=720900	
U	(1.3, 0.9, 1.0)	13.0	13.0	12.9	12.9
V	(0.3, 0.9, 1.0)	11.4	11.4	11.3	11.3
W	(0.3, 1.9, 1.0)	16.5	16.4	16.4	16.4
X	(1.3, 0.9, 1.2)	12.5	12.6	12.6	12.6
Y	(0.3, 0.9, 1.2)	11.0	11.1	11.1	11.1
Z	(0.3, 1.9, 1.2)	15.2	15.3	15.3	15.3

Tabelle 3.1 Berechnete Oberflächentemperaturen

Oberfläche	Berechnete Wärmeströme (W)			Wärmeströme nach EN ISO 10211-1 (W)
	HEAT3			
	N=7600	N=246000	N=720900	
$\alpha$	45.81	46.02	46.07	46.3
$\beta$	13.79	13.88	13.89	14.0
$\gamma$	-59.60	-59.93	59.96	60.3

Tabelle 3.2 Berechnete Wärmeströme

### Bewertung

Da die Berechnungsergebnisse den Prüferferenzfällen 1, 2 und 3 nach EN ISO 10211-1 Anhang A.1 entsprechen, sind HEAT2 und HEAT3 als genaue Verfahren einzustufen.

Die Programme genügen auch den Anforderungen nach Anhang A.2:

- Es ist die Berechnung von Temperaturen und Wärmeströmen möglich.
- Die Programme ermöglichen die Ermittlung von Wärmeströmen an beliebigen Orten.
- Mit steigender Anzahl von Unterteilungen konvergiert die Lösung gegen die analytische Lösung, wenn eine solche gegeben ist (z.B. Prüferferenzfall 1).
- Es ist möglich eine Erhöhung der Anzahl der Unterteilungen (z.B. von n auf 2n) vorzunehmen (Verdopplung bzw. Halbierung der Unterteilungen siehe Menüpunkt *Input/Mesh in x [y] -dir*, Schaltfläche "+" bzw. "-").
- Eine Fehlerbetrachtung zu den Wärmeströmen ist implementiert (Menüpunkt *Solve/Options for steady-state*, Stop criterion "Flow").

Die Programme HEAT2 und HEAT3 sind somit als genaue Verfahren validiert.