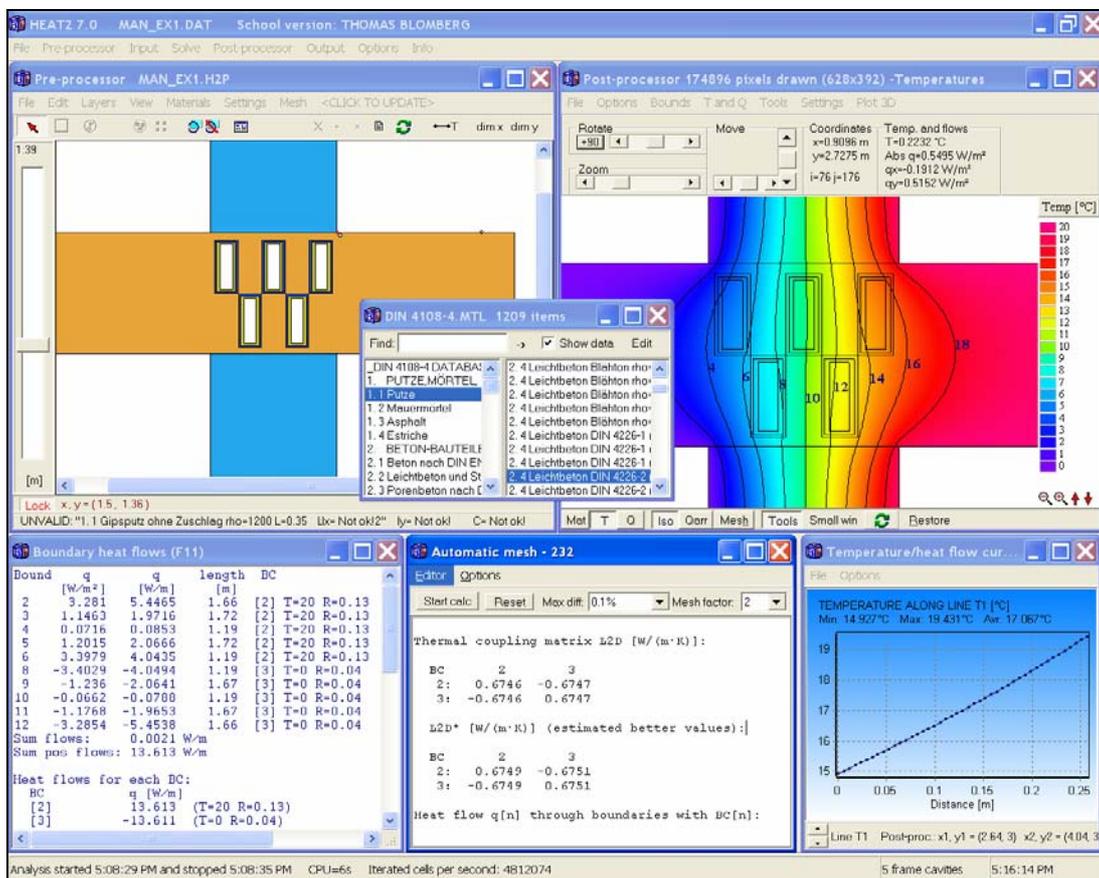


HEAT2 7.0

PC-Programm für zweidimensionale Wärmeübertragung

Update-Handbuch



Stand: 28. Juli 2006

BLOCON

www.buildingphysics.com

Inhalt

1.	NEUES IN HEAT2 VERSION 7.....	3
1.1	AUTOMATISCHE NETZGENERIERUNG.....	3
1.2	LEITWERTBERECHNUNG.....	3
1.3	ERHÖHUNG DER RECHENGESCHWINDIGKEIT.....	3
1.4	STAPELVERARBEITUNG.....	3
1.5	ERHÖHUNG VERSCHIEDENER FELDBEGRENZUNGEN.....	3
1.6	WEITERE ÄNDERUNGEN.....	3
2.	AUTOMATISCHE NETZGENERIERUNGFEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.	
2.1	EINFÜHRUNG.....	4
2.2	"MESH FACTOR" FÜR HÖHERE UNTERTEILUNGEN.....	4
3.	GENAUERE BESTIMMUNG VON WÄRMESTRÖMEN.....	7
4.	THERMISCHE LEITWERTE (L^{2D}).....	8
4.1	EINFÜHRUNG.....	8
4.2	BEISPIEL.....	8
4.3	BESTIMMUNG VON WÄRMESTRÖMEN AUF DER BASIS DER L^{2D} -MATRIX.....	11
4.4	BERECHNUNG DER L^{2D} -MATRIX MIT HOHER GENAUIGKEIT.....	12
4.5	KOPPLUNG VON GRUPPEN UNTERSCHIEDLICHER RANDBEDINGUNGEN.....	12
4.6	HINWEISE.....	16
5.	STAPELVERARBEITUNG (BATCH JOBS).....	16
5.1	BATCH JOB-OPTIONEN.....	16
5.2	STARTEN MULTIPLER STAPELVERARBEITUNGSAUFGABEN.....	17
6.	WEITERE NEUE FUNKTIONEN UND ÄNDERUNGEN.....	18
6.1	REKORDER.....	18
6.2	OPTIMIERUNG DES NUMERISCHEN LÖSUNG.....	19
6.2.1	<i>Optimierung des Relaxationskoeffizienten.....</i>	<i>19</i>
6.2.2	<i>Optimierung der numerischen Schemata.....</i>	<i>19</i>
6.3	VERBESSERUNGEN DES PREPROZESSORS.....	20
6.4	DESKTOP SPEICHERN.....	21
6.5	OPTION SPEICHERN/EINLESEN VON TEMPERATURFELDERN.....	21
6.6	ÄNDERUNG DER SCHRIFTART IM POSTPROZESSOR.....	21

1. Neues in HEAT2 Version 7

Blocon ist stolz, Ihnen eine neue Version von HEAT2 vorzustellen zu können. Das Update zeichnet sich durch zahlreiche neue Funktionen aus. Aktuelle Informationen zum Programm finden Sie unter www.buildingphysics.com und www.buildingphysics.de (deutsche Seite).

Das Update-Handbuch gibt einen Überblick über die neuen Eigenschaften, die seit Version 6 hinzugefügt wurden. Für Neukunden wird zusätzlich die Lektüre des Update-Handbuchs zu Version 6 und des ausführlichen Handbuchs zu Version 5 empfohlen:

http://www.buildingphysics.com/manuals/Heat2_6_update.pdf

http://www.buildingphysics.com/manuals/HEAT2_5.pdf

1.1 Automatische Netzgenerierung

Bei stationären Berechnungen kann HEAT2 selbständig eine schrittweise Verfeinerung des Berechnungsnetzes vornehmen. Eine detaillierte Netzeingabe durch den Nutzer ist dabei nicht erforderlich. Es kann auch eine Verdopplung der Unterteilungen zur Prüfung der Rechengenauigkeit gemäß EN ISO 10211 erfolgen.

1.2 Leitwertberechnung

HEAT2 kann jetzt eine automatische Berechnung der thermischen Leitwerte (L^{2D}) nach EN ISO 10211 für ein breites Spektrum von Wärmebrückenproblemen durchführen.

1.3 Erhöhung der Rechengeschwindigkeit

Durch eine Optimierung des Relaxationskoeffizienten und der numerischen Lösungsverfahren werden jetzt viele stationäre Berechnungen 5-10 mal (!) schneller berechnet.

1.4 Stapelverarbeitung

Mit Hilfe von Batch-Files können mehrere Simulationen gestartet und abgearbeitet werden.

1.5 Erhöhung verschiedener Feldbegrenzungen

Die Größe vieler Feldbegrenzungen wurde erhöht. Die maximale Anzahl der Berechnungsknoten wurde von 122.500 (350·350) auf 490.000 (700·700) vervierfacht.

Die maximale Anzahl von Hohlräumen mit Strahlungswärmeaustausch wurde von 20 auf 50 erhöht. Innerhalb jeden Hohlraums stehen jetzt maximal 1000 (bisher 500) Knoten für Strahlungsberechnungen zur Verfügung.

HEAT2 7.0 mit 490.000 Knoten benötigt nur ca. 30 MB RAM (empfohlen wird ein PC mit 256 MB) und weniger als 5 MB Festplattenspeicher.

1.6 Weitere Änderungen

Es wurde eine Vielzahl kleinerer Verbesserungen durchgeführt. Die wichtigsten sind:

- Emissionsgrad in Hohlräumen kann jetzt geändert werden
- Temperaturfelder $T(i,j)$ können jetzt als Textdatei gespeichert und wieder eingelesen werden
- Erweiterungen im Preprozessor
- Desktop (Lage und Größe der Fenster) kann gespeichert/geladen werden (Menüpunkt *Options*)

- Beim Wechseln von HEAT2 6.0 in ein anders Programm und zurück wurden manchmal Fenster in HEAT2 geschlossen. Dies ist jetzt korrigiert.
- Diagrammfenster des Rekorders ermöglicht jetzt auch die Anzeige mehrerer Linien im gleichen Diagramm
- Summe der Wärmeströme über alle Detailgrenzen mit gleichen Randbedingungen kann jetzt angezeigt werden (F11)
- für Anwender der Texteingabe ("old style"): eingegebenes Berechnungsetz (Länge, Zellenanzahl, Expansionskoeffizient in jedem Segment) wird bei Beschreibung der Randbedingungen nicht mehr überschrieben

Verbesserungen des Postprozessors:

- wesentliche Erhöhung der Zoom-Tiefe
- schnelleres Zeichnen/Aktualisieren
- Die den kleinsten Zeitschritt bestimmende Berechnungszelle kann in der Grafik gekennzeichnet werden.
- Möglichkeit der Änderung der Schriftart der Legende

2. Automatische Netzgenerierung

2.1 Einführung

Jede Diskretisierung eines Modells durch Unterteilungen (Netz) führt zu Rechenungenauigkeiten. Eine höhere Unterteilung mit kleinen Zellen ergibt genauere Ergebnisse als eine geringe Unterteilung mit großen Zellen. HEAT2 ermöglicht bei stationären Berechnungen eine automatische, schrittweise Erhöhung der Unterteilungen.

Es kann auch eine Verdopplung der Unterteilungen zur Prüfung der Rechengenauigkeit gemäß EN ISO 10211 (CEN) vorgenommen werden: *Die Summe der Absolutwerte aller Wärmeströme die in das Objekt eindringen wird zweimal berechnet, für n und für 2n Zellen. Die Differenz zwischen den Wärmeströmen muß kleiner 2% sein, andernfalls ist eine weitere Unterteilung notwendig.* (Dieses Kriterium wird wahrscheinlich später auf 1% geändert).

2.2 "Mesh factor" für höhere Unterteilungen

Betrachten Sie das Beispiel *Ex_man_7up_autmesh.dat*. Über den Menüpunkt *Solve/Automatic mesh and L2D* (bzw. die Funktionstaste **F7**) kann das Fenster *Automatic mesh* (Automatisches Netz) angezeigt werden, siehe Bild 2.1. Der sogenannte "mesh factor" gibt an, um welchen Faktor die Zellenanzahl bei der nächsten Unterteilung erhöht werden soll (gilt für beide Richtungen). In HEAT2 beträgt der Standardwert 2. Bild 2.1 zeigt die Berechnungsergebnisse für fünf Stufen (Levels) mit jeweils höherer Unterteilung des Berechnungsnetzes.

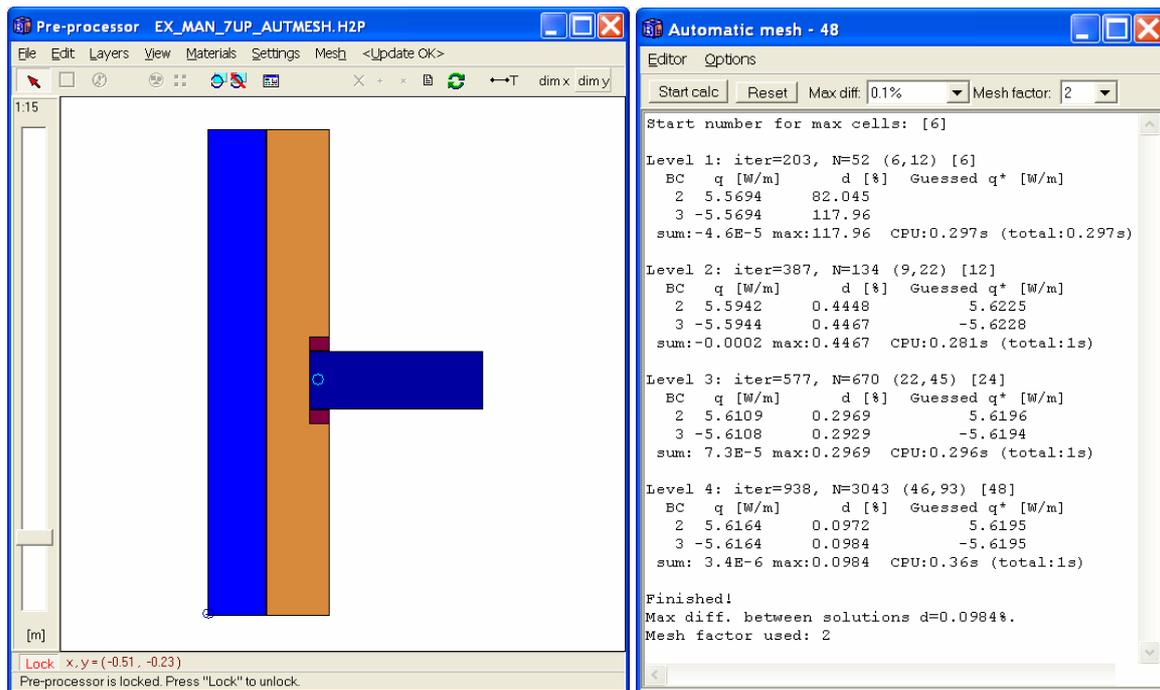


Bild 2.1: Berechnungsbeispiel und Fenster *Automatic mesh* mit Ergebnissen.

Mit der Schaltfläche *Start calc* wird die Analyse direkt aus dem Fenster *Automatic mesh* gestartet. Betrachten Sie z.B. Level 3 mit 22·45 Zellen (Zellenanzahl gesamt $N=670$). Das nächste Level hat 46·93 Zellen ($N=3.043$). Aufgrund der unregelmäßigen Geometrie entspricht die resultierende Unterteilung nicht exakt dem erwarteten doppelten Wert.

Die Unterteilung wird bis zur Einhaltung einer vorgegebenen Differenz d (*Max diff*) der Wärmeströme (*Boundary flows*) fortgeführt. Die Standardeinstellung für d ist 0,1%. (Die zulässige Differenz nach EN ISO 10211 beträgt 2%, was möglicherweise nicht ausreichend sein kann. Deshalb wird jetzt ein Wert von 1% vorgeschlagen).

Betrachten Sie noch einmal Level 3 und 4. Der Wärmestrom über alle Oberflächen mit der Randbedingung Nr. 2 beträgt 5,6109 W/m für Level 3 und 5,6164 W/m für Level 4. Die Differenz ergibt sich zu $1-5,6109/5,6164 = 0,098\%$. Hinweis: Eine genauere Abschätzung des Wärmestroms Q^* wird in Kapitel 3 erläutert.

Mit dem letzten Level wird das 0,1%-Kriterium erfüllt. Die Gesamtrechenzeit für alle Levels betrug auf einem PC mit Pentium 4-Prozessor (2,7 MHz) ca. zwei Sekunden.

Beachten Sie, daß die Berechnung in jedem Level dann beendet wird, wenn das Stopkriterium für den Wärmestrom über die Modellgrenzen (*Boundary flows*) erfüllt ist, siehe Bild 6.2. Die Summe aller Wärmeströme (positive und negative) die über die Grenzflächen eindringen Q_b , geteilt durch die Summe der Absolutwerte aller dieser Wärmeströme, muß kleiner als ein vorgegebener Wert F sein (Standardwert in HEAT2 ist 0,01%).

Die automatische Netzunterteilung funktioniert sowohl mit einem expansiven Berechnungsnetz (bei Verwendung eines "expansion point" im Preprozessor) als auch mit äquidistantem Berechnungsnetz. Bild 2.2 zeigt die letzten expansiven bzw. äquidistanten Berechnungsnetze, welche nur noch eine Differenz (Abweichung) von weniger als 0,1% ergeben. Bild 2.3 zeigt Ergebnisse der letzten drei Unterteilungen für den Fall mit äquidistantem Netz.

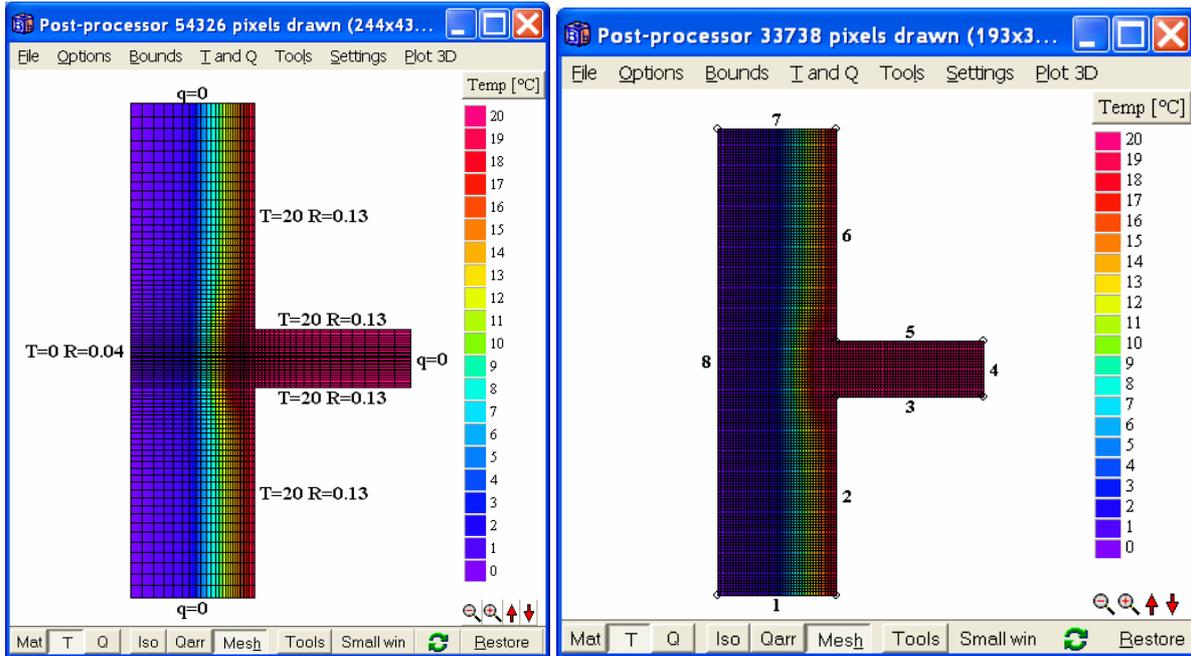


Bild 2.2: Expansives und äquidistantes Netz mit einem Fehler kleiner 0.1%
 (links: expansives Netz mit $N=3.043$, rechts: äquidistantes Netz mit $N=7.727$ Zellen).

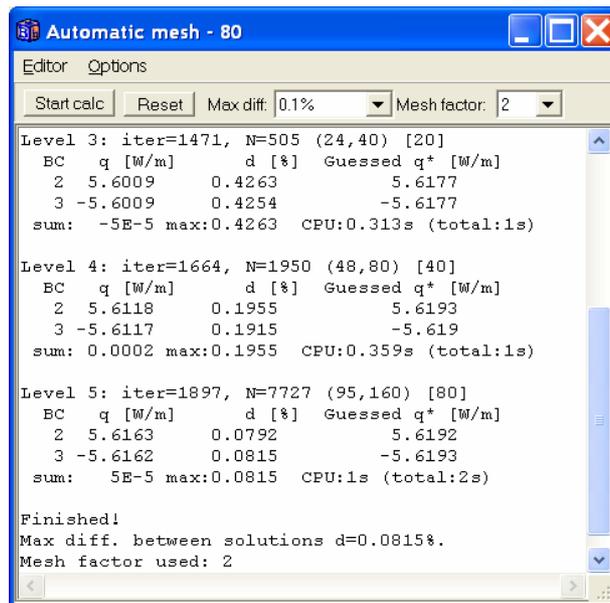


Bild 2.3: Letzte drei Unterteilungen (Levels) mit äquidistantem Netz.

3. Genauere Bestimmung von Wärmeströmen

Eine genauere Ermittlung stationärer Wärmeströme kann erreicht werden, indem man die Ergebnisse von zwei oder drei Berechnungen mit unterschiedlichen Unterteilungen kombiniert. Nähere Informationen zu diesem Thema siehe Kapitel 4.2 des Berichts "Heat conduction in two and three dimensions" von Blomberg unter

http://www.buildingphysics.com/manuals/avh_TB.pdf

Bild 2.1 in Kapitel 2 zeigt den geschätzten Wärmestrom Q^* , berechnet durch Kombination der Ergebnisse der jeweils letzten zwei Simulationen (bezeichnet mit "Guessed Q^* ").

Betrachten Sie z.B. den Wärmestrom für die Randbedingung BC=2 in Level 2, welcher das Kriterium $d = 1\%$ (max diff) bereits erfüllt. Der berechnete Wert beträgt 5,5942 W/m und der geschätzte (genauere) Wert 5,6225 W/m. Der für eine unendliche Zellenanzahl ermittelte "exakte" Wärmestrom beträgt 5,619 W/m. Daraus ergibt sich für den in Level 2 berechneten Wert von 5,5942 W/m eine Abweichung von 0,4% und nur 0,04% für den geschätzten Wert 5,6225 W/m.

Um die Einhaltung des in Kapitel 2 erwähnten 2%-Kriteriums der Norm EN ISO 10211 zu überprüfen sind mindestens zwei Berechnungen erforderlich. Für die Ermittlung genauere Wärmeströme ist es sinnvoll die Ergebnisse von zwei oder auch drei Berechnungen zu kombinieren.

HEAT2 bietet neben der automatisierten Abschätzung von Q^* im Fenster *Automatic mesh* auch die Möglichkeit eine Abschätzung manuell vorzunehmen. Bild 3.1 zeigt das Eingabefenster "Guess" zur Abschätzung genauerer Wärmeströme durch Kombination der Berechnungsergebnisse auf der Grundlage unterschiedlicher Unterteilungen, siehe Menüpunkt *Output/Guess heat flow/temperature*. Hier wurden manuell die Daten für die letzten Levels 3, 4 und 5 aus Bild 2.1 eingegeben. Bei Verwendung der Werte aus Spalte [2+3] ergibt sich ein geschätzter Wärmestrom von 5,6196 W/m; die Verwendung aller drei Ergebnisse [1+2+3] führt zu einem Wärmestrom von 5,6195 W/m (entspricht einer Abweichung von 0,01% im Vergleich zum genauen Ergebnis von 5,619 W/m).

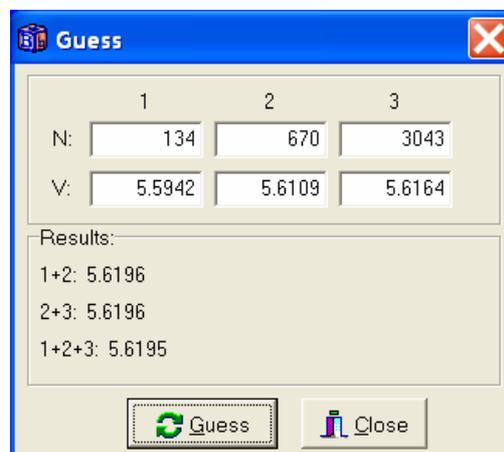


Bild 3.1: Dialogfenster "Guess" zur Abschätzung genauerer Wärmeströme/Temperaturen durch Kombination der Berechnungsergebnisse auf der Grundlage unterschiedlicher Unterteilungen.

Beachten Sie, daß in einigen Fällen möglicherweise keine Lösung für drei Levels ermittelt werden kann.

Das Verfahren ist neben der Ermittlung von Wärmeströmen auch auf die Abschätzung genauere Temperaturwerte anwendbar. Hierbei werden lediglich die Wärmeströme (V_1 , V_2 , V_3) durch die entsprechenden Temperaturangaben ersetzt.

4. Thermische Leitwerte (L^{2D})

4.1 Einführung

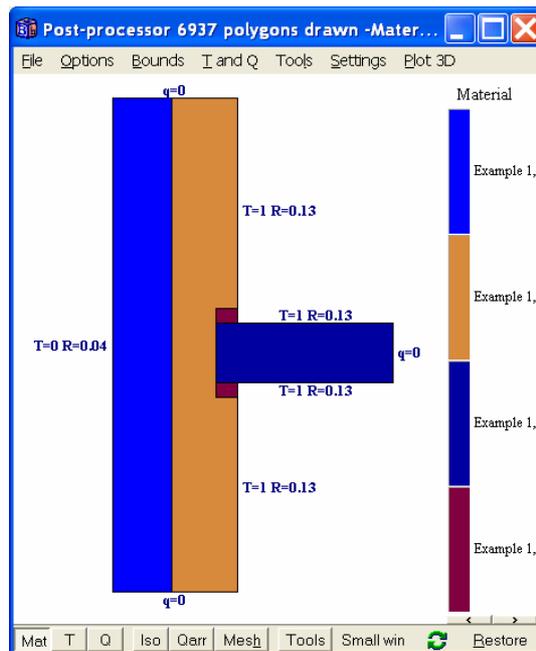
HEAT2 kann eine automatische Berechnung der thermischen Leitwerte (L^{2D}) nach EN ISO 10211 für ein breites Spektrum von Wärmebrückenproblemen durchführen. Um die Leitwertmatrix zu berechnen, muß im Fenster *Automatic mesh* der Menüpunkt *Options/Calculate L2D* aktiviert werden, siehe Bild 2.1 in Kapitel 2.

Die Leitwertmatrix besitzt $n \cdot n$ Zeilen bzw. Spalten, wobei n der Anzahl unterschiedlicher Temperaturrandbedingungen entspricht. HEAT2 ermöglicht eine automatische Berechnung für bis zu 20 unterschiedliche Temperaturrandbedingungen (Leitwertmatrix bis max. 20·20).

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient (Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ) kann für einfache Geometrien vom Programm direkt berechnet werden, siehe Update-Handbuch zu Version 6. Hinweis: Ist eine direkte Berechnung nicht möglich, kann der ψ -Wert auf der Grundlage von EN ISO 10211 aus den Leitwerten auch manuell berechnet werden.

4.2 Beispiel

Betrachten wir das Beispiel aus Kapitel 2 mit drei unterschiedlichen Temperaturrandbedingungen, siehe Bild 4.1.



The screenshot shows the "Boundary conditions (F6)" dialog box. It has a "Number of types" field set to 3. Below is a table with the following data:

n	type	Bounds	function	q [W/m²]	Temp [°C]	Resistance [m²K/W]
1	Q=const	Default		0.00000		
2	T=const	2 3 5 6			20.00000	0.130000
3	T=const	8			0.00000	0.040000

At the bottom of the dialog are buttons for "Close" and "Update graphics".

Bild 4.1: Randbedingungen.

Eine Leitwertberechnung wird über die Schaltfläche *Start calc* gestartet (siehe Bild 2.1). Ergebnis der ersten Berechnung ist die erste Zeile und die erste Spalte der Leitwertmatrix (Zeile und Spalte sind aufgrund der Symmetrie immer gleich). Hierbei wird die Temperaturrandbedingung für BC=2 automatisch durch T=1 ersetzt. Alle übrigen Temperaturrandbedingungen werden mit T=0 berücksichtigt, siehe Bild 4.2.

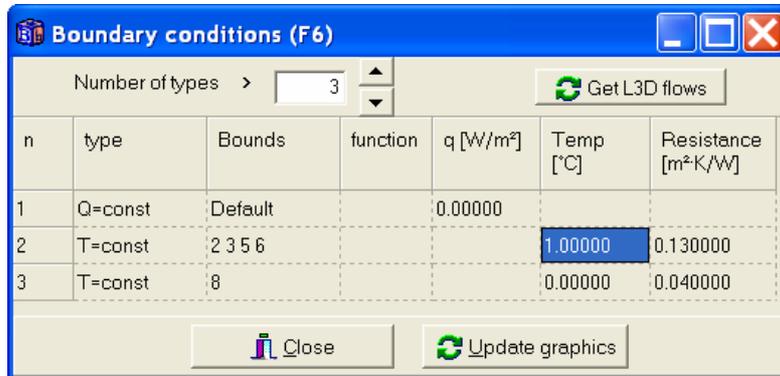


Bild 4.2: Mit der ersten Berechnung wird die erste Zeile der L^{2D} -Matrix ermittelt.

Aufgrund der Symmetrie der Leitwertmatrix ist keine Simulation mit T=1 für Randbedingung Nr. 3 erforderlich.

Die folgenden Ergebnisse werden im Fenster *Automatic mesh* dargestellt. Jeder Fall wird mit unterschiedlichen Unterteilungen entsprechend Kapitel 2 berechnet, um eine ausreichende Rechengenauigkeit zu erreichen. Kommentare sind durch Fettdruck gekennzeichnet.

CALCULATION OF L2D FOR BC 2

(Level 1-4 sind hier nicht dargestellt)

```
Level 5: iter=3588, N=6937 (77,125) [96]
BC  q [W/m]    d [%]  Gussed q* [W/m]
  2  0.2809    0.0601    0.281
  3 -0.2809    0.049    -0.281
sum: 3.4E-5 max:0.0601 CPU:0.469s (total:2s)
```

```
Finished!
Max diff. between solutions d=0.0601%.
Mesh factor used: 2
```

```
Thermal coupling coefficients
for BC number 2:
  2:2  0.2809    0.281(*)
  2:3 -0.2809   -0.281(*)
(*) estimated better values
```

CALCULATION OF L2D FOR BC 3

```
Thermal coupling coefficients (symmetry)
for BC number 3:
  3:2  0.2809    0.281(*)
  3:3 -0.2809   -0.281(*)
(*) estimated better values
```

Thermal coupling matrix L2D [W/(m·K)]:

BC	2	3
2:	0.2809	-0.2809
3:	-0.2809	0.2809

Die berechnete Leitwertmatrix (L^{2D}) ist oben dargestellt (Einheit: W/K). Beachten Sie die Symmetrie.

Eine Leitwertmatrix (L^{2D*}) mit abgeschätzten, genaueren Wärmeströmen (siehe Kapitel 3) wird ebenfalls ausgegeben:

L2D* [W/(m·K)] (estimated better values):

```
BC      2      3
2:     0.281  -0.281
3:    -0.281   0.281
```

Auf der Grundlage der Leitwertmatrix können die Wärmeströme an den Modellgrenzen für willkürliche Temperaturrandbedingungen ermittelt werden. Ein Beispiel mit den ursprünglichen Randbedingungen (siehe Bild 4.1) wird in der Ergebnisdatei angezeigt:

Heat flow q[n] through boundaries with BC[n]:

```
q[2]=T[2]*L2D[2,2]+T[2]*L2D[2,3]
q[3]=T[3]*L2D[3,2]+T[3]*L2D[3,3]
```

Example. Assume the following temperatures:

```
BC      T
2:     20 °C
3:      0 °C
```

The heat flows becomes using L2D(*):

```
q[2]=20*0.281+0*-0.281=5.6201 W/m
q[3]=20*-0.281+0*0.281=-5.6201 W/m
```

Heat flows using: L2D L2D(*)

```
q[2]=                   5.618    5.6201
q[3]=                  -5.618  -5.6201
```

Diese Werte entsprechen näherungsweise den Ergebnissen in Bild 2.1.

Beachten Sie, daß HEAT2 für einfache Geometrien die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (Wärmebrückenverlustkoeffizienten ψ) direkt ermitteln kann, siehe Update-Handbuch zu Version 6. Die folgenden Ergebnisse werden im Fenster *Boundary flows* angezeigt (Menüpunkt *Output/Calculate thermal bridges (EN ISO 10211-2)* muß aktiviert sein):

```
Bound   q          q          length  BC
        [W/m²]     [W/m]     [m]
2       3.003     2.042     0.68 [2] T=20 R=0.13
3       1.3719    0.6859    0.5  [2] T=20 R=0.13
5       1.3719    0.6859    0.5  [2] T=20 R=0.13
6       3.0171    2.2025    0.73 [2] T=20 R=0.13
8      -3.5102   -5.6163    1.6  [3] T=0  R=0.04
Sum flows:       3.6E-5 W/m
Sum pos flows:  5.6164 W/m
```

Heat flows for each BC:

```
BC      q [W/m]
[2]     5.6164 (T=20 R=0.13)
[3]    -5.6163 (T=0  R=0.04)
Sum:   3.6E-5
```

THERMAL BRIDGES ACCORDING TO EN ISO 10211:

Thermal coupling coefficient:

```
L^2D=q_in/dT=5.6164/20= 0.2808 W/(m·K)
```

The distance between cut-off plane and central element should normally be at least 1 m according to EN ISO 10211. However, the max error between exact and calculated one-dimensional U-values at cut-off planes is zero so results should be OK.

Thermal transmittance coefficient:

```
Psi=L^2D-U_1D*L=0.2808-0.1604*1.6= 0.0241 W/(m·K)
```

Average U-value for section:

```
U_avr=U_1D+Psi/L=0.1755 W/(m²·K)
```

Horizontal cut-off planes found.

One-dimensional U-values at cut-off planes [W/(m²·K)]:

```
          exact    calc    error(%)
lower boundary: 0.1604  0.161  <0.5
upper boundary: 0.1604  0.1608  <0.5
```

Extreme temperatures and temperature factor f_Rsi:

Indoor Min: 19.504°C f_Rsi=f_0.13=0.9752 at (x, y)=(0.4, 0.87)
 Max: 19.932°C
 Outdoor Min: 0.1402°C
 Max: 0.1639°C
 Indoor boundaries : 2 3 4 5 6
 Outdoor boundaries: 8

4.3 Bestimmung von Wärmeströmen auf der Basis der L^{2D} -Matrix

Auf der Grundlage einer berechneten Leitwertmatrix können im Eingabefenster der Randbedingungen (Funktionstaste **F6**) die Wärmeströme für willkürliche Temperaturen ermittelt werden. Wählen Sie im Fenster *Automatic mesh* (Funktionstaste F7) den Menüpunkt *Options/Get current BC temperatures and calculate flows* oder nutzen Sie die Funktionstaste F6, siehe Bild 4.3.

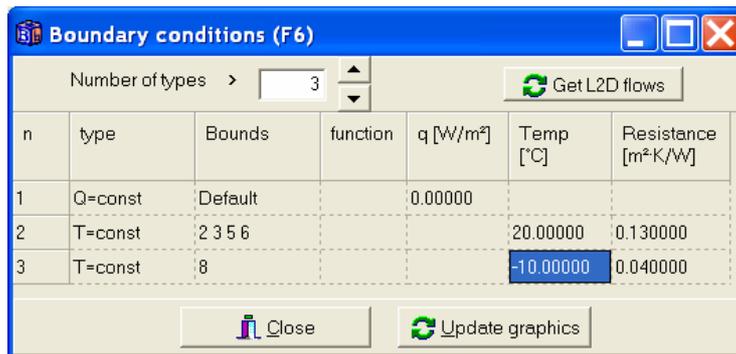


Bild 4.3: Mit der Schaltfläche *Get L2D flows* werden die Wärmeströme direkt aus der Leitwertmatrix ermittelt.

Gehen wir von den neuen Temperaturrandbedingungen entsprechend Bild 4.3 aus. Durch Drücken der Schaltfläche *Get L2D flows* erhält man die aus der Leitwertmatrix ermittelten Wärmeströme über die Detailgrenzen. Im Fenster *Automatic mesh* werden die folgenden Daten angezeigt:

Thermal coupling matrix L2D [W/(m·K)]:

```
BC      2      3
2:    0.2809  -0.2809
3:   -0.2809   0.2809
```

L2D* [W/(m·K)] (estimated better values):

```
BC      2      3
2:    0.281   -0.281
3:   -0.281    0.281
```

Heat flow $q[n]$ through boundaries with BC[n]:

```
q[2]=T[2]*L2D[2,2]+T[3]*L2D[2,3]
q[3]=T[3]*L2D[3,2]+T[2]*L2D[3,3]
```

Example. Assume the following temperatures:

```
BC      T
2:     20 °C
3:    -10 °C
```

The heat flows becomes using L2D(*):

```
q[2]=20*0.281+-10*-0.281=8.4297 W/m
q[3]=20*-0.281+-10*0.281=-8.4297 W/m
```

Heat flows using:

```
          L2D      L2D(*)
q[2]=          8.4267   8.4297
q[3]=         -8.4267  -8.4297
```

4.4 Berechnung der L^{2D} -Matrix mit hoher Genauigkeit

Die Leitwertmatrix kann auch für die höchste mögliche Zellenanzahl berechnet werden (siehe Fenster *Automatic mesh*, letzte Zeile **All levels** im Auswahlfeld "Max diff"). In HEAT2 werden dabei bis zu 700·700 Zellen verwendet. Die Ergebnisse werden im Fenster *Automatic mesh* wie folgt angezeigt:

Thermal coupling matrix L2D [W/(m·K)]:

```
BC      2      3
2:    0.281  -0.2809
3:   -0.281   0.2809
```

L2D* [W/(m·K)] (estimated better values):

```
BC      2      3
2:    0.2811  -0.2809
3:   -0.2811   0.2809
```

Heat flow $q[n]$ through boundaries with BC[n]:

```
q[2]=T[2]*L2D[2,2]+T[2]*L2D[2,3]
q[3]=T[3]*L2D[3,2]+T[3]*L2D[3,3]
```

Example. Assume the following temperatures:

```
BC      T
2:     20 °C
3:      0 °C
```

The heat flows becomes using L2D(*):

```
q[2]=20*0.2811+0*-0.2809=5.6217 W/m
q[3]=20*-0.2811+0*0.2809=-5.6217 W/m
```

Heat flows using:

	L2D	L2D(*)
q[2]=	5.6196	5.6217
q[3]=	-5.6196	-5.6217

4.5 Kopplung von Gruppen unterschiedlicher Randbedingungen

Eine Kopplung ist zwischen einzelnen Gruppen unterschiedlicher Randbedingungen mit konstanter Temperatur möglich. Bild 4.3 zeigt drei Randbedingungstypen (2, 3, 4) mit konstanter Temperatur.

Betrachten Sie Bild 4.4, wo wir separate Koppelungen für den oberen Innenraum (Grenzen 5+6) und den unteren Innenraum (Grenzen 2+3) definieren möchten. Durch die separate Koppelung können mit Hilfe der L^{2D} -Matrix auch in den Fällen Wärmeströme berechnet werden, in denen die Temperatur im oberen und unteren Raum unterschiedlich ist.

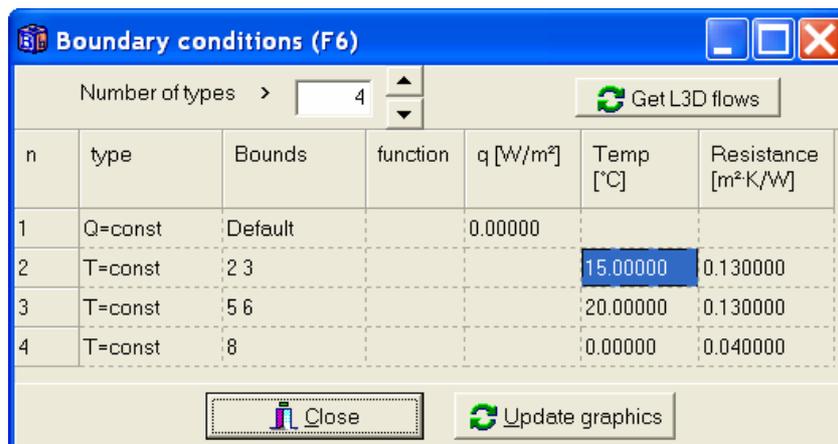


Bild 4.4: Kopplung zwischen drei Gruppen unterschiedlichen Typen von Randbedingungen mit konstanter Temperatur ($T=const$).

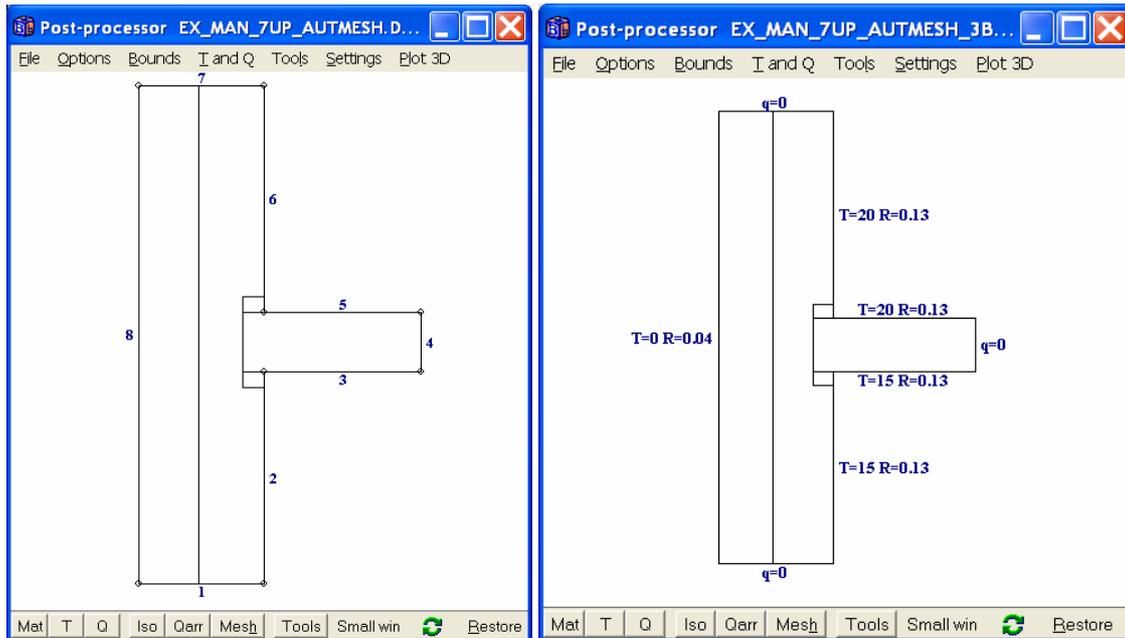


Bild 4.5: Nummern der Randbedingungen und ein Beispiel mit unterschiedlichen Innentemperaturen.

Drei automatisch durchgeführte Berechnungen ergeben die Leitwertmatrix, siehe Bild 4.6.

Boundary conditions (F6)

Number of types > 4

n	type	Bounds	function	q [W/m²]	Temp [°C]	Resistance [m²K/W]
1	Q=const	Default		0.00000		
2	T=const	2 3			1.00000	0.130000
3	T=const	5 6			0.00000	0.130000
4	T=const	8			0.00000	0.040000

Boundary conditions (F6)

Number of types > 4

n	type	Bounds	function	q [W/m²]	Temp [°C]	Resistance [m²K/W]
1	Q=const	Default		0.00000		
2	T=const	2 3			0.00000	0.130000
3	T=const	5 6			1.00000	0.130000
4	T=const	8			0.00000	0.040000

Boundary conditions (F6)

Number of types > 4

n	type	Bounds	function	q [W/m²]	Temp [°C]	Resistance [m²K/W]
1	Q=const	Default		0.00000		
2	T=const	2 3			0.00000	0.130000
3	T=const	5 6			0.00000	0.130000
4	T=const	8			1.00000	0.040000

Bild 4.6: Die drei automatisch durchgeführten Berechnungen für die L^{2D} -Matrix.

CALCULATION OF L2D FOR BC 2

```

. . .
Level 6: iter=53668, N=26413 (158,253) [192]
BC   q [W/m]      d [%]  Gessed q* [W/m]
  2   1.7308      0.063   1.7315
  3  -1.594      0.0295  -1.5943
  4  -0.1364     0.0236  -0.1365
sum: 0.0003 max:0.063 CPU:2s (total:4s)

```

Finished!
 Max diff. between solutions d=0.063%.
 Mesh factor used: 2

Thermal coupling coefficients
 for BC number 2:

2:2	1.7308	1.7315(*)
2:3	-1.594	-1.5943(*)
2:4	-0.1364	-0.1365(*)

(*) estimated better values

CALCULATION OF L2D FOR BC 3

```

Start number for max cells: [6]
. . .
Level 6: iter=55246, N=26413 (158,253) [192]
BC   q [W/m]      d [%]  Gessed q* [W/m]
  2  -1.5943     0.0539  -1.5948
  3   1.7387     0.0502   1.7393
  4  -0.1444     0.0177  -0.1444
sum: 2E-5 max:0.0539 CPU:1s (total:3s)

```

Finished!
 Max diff. between solutions d=0.0539%.
 Mesh factor used: 2

Thermal coupling coefficients
 for BC number 3:

3:2	-1.5943	-1.5948(*)
3:3	1.7387	1.7393(*)
3:4	-0.1444	-0.1444(*)

(*) estimated better values

CALCULATION OF L2D FOR BC 4

```

Start number for max cells: [6]
. . .
Level 5: iter=56670, N=6937 (77,125) [96]
BC   q [W/m]      d [%]  Gessed q* [W/m]
  2  -0.1364     0.0581  -0.1365
  3  -0.1444     0.0478  -0.1445
  4   0.2809     0.0507   0.281
sum:-9.6E-6 max:0.0581 CPU:1s (total:2s)

```

Finished!
 Max diff. between solutions d=0.0581%.
 Mesh factor used: 2

Thermal coupling coefficients
 for BC number 4:

4:2	-0.1364	-0.1365(*)
4:3	-0.1444	-0.1445(*)
4:4	0.2809	0.281(*)

(*) estimated better values

Thermal coupling matrix L2D [W/(m·K)]:

BC	2	3	4
2:	1.7308	-1.594	-0.1364
3:	-1.5943	1.7387	-0.1444
4:	-0.1364	-0.1444	0.2809

L2D* [W/(m·K)] (estimated better values):

BC	2	3	4
2:	1.7315	-1.5943	-0.1365
3:	-1.5948	1.7393	-0.1444
4:	-0.1365	-0.1445	0.281

Heat flow q[n] through boundaries with BC[n]:

$$q[2]=T[2]*L2D[2,2]+T[2]*L2D[2,3]+T[2]*L2D[2,4]$$

$$q[3]=T[3]*L2D[3,2]+T[3]*L2D[3,3]+T[3]*L2D[3,4]$$

$$q[4]=T[4]*L2D[4,2]+T[4]*L2D[4,3]+T[4]*L2D[4,4]$$

Example. Assume the following temperatures:

BC	T
2:	15 °C
3:	20 °C
4:	0 °C

The heat flows becomes using L2D(*):

$$q[2]=15*1.7315+20*-1.5943+0*-0.1365=-5.9135 \text{ W/m}$$

$$q[3]=15*-1.5948+20*1.7393+0*-0.1444=10.863 \text{ W/m}$$

$$q[4]=15*-0.1365+20*-0.1445+0*0.281=-4.9369 \text{ W/m}$$

Heat flows using:	L2D	L2D(*)
q[2]=	-5.9183	-5.9135
q[3]=	10.86	10.863
q[4]=	-4.9354	-4.9369

Durch Verwendung der L^{2D} -Matrix zur Bestimmung der Wärmeströme, z.B. für die nachfolgend genannten Temperaturen, ergibt sich:

Example. Assume the following temperatures:

BC	T
2:	20 °C
3:	20 °C
4:	0 °C

The heat flows becomes using L2D(*):

$$q[2]=20*1.7315+20*-1.5943+0*-0.1365=2.7442 \text{ W/m}$$

$$q[3]=20*-1.5948+20*1.7393+0*-0.1444=2.8892 \text{ W/m}$$

$$q[4]=20*-0.1365+20*-0.1445+0*0.281=-5.6194 \text{ W/m}$$

Heat flows using:	L2D	L2D(*)
q[2]=	2.7355	2.7442
q[3]=	2.8889	2.8892
q[4]=	-5.6175	-5.6194

Aus der L^{2D} -Matrix berechnet sich ein Wärmestrom über die inneren oberen Grenzen (BC type=3, siehe Grenzen 5+6 in Bild 4.4) von 2,8889 W/m. Eine detaillierte Berechnung ergibt $q=0,6857+2,203=2,8887 \text{ W/m}$.

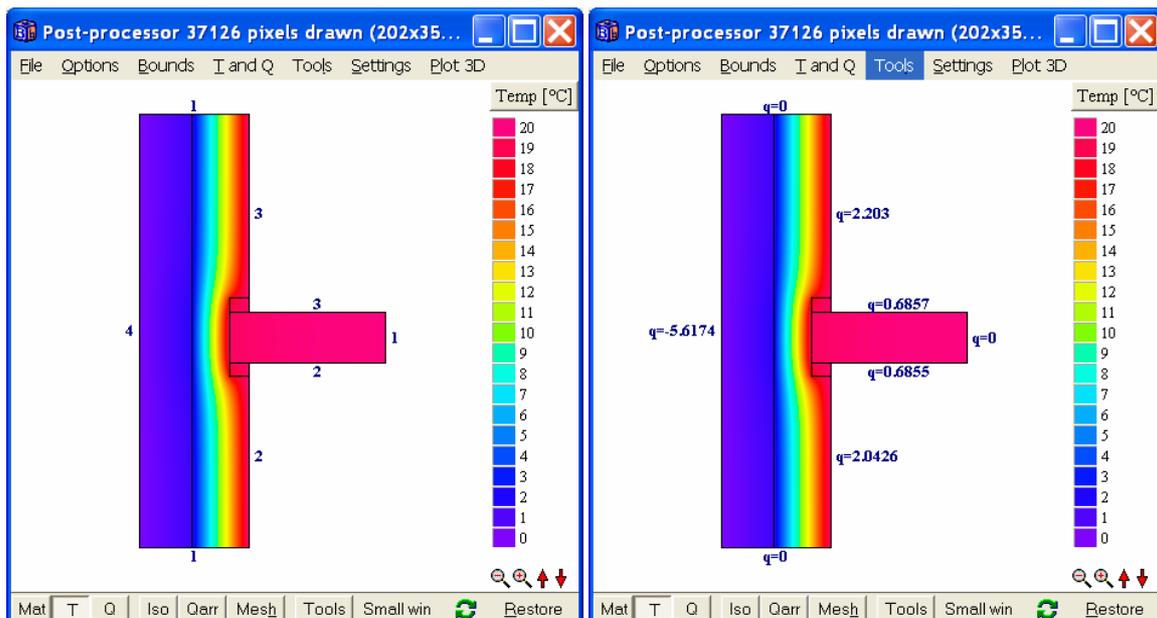


Bild 4.7: Wärmeströme über die Detailgrenzen nach detaillierter Berechnung.

4.6 Hinweise

Die Leitwertmatrix wird nicht automatisch gespeichert. Es ist jedoch möglich, den Inhalt des Editors in die Zwischenablage zu kopieren und anschließend in ein anderes Programm, beispielsweise Word, einzufügen.

Berechnungen mit automatischer Netzgenerierung sind sowohl mit expansiven Berechnungsnetzen (d.h. bei Verwendung eines "expansion points" im Preprozessor) als auch bei äquidistanten Berechnungsnetzen möglich.

Beachten Sie, daß die Summe jeder Zeile (und jeder Spalte) der Leitwertmatrix einer Berechnung Null sein muß und die Matrix immer symmetrisch ist. Ist die Summe der Leitwerte ungleich Null, wurde wahrscheinlich kein ausreichend niedriger Wert für das Stopkriterium für den Wärmestrom über die Modellgrenzen (*Boundary flows*) gewählt, siehe auch Bild 6.2.

5. Stapelverarbeitung (Batch jobs)

5.1 Batch job-Optionen

Für die Vorbereitung einer HEAT2-Stapelverarbeitung können die in Tabelle 5.1 dargestellten Parametern verwendet werden.

Parameter	Beschreibung	gefolgt von
Filename	Der erste Parameter ist der Name der Eingabedatei (mit oder ohne Erweiterung .dat). Beachten Sie, daß im Dateinamen keine Leerzeichen erlaubt sind ("my_file" ist OK, aber nicht "my file").	
s	stationäre Berechnung	
t	instationäre (transiente) Berechnung	String (Stopzeit z.B. "1d3h")
w	Relaxationskoeffizient (verwendet mit dem Parameter "noopt")	reelle Zahl (z.B. "1.93")
x	Lesen der Temperaturfeld-Datei (wird verwendet für das Anfangstemperaturfeld)	String (z.B. "temp.txt")
y	Schreiben der Ausgabe-Temperaturfeld-Datei (berechnetes Temperaturfeld wird in dieser Datei gespeichert)	String (z.B. "temp.txt")
r	Rekorderausgabe-Datei (Rekorder sollte in der Eingabedatei aktiviert werden)	String (z.B. "recfile.rec")
min	Minimierung von HEAT2 nach dem Start	
nowait	HEAT2 wartet nach jedem Job standardmäßig 10 Sekunden um dem Benutzer eine Unterbrechung der Stapelverarbeitung zu ermöglichen. Der Parameter "nowait" läßt HEAT2 ohne Wartezeit mit dem nächsten Job fortfahren.	
noopt	ohne Optimierung des Relaxationskoeffizienten (Der durch den Parameter "w" festgelegte Relaxationskoeffizient wird verwendet. Fehlt dieser, wird der in der H2P-Datei angegebene Wert verwendet.)	
cen	Berechnung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten (ψ) nach EN ISO 10211. Die Ergebnisse werden in die Datei <i>BatchLog.txt</i> geschrieben.	
aut	Verwendung der automatischen Netzgenerierung nach Kapitel 2	
l2d	Berechnung der Leitwertmatrix nach Kapitel 4. Die Ergebnisse werden in die Datei <i>BatchLog.txt</i> geschrieben.	

Tabelle 5.1: HEAT2-Startparameter.

Zwischen den Parametern muß mindestens ein Leerzeichen vorhanden sein. Ein Beispiel ist die Befehlszeile

"HEAT2 ex1 s"

Damit kann eine stationäre Berechnung der Eingabedatei ex1.dat gestartet und HEAT2 nach der Berechnung wieder geschlossen werden. Die berechneten Wärmeströme sowie die Anfangs- und die Stopzeit werden in einer Log-Datei, bezeichnet mit **BatchLog.txt**, abgespeichert:

```
EX1 S
Calculation started at 1:12:27 PM, 7/16/2006
Bound   q           q           length  BC
        [W/m²]      [W/m]       [m]
2       11.888      6.6572      0.56    [2] T=20 R=0.13
3       4.0698      1.4651      0.36    [2] T=20 R=0.13
4       0.5243      0.0629      0.12    [2] T=20 R=0.13
5       4.0699      1.4651      0.36    [2] T=20 R=0.13
6       11.88       6.7718      0.57    [2] T=20 R=0.13
8      -12.048      -6.8676      0.57    [3] T=0  R=0.04
9      -3.4936     -1.3974      0.4     [3] T=0  R=0.04
10     -0.0526     -0.0063      0.12    [3] T=0  R=0.04
11     -3.4934     -1.3974      0.4     [3] T=0  R=0.04
12    -12.059     -6.7533      0.56    [3] T=0  R=0.04
Sum flows:           0.0002 W/m
Sum pos flows:    16.422 W/m

Heat flows for each BC:
BC           q [W/m]
[2]          16.422
[3]          -16.422
Sum:         0.0002
Calculation stopped at 1:12:27 PM, CPU time=0.172s ICPS=334302 (iterated cells
per second) Iter=125
```

Ist bereits eine Datei BatchLog.txt vorhanden, werden die Daten am Dateiende angehängt.

HEAT2 zeigt ein Fenster mit den Parametern der Stapelverarbeitung an, siehe Bild 5.1. Ein Batch job kann mit der Schaltfläche "Cancel batch job" abgebrochen werden.

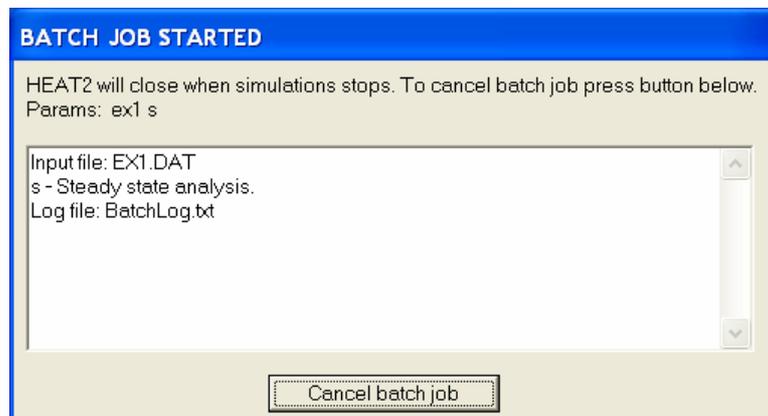


Bild 5.1: Während der Stapelverarbeitung von HEAT2 angezeigtes Fenster

5.2 Starten multipler Stapelverarbeitungsaufgaben

Multiple Stapelverarbeitungen können mit Hilfe eines bat-Files gestartet werden. Das bat-File kann mit einem einfachen Editor wie *Notepad* oder *WordPad* erzeugt werden. Der Dateiname muß die Namensendung "bat" (z.B. *mybat.bat*) oder "cmd" haben. Ein Beispiel für den Inhalt einer solchen Datei ist unten dargestellt.

```
HEAT2 ex1 s //steady-state
HEAT2 ex1 s noopt w 1.99 //steady-state, use fixed relaxation 1.99
HEAT2 ex2 t ld y tfile.txt //transient 1 day, writes temperature field
```

```

HEAT2 ex2 t 2d x tfile.txt //transient 2 days, reads temperature field
HEAT2 ex3 t 1d r test //transient, recorder file test.rec will be saved
HEAT2 ex1 s noopt w 1.93 //steady-state, use fixed relaxation coeff. w=1.93
HEAT2 Ex_man_7up_autmesh.dat 12d //calculates L2D matrix, forces automatic mesh

```

Das Batch-File kann durch Anklicken gestartet werden.

Eine Befehlszeile kann ignoriert (übersprungen) werden, indem man einen Buchstaben vor den Programmnamen setzt, z.B. "xHEAT2 ex1 s".

Sie können die Stapelverarbeitung während der Abarbeitung stoppen, indem Sie das Batch-Fenster (z.B. mybat.bat) schließen und anschließend die Berechnung in HEAT2 stoppen.

Zum Testen wurde ein Batch-File (*Batch_test.bat*) mit dem Programm auf Ihren PC kopiert. Um es zu starten, müssen Sie nur auf die Datei klicken.

```

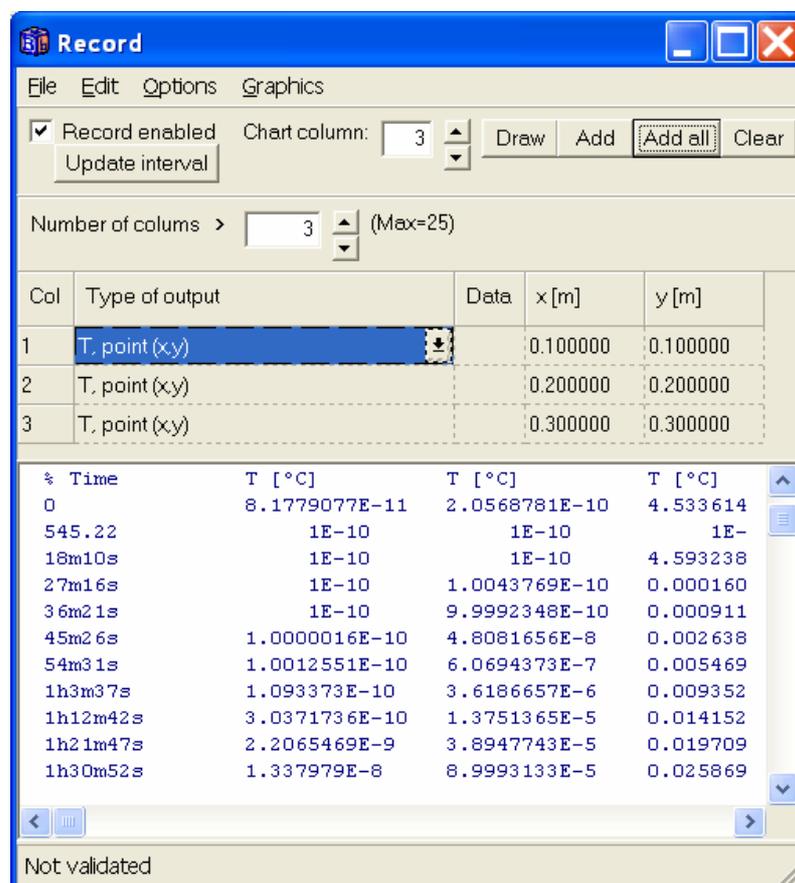
HEAT2 examples/Ex_man_7up_autmesh.dat 12d
HEAT2 examples/Ex_man_7up_autmesh.dat t 1d y test.tij
HEAT2 examples/Ex_man_7up_autmesh.dat t 2d x test.tij

```

6. Weitere neue Funktionen und Änderungen

6.1 Rekorder

Das Diagrammfenster des Rekorders ermöglicht jetzt die Anzeige mehrerer Linien im gleichen Diagramm. Benutzen Sie die Schaltflächen *Draw* (Zeichnen), *Add* (Hinzufügen), *Add all* (Alle Hinzufügen) und *Clear* (Löschen) im Rekorderfenster, siehe Bild 6.1.



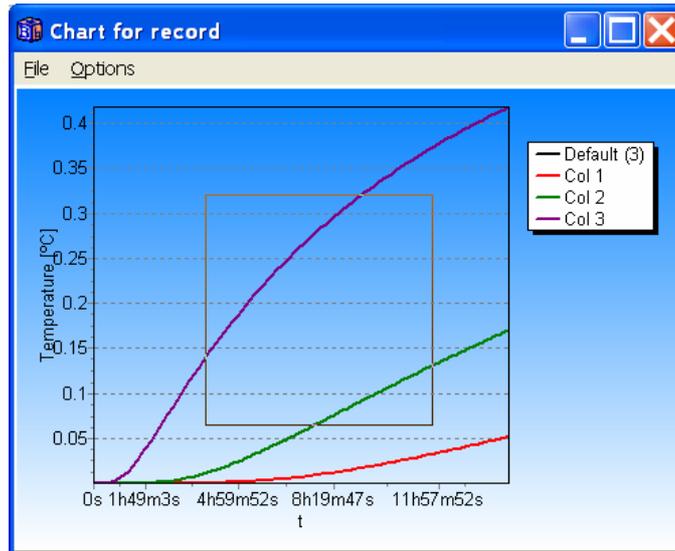


Bild 6.1: Rekorderfenster (oben bzw. Vorseite) und Diagrammfenster (unten) mit den Schaltflächen *Draw*, *Add*, *Add all* und *Clear* zum Hinzufügen von Datenlinien in Diagramme. Unten ist außerdem ein Zoombereich dargestellt.

6.2 Optimierung der numerischen Lösung

Durch eine Optimierung des Relaxationskoeffizienten und der numerischen Lösungsverfahren werden jetzt viele stationäre Berechnungen 5-10 mal (!) schneller berechnet.

6.2.1 Optimierung des Relaxationskoeffizienten

Der Relaxationskoeffizient wird jetzt während der Berechnung optimiert, was zu erheblichen Verringerungen der Rechenzeiten führen kann. So dauert die stationäre Berechnung des Prüferenzfalls 2 nach EN ISO 10211 (siehe Abschnitt 8.3 im Handbuch zu HEAT2 Version 5) mit 21.000 Knoten mit der neuen Optimierung nur noch 5 Sekunden (Pentium 4 mit 2,7 MHz). Ohne Optimierung benötigt diese Berechnung mit dem Standardwert des Relaxationskoeffizienten von 1,95 dagegen 85 Sekunden (Extremfall). Der Unterschied entspricht einem Faktor 17! (Beachten Sie, daß eine Berechnung dieses Beispiels mit automatischer Netzverfeinerung und dem EN ISO 1%-Kriterium nach Kapitel 2 nur ca. eine Sekunde dauert).

Die Optimierung ist standardmäßig aktiviert, kann aber auch abgeschaltet werden (Menüpunkt *Solve/Options for steady-state*), siehe Bild 6.2.

6.2.2 Optimierung der numerischen Lösungsverfahren

Für die meisten stationären Berechnungen werden jetzt verschiedene numerische Schemata optimiert. Dies kann die Berechnungsgeschwindigkeit um bis zu 25% erhöhen. Die Option ist standardmäßig aktiviert, siehe Bild 6.2. Informationen zur Optimierung werden vom Programm im Fehlersuchfenster angezeigt, welches über den Menüpunkt *Output/Debug window* geöffnet wird. Bei einigen komplizierten Fällen, z.B. solchen mit internen Modifikationen, erfolgt keine Optimierung des numerischen Schemas.

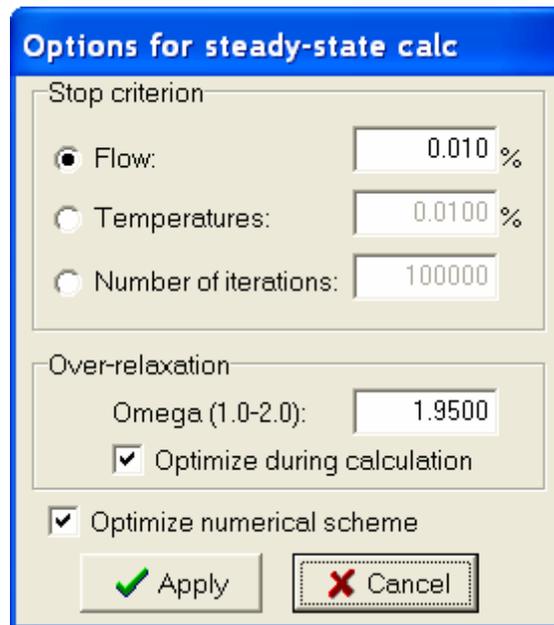


Bild 6.2: Optimierung des Relaxationskoeffizienten und des numerischen Schemas ist standardmäßig aktiviert.

6.3 Verbesserungen des Preprozessors

Bild 6.3 zeigt das neue Layout des Preprozessors. In der Statuszeile am unteren Rand werden Informationen, beispielsweise Materialeigenschaften, angezeigt.

Der Preprozessor wird jetzt nach einer Simulation gesperrt. Durch die Sperrfunktion ("Lock") sollen unbeabsichtigte Änderungen vermieden werden. Viele Werkzeuge sind im Lock-Modus gesperrt, aber einige Werkzeuge, z.B. "Temperaturlinien" (*temperature lines*), sind weiter verfügbar. Eine Entriegelung des Preprozessors ist über die Schaltfläche **Lock** (links unten) möglich.

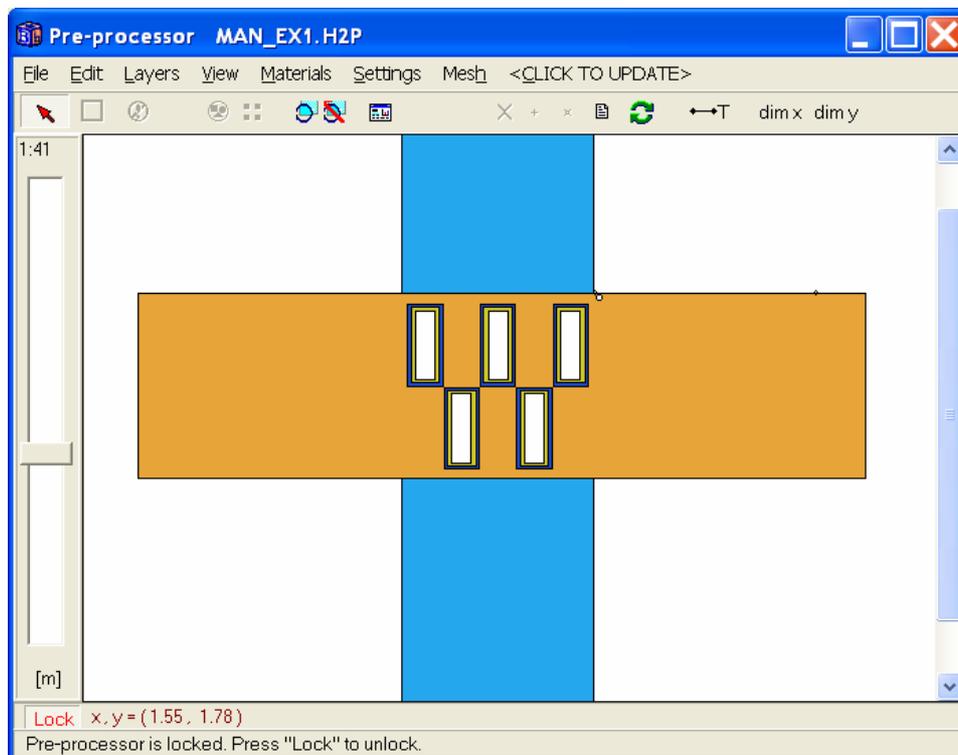


Bild 6.3: Neues Layout des Preprozessors.

6.4 Desktop speichern

Der Zustand des HEAT2-Desktops (Lage und Größe der Fenster) kann in einer Datei (*.dsk) gespeichert und wieder geladen werden (Menüpunkt *Options*). Dabei werden die meisten, aber nicht alle Fenster berücksichtigt.

Optional kann ein Standard-Desktopfile "HEAT2.DSK" bei jedem Start/Beenden geladen bzw. gespeichert werden.

6.5 Option Speichern/Einlesen von Temperaturfeldern

Das Temperaturfeld $T(i,j)$ kann jetzt als Textdatei gespeichert und wieder eingelesen werden. Dadurch ist es beispielsweise möglich ein bereits berechnetes Temperaturfeld bei weiteren Berechnungen, z.B. instationären Simulationen, zu nutzen (unter der Voraussetzung gleicher Geometrie und Unterteilung der Modelle). Selbstverständlich ist es auch möglich die Textdatei zu bearbeiten.

6.6 Änderung der Schriftart im Postprozessor

Die Schriftart der Legende auf der rechten Seite des Postprozessor (Materialnamen, Temperaturen und Wärmeströme) kann jetzt über den Menüpunkt *Settings/Text font in right panel* geändert werden.