

Temperatur-Analysen mit Konvektion und Konduktion



<u>www.femcad.de</u> <u>www.fem-infos.com</u>

# Kapitel 7b - Temperatur-Analysen mit Konvektion und Konduktion

**Konvektion** oder Wärmeströmung ist eine Wärmeübertragung, bei der Wärme durch strömende Flüssigkeiten (z.B. Wasser) oder strömende Gase (z.B. Luft) übertragen wird.

**Konduktion** oder Wärmeleitung ist eine Wärmeübertragung zum Transport von thermischer Energie. Wärme fließt dabei immer in Richtung geringerer Temperatur ohne Wärmeenergieverlust.

**Wärmestrahlung** ist eine Wärmeübertragung durch elektromagnetische Wellen. Die Sonne ist die wichtigste Quelle für Wärmestrahlung.



## Beispiel 1: Isolierte Wand mit einer 2D-Konvektion

Eine Wand mit einer Wärmeleitfähigkeit von 1.2 W/mK wird auf der linken Seite über einen Boiler auf 1000 °C erhitzt. Die Wärme wird über die Isolierung mit 0.3 W/mK an die Luft mit einer Konvektion von 30 W/m²K und einer Umgebungstemperatur von 27 °C abgeführt. Berechnen Sie die Temperaturen

T1 bei X= 0 m
T2 bei X= 0.5 m
T3 bei X= 1.0 m
T4 bei X= 1.06 m



## Knotenpunkte im Linien-Modus eingeben

Starten Sie MEANS V12 und wählen Register "Datei" und "Neu" und wählen das Menü "Neues FEM-Projekt mit Balken-Linien-Modus erstellen".

🔡 Neues 🛙	<sup>p</sup> rojekt	-		×
○ 3D-N	etzgenerator NE	TGEN (STEP, I	GES, STL)	)
O 3D-N	etzgenerator GM	SH (STEP)		
Neue	s FEM-Projekt mi	t <mark>Balken-Linie</mark> n-	Modus ers	tellen
() Neue	s FEM <mark>-</mark> Projekt mi	t Behälter-Netzg	generator	
			_	

und geben im Linien-Modus folgende 6 Knotenpunkte ein:

 $\begin{array}{rrrr} 1 & 0, 0, 0 \\ 2 & 1, 0, 0 \\ 3 & 1.06, 0, 0 \\ 4 & 1.06, 2, 0 \\ 5 & 1, 2, 0 \\ 6 & 0, 2, 0 \end{array}$ 

indem Sie zuerst mit "Neu" die Koordinaten eingeben und mit "Einzelknoten erzeugen" den Knoten erzeugen.



#### **3D-Netzgitter erzeugen**

Wählen Sie Menü "3D-Netzgitter" um ein 20x50 Netzgitter zu generieren. Geben Sie die Kanten 1,2,5 und 6 sowie die Anzahl in X-Richtung = 20 und in Y-Richtung = 50 ein um ein Netzgitter mit Menü "3D-Netzgitter generieren" zu erzeugen.



Dannach klicken Sie auf den Farbenkasten für eine neue Farbe und erhöhen mit "Neu" die Elementgruppe auf 2.

Grundfarben:	Knotenbereich kopieren
	Knoten vereinen
	Knoten prüfen
	Netzgeneratoren
	2D-Netzgenerator
Benutzerdefinierte Farben:	3D-Netzgitter
	EG= 2 V Neu
Farben definieren >>	DXF-Linien einladen
OK Abbrechen	UNDO / REDO

Wählen Sie wieder Menü "3D-Netzgitter" um das zweite Netzgitter zu generieren. Geben Sie die Kanten 2,3,4 und 5 sowie die Anzahl in X-Richtung = 3 und in Y-Richtung = 50 ein um ein Netzgitter mit Menü "3D-Netzgitter generieren" zu erzeugen.



#### Temperatur-Analyse einstellen

Wählen Sie Register "FEM-Analyse" und das Menü "Temperatur" um den Rechenablauf für die Temperatur-Analyse einzustellen.





Unter Register "FEM-Projekt bearbeiten" können nun über das Menü Temperatur

die Knoten-Temperaturen sowie Wärmequellen, Konvektionen und Strahlungen eingegeben werden.

Knoten-Temperaturen ( °C )	● Stationär ○ Instationär ○ Statik
Punktquelle, Lasttyp 2 (W)	Materialdaten
	Material-Datenbank
Flächenquelle, Lasttyp 7 (W/m²)	Konvektions-Datenbank
Konvektion, Lasttyp 8 (W/m³K)	Internet-Links:
Strahlung, Lasttyp 9	Wärmeleitfähigkeit für unter. Materialien Spez. Wärmekapazität für unter. Materialien

## Mit "Konvektions-Datenbank" können wichtige Konvektionen gespeichert werden:

Bezeichnung:	Konvektion	isolierte Wand				
Temperatur (°C):	27		1			
Konvektion (W/m²K):	30	30				
Add Delete	Save	Material übernehmen	Datenbank einlad			
Werkstoff		Temperatur:	Konvektion:			
Aussen -10 °C Aussen -18 °C Aussen -5 ° C Dach letzte Schicht Dachboden -4 °C Erdreich 8 °C Garage -8 °C Innen Rsi 0.25 Innenboden 8 °C Innenboden 8 °C Innenwand	-10 -18 -5 -10 -4 8 -8 20 20 20 8 20		25 25 25 10 10 10 7.692 4 5.882 5.882 7.692			

#### Knoten-Temperaturen erzeugen

Die Temperatur auf der linken Wandseite beträgt 1000 °C. Wählen Sie dazu in der Temperatur-Dialogbox das Menü "Knoten-Temperaturen" und erzeugen mit einem aufgespannten Rahmen auf der linken Seite die Knoten-Temperaturen.

		Rechteck aufspannen	
Randbedingungen	- 🗆 X		
Anzahl Randbedingungen aktuell: 50	Neu		
Wert der Randbedingung: 1000			
Freiheitsgrad sperren:			
🗹 Temperatur	🔲 in Z-Richtung		
in Y-Richtur	ng 📃 Einspannung		
Selectieren			
Flächenmodus	Rechteck aufspannen		
🔘 einzelne Knoten anklicken 🛛 🔘 a	alle angezeigten Knoten wählen		
O Koordinatenbereich definieren	alle angezeigten Surfaces wählen		
RB-Symbole umdrehen	n RB-Farbe:		
Cancel Editor	RBs erzeugen		
	RBs löschen		

#### Konvektion erzeugen

Wählen Sie in der Temperatur-Dialogbox das Menü "Konvektion, Lasttyp 8" um die Konvektion mit Luft von 30 W/m<sup>2</sup>K und der Umgebungstemperatur von 27 °C mit einem aufgepannten Rahmen auf der rechten Seite einzugeben.

Konvektion erze	ugen	- 0	×	
Aktueller Lastfall:	1			
Anzahl Lastwerte:	50	Neu	1	
Wert der Konvektig	on: 30	(W/m³K)		
Temperatur:	27	(°C)		
Freiheitsgrad:	<ul> <li>X-Richtung</li> <li>Y-Richtung</li> </ul>	<ul> <li>Z-Richtung</li> <li>senkrecht zur R\u00e4che</li> </ul>		
Selectieren O Rächenmodus		Rechteck aufspannen		
<ul> <li>einzelne Knoter</li> <li>Koordinatenber</li> </ul>	n anklicken eich definieren	◯ alle angezeigten Knoten wähler		
Cancel	Editor	Konvektion erzeugen		
		Konvektion löschen	]	
			1	
			1	
			1	
			1	

## Wärmeleitfähigkeiten erzeugen

Wählen Sie in der Temperatur-Dialogbox das Menü "Materialdaten" um die Wärmeleitfähigkeit der Wand von 1.2 W/mK für die Elementgruppe 1 einzugeben.

	Bezeichnung	Materialwerte			
ł.	E-Modul	1			
	Poisson-Zahl	0			
	Dichte	0			
	Waermekoeffizient	0			
	Waermeleitfähigk	1.2			
	spez. Wärmekap	0			
	Referenztempera	0			
	Wärmestrom	0			
	Dämpfung	0			
	Wandstärke	1			
E	ementgruppe: 1	Elementtyp: QUA8S		<	>
	O Isotrop	Temperatur			
	Material-Datenban	k	ОК		

Scrollen Sie zur Elementgruppe 2 um die Wärmeleitähigkeit der Isolation von 0.3 W/mK einzugeben.

	Bezeichnung	Materialwerte			
	E-Modul	1			
	Poisson-Zahl	0			
	Dichte	0			
	Waermekoeffizient	0			
	Waermeleitfähigk	.3			
	spez. Wärmekap	0			
	Referenztempera	0			
	Wärmestrom	0			
	Dämpfung	0			
	Wandstärke	1			
e.					
Ð	ementgruppe: 2	Elementtyp: QUA8	Satur	<	>
	Material-Datenban	k	ОК		
F					

Alle anderen Werte sind Null und werden nicht benötigt. Das E-Modul wird ebenfalls nicht benötigt muß aber immer größer Null sein sonst bricht der Solver ab.

Die Wandstärke kann ebenfalls Null sein wird aber dann vom Solver auf 1 m gesetzt.

Sichern Sie das Modell unter einem beliebigen Namen mit Register "Datei" und "Speichern" ab.

#### FEM-Analyse

Wählen Sie das Register "FEM-Analyse" und das Icon Temperaturen mit dem Quick-Solver zu berechnen.



Wählen Sie Menü "2D-Scheiben CPS6 or CPS8 (quadratic plane Stress element)" und "Start FEM-Solver with INP-Interface" um MEANS V12 zu beenden und den FEM-Solver zu starten.

Datei Ansicht	Netzgeneri	ierung	FEM-Pr	rojekt b	earbeiten	FEM-Analy	se Erge	ebnisausv	vertung
3. Temperatur FEM-Analyse	*    y	FEM-Sol	ver wähler -Ablauf	n N	nfos zum Fl ⁄lodell-Abn Infos Struk	M-Modell nessungen turmodell ry	FEM-Ass	istent 🕞	
Quick-Solver							11 <del></del>		×
Normal Precision			C ~ C D C D	) (au a dai	a alana atraa	a alamant)			
Normal Precision	<ul><li>2D-Sch</li><li>3D-Sch</li></ul>	heiben CPS halen S6 or	56 or CPS8 r S8 (6- or 8	3 (quadri 8-node c	c plane stres Juadric <mark>shell</mark>	s element) element)			
Normal Precision	2D-Sct     3D-Sct     C3D20	heiben CPS halen S6 or ) (20-node o es\FEM-Sv	S6 or CPS8 r S8 (6- or 8 quadric isop rstem MEA	8 (quadri 8-node c paramet	c plane stres juadric shell ric element) 2\Debug\ing	s element) element) psolver\inpsolver	64bit.e	Browser	
Normal Precision	2D-Sct     3D-Sct     C3D20     C:\Program File     C:\projekte\cc	heiben CPS halen S6 or ) (20-node o es\FEM-Sy onvection\	56 or CPS8 r S8 (6- or 8 quadric isop rstem_MEA beispiel 1\b	3 (quadri 8-node c paramet ANS_V1 b1.INP	c plane stres juadric shell ric element) 2\Debug\inp	s element) element) psolver\inpsolver	64bit.e	Browser	
Normal Precision	2D-Sch     3D-Sch     C3D20      C:\Program File      C:\projekte\cc      Select Solver	heiben CPS halen S6 or ) (20-node o es\FEM-Sy onvection\ r () In-C	66 or CPS8 r S8 (6- or 8 quadric isop rstem_MEA beispiel 1\ <u>k</u> Core-Solver	3 (quadri 8-node c paramet ANS_V1 b1.INP	c plane stres juadric shell ric element) 2\Debug\inp ) Out-of-Co	s element) element) osolver\inpsolver pre-Solver	64bit.e	Browser	

Nach der FEM-Berechnung das aktivierte Menü "Postprocessing MEANS V12 for DirectX11 starten" um MEANS V12 wieder mit dem FEM-Modell darzustellen.

		VIZ IOI DIFECTA	11 starten
Ton ausschalten	Rechenzeit:	0:0:0:1:93	Abbruch
actoring the system of sing up to 1 cpu(s) fo	equations using the sym r the heat flux calculati	metric spooles solver ion.	
verage flux= 6.150738 ime avg. flux= 6.15073	8		
argest residual flux=	0.000000 in node 2656 and mp= 9.889866e+02	d dof 0	
rgest increment of te	emp= 1.587631e-11 in node	250 and dof 0	
rgest increment of te rgest correction to t nvergence	emp= 1.587631e-11 in node	250 and dof 0	

# Postprocessing



Wählen Sie das Register "Ergebnisauswertung" und das Icon Immediate um die Knoten-Temperaturen im stationären Zustand grafisch darzustellen.

FEM-System MEANS V12 - Strukturdatei C:\projekte\convection\beispiel 1\b1.fem

×

Oatei Ansicht Netzge	enerierung FEM-Proje	kt bearbeiten FEM-Analys	se Ergebnisauswertung
Ergebnisse auswerten	Verformungsfaktor Knotenwerte picken Skalieren/Anzeigen 🕞	Legende 1 Diagramm 1 Legenden/Diagramme	DXF-Postprocessing Value-Animation  S DXF/Animation  Da
Temperatur			
Stationäre Knotentemperaturen			
1000.0			
855.3			
720.6			
585.9			
451.3			
316.6			
181.9			
57.2			
Bearbeiten +			
Y			
A	-		

Wählen Sie das Menü "Diagram 1" um den Verlauf der Temperaturen in X-Richtung in einem Diagramm darzustellen.









#### Beispiel 2: Isolierte Wand mit einer 3D-Konvektion

Das vorige Beispiel aus QUA8S-Flächenelementen wird mit einer 3D-Extrudierung in ein Hexaeder-Netz umgewandelt.

Quad	-iverze, ven	emern, Los	chen					30 <b>-</b> 32	
/ierecke	Verfeinem	Konverter	Extrudieren	Rotieren	Löschen	Drehen			
	12	307 1020				202028 - 1223			
	Es	wird ein Bal	ken-, Dreieck	s- oder Vier	recksnetz m	it Z=0 benotigt.			
		н	noten in Z-Ri	chtuna =	20				
					1795. 1	50.0			
		(	Z-Objektho	ihe =	1				
		(	) oder Wand	dstärken au	is Materialda	aten übernehmer	n		
	DXF	UNE	0	30	D-FEM-Netz	erzeugen		Cancel	
	DXF	UNL		31	J-FEM-Netz	erzeugen		Lancel	

Wählen Sie Register "Netzgenerierung" mit das Menü "Quad-Netz, Verfeinern, Löschen" und Register "Extrudieren" um mit Menü "3D-FEM-Netz erzeugen" ein HEX8-Netz mit Anzahl Knoten in Z-Richtung = 20 und Z-Tiefe = 1 m zu generieren.

	😬 — 🗆 X
	Flächen Knoten Linien
	Anzahl Surfaces = 6
	Surface 1
	Surface 2
	Surface 4
	Surface 6
	Hidden-Line erzeugen
	Flächenmodell erzeugen
	Flächen sortieren/optimieren
	Einzelne Flächen ausblenden
	Einzelne Flächen einblenden
	Schnitte mit EGs erzeugen
Y I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	Alle wieder einblenden
	Netz aus Flaechenmodell
	Flächenmodus beenden
x	

# Eingabe der Knoten-Temperaturen

Die Knotentemperaturen mit 1000 °C auf der linken Seite wurden bereits wie die Materialdaten aus den 2D-Modell übernommen und in die Z-Tiefe extrudiert und brauchen nicht mehr erzeugt werden.



## Konvektion erzeugen



Wählen Sie Register "FEM-Projekt bearbeiten" und das Icon <sup>Temperatur</sup> und erzeugen eine Konvektion von 30 W/m<sup>2</sup>K und der Temperatur von 27°C an der rechten Seite indem Sie die Surface 3 anklicken und in der Selectbox erzeugen.

FEM-Projek	ct bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswertung	Training					
<b>b</b> edingungen	1. Randbedi ✓ Randbedir	ingungen 🔹	Elementgruppen		Editor	б. Belastungen	•	Temperatur	
	Fla	ichen-Modus aktivie	rt - Fläche= 3					T <sub>2</sub>	

		7	
H Konvektion erzeugen	- 🗆 X	-	
Aktueller Lastfall: 1		and a start of the	
Anzahl Lastwerte: 931	Neu		
Wert der Konvektion: 30	(W/m²K)	11	
Temperatur: 27	(°C)		
Freiheitsgrad			
O X-Richtung	O Z-Richtung	l de la companya de	
O Y-Richtung	Senkrecht zur Fläche		
Selectieren		1	
Flächenmodus	echteck aufspannen		
○ einzelne Knoten anklicken ○ al	le angezeigten Knoten wählen		
O Koordinatenbereich definieren			
Cancel	Konvektion erzeugen		
	······································		
	Konvektion loschen	1	
		1	
		1	
		ţ	
		1	
			and a second

Speichern Sie nun das FEM-Modell unter einem beliebigen Namen auf der Festplatte ab und führen eine FEM-Analyse durch.

## Postprocessing

Nach der FEM-Analyse wählen Sie wieder Register "Ergebnisauswertung" um die Knoten-Temperaturen grafisch auszuwerten. Die Ergebnisse stimmen mit den exakten Werten = 57.41°C genau überein.

