



Fachbereich
MASCHINENWESEN

Fachgebiet
TECHNISCHE THERMODYNAMIK

**Instationäre Wärmeleitung
für symmetrische Bedingungen
nach Gröber**

FluidMAT GROEBER
für Mathcad®
Version für Studierende

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar
Dr.-Ing. I. Stöcker
Dipl.-Inf. (FH) I. Jähne
M. Lange

Instationäre Wärmeleitung für symmetrische Bedingungen nach Gröber

**FluidMAT
GROEBER**

Inhalt

0. Lieferumfang
1. Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliothek
2. Berechnungsprogramme
3. Installation von FluidMat in Mathcad®
4. Beispiel: Berechnung von $\mathcal{G}_M = f(\text{geo}, Bi, Fo)$ in Mathcad®
5. Programmdokumentation
6. Literaturverzeichnis

© Hochschule Zittau/Görlitz - University of Applied Sciences
Fachbereich Maschinenwesen
Fachgebiet Technische Thermodynamik
Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar
Dr.-Ing. I. Stöcker
Tel.: 03583-61-1846 oder -1881
Fax: 03583-61-1847
E-mail: hj.kretzschmar@hs-zigr.de
Internet: www.thermodynamik-zittau.de

0. Lieferumfang

CD "FluidMAT GROEBER" mit folgenden Dateien:

FluidMAT_Groeber_Setup.exe	Selbstentpackende Installationsdatei
MAT_Groeber.xml	Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für GROEBER
MAT_Groeber_DE.xml	Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für GROEBER
MAT_Groeber_EN.xml	Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für GROEBER
FluidMAT_Groeber_Doku.pdf	Programmdokumentation

Programmdokumentation als gedrucktes Exemplar bei Versand

1. Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliothek

Instationäre Wärmeleitung

Die instationäre Wärmeleitung in Festkörpern beschreibt alle Aufheiz- und Abkühl-Vorgänge. Für viele Fälle ist jedoch die numerische Lösung sehr aufwendig und kann nur mit erheblicher Rechentechnik bewältigt werden.

Die GRÖBER-Lösung ist eine analytische Lösung für symmetrische Rahmenbedingungen. Diese Berechnung ermöglicht die Ermittlung von Kern-, Wand- und kalorischer Mitteltemperatur. Die Temperaturen werden dabei als normierte Übertemperaturen behandelt.

Diese berechnet sich aus: $\vartheta = \frac{t - t_F}{t_0 - t_F}$ mit t_F - konstante Fluidtemperatur
 t_0 - Anfangstemperatur des Körpers
 t - Temperatur im Körper

Als wichtigste Einflüsse werden nach GRÖBER die dimensionslosen Größen Fourier-Zahl und Biot-Zahl verwendet.

Die Fourier-Zahl ist dabei die dimensionslose Zeit:

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{geo}^2} \quad \text{mit} \quad a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (\text{Stoffeigenschaften des Körpers})$$

Die Biot-Zahl ergibt sich als Wärmestromdichte durch Konvektion zu Wärmestromdichte durch Wärmeleitung an der Wandoberfläche:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot L_{geo}}{\lambda}$$

Für jede Temperatur existiert für verschiedene Körper je eine Funktionalität $\vartheta = f(Bi, Fo)$. Diese sind häufig nur in Diagrammen dargestellt.

In einem Aufsatz in [1] beschreibt Prof. Dr.-Ing. Franz R. Stupperich die vereinfachte Berechnung für **Randbedingungen dritter Art**, diese Berechnungsvorschriften sind die Grundlage der Funktionen. Das heißt alle Funktionen sind nur gültig für konstante Umgebungstemperatur und konstanten Wärmeübergangskoeffizienten.

Grundkörper

Für drei Grundkörper lassen sich diese Berechnungen durchführen. Die Geometrie des Körpers geht dabei als Variable geo in die Funktionen ein. Für die Körper müssen jedoch symmetrische Bedingungen gelten. Der Geometriefaktor lässt sich rechnerisch ermitteln aus:

$$geo = L_{geo} \cdot \frac{A}{V}$$

Körper	L_{geo}	Körper	$L_{geo} =$	geo
ebene unendliche Platte mit Dicke δ	$\frac{\delta}{2}$	plattenähnlich	$\frac{V}{A}$	1
unendlicher langer Zylinder	$\frac{d}{2}$	zylinderähnlich	$\frac{2 \cdot V}{A}$	2
Kugel	$\frac{d}{2}$	kugelähnlich	$\frac{3 \cdot V}{A}$	3

Damit ergeben sich die Funktionen zu $\vartheta = f(\text{geo}, Bi, Fo)$.

Da häufig auch zum Beispiel die Zeit τ von Interesse ist, wurden Biot- und Fourier-Zahl als Umkehrfunktionen bereitgestellt. Diese arbeiten iterativ.

Hinweis zu Randbedingungen 1. Art:

Ist für ein System die Wandtemperatur jedoch nicht die Fluidtemperatur gegeben, so werden diese gleichgesetzt. Das bedeutet der Wärmeübergangskoeffizient geht gegen unendlich. Damit ergibt sich auch Bi zu unendlich.

Für gegebene Wandtemperatur folgt $Bi \rightarrow \infty$. Man verwende im Programm $Bi = 10^5$.

2. Berechnungsprogramme

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidMAT	Aufruf in Deklaration für die DLL GROEBER	Funktion
$Bi_K = f(geo, \vartheta_K, Fo)$	Bi_K_Groe	_BI_K_GROE@12(GEO,THETA,FO)	Biot-Zahl aus Kerntemperatur
$Bi_M = f(geo, \vartheta_M, Fo)$	Bi_M_Groe	_BI_M_GROE@12(GEO,THETA,FO)	Biot-Zahl aus kalorischer Mitteltemperatur
$Bi_W = f(geo, \vartheta_W, Fo)$	Bi_W_Groe	_BI_W_GROE@12(GEO,THETA,FO)	Biot-Zahl aus Wandtemperatur
$Fo_K = f(geo, \vartheta_K, Bi)$	Fo_K_Groe	_FO_K_GROE@12(GEO,THETA,BI)	Fourier-Zahl aus Kerntemperatur
$Fo_M = f(geo, \vartheta_M, Bi)$	Fo_M_Groe	_FO_M_GROE@12(GEO,THETA,BI)	Fourier-Zahl aus kalorischer Mitteltemperatur
$Fo_W = f(geo, \vartheta_W, Bi)$	Fo_W_Groe	_FO_W_GROE@12(GEO,THETA,BI)	Fourier-Zahl aus Wandtemperatur
$\vartheta_K = f(geo, Bi, Fo)$	Theta_K_Groe	_THETA_K_GROE@12(GEO,BI,FO)	Normierte Kerntemperatur
$\vartheta_M = f(geo, Bi, Fo)$	Theta_M_Groe	_THETA_M_GROE@12(GEO,BI,FO)	Normierte kalorische Mitteltemperatur
$\vartheta_W = f(geo, Bi, Fo)$	Theta_W_Groe	_THETA_W_GROE@12(GEO,BI,FO)	Normierte Wandtemperatur

Maßeinheiten: Alle Größen sind dimensionslos.

Berechnungsvorschriften:

Geometrieinfluss: $geo = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Fourier-Zahl: $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{geo}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ (Stoffeigenschaften des Körpers)

Biot-Zahl: $Bi = \frac{\alpha \cdot L_{geo}}{\lambda}$

Normierte Temperatur: $\vartheta = \frac{t - t_F}{t_0 - t_F}$ t_F - konstante Fluidtemperatur; t_0 - Anfangstemperatur des Körpers; t - Temperatur im Körper

Gültigkeitsbereich

Randbedingungen dritter Art (konstante Umgebungstemperatur und konstanter Wärmeübergangskoeffizient)

Fourier-Zahl: $0 < Fo < 100.000$

Biot-Zahl: $0 < Bi < 100.000$

Geometrie: geo = 1 für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Theta: $0 < \vartheta < 1$ Normierte Temperatur

für $\vartheta < 10^{-5}$ geben die Theta-Funktionen als Ergebnis $\vartheta = 0$ aus.

Hinweis zu Fehlerwerten:

Erscheint als Ergebnis der Wert **-9999**, deutet dies darauf hin, dass die Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereiches der Funktionen liegen. Überprüfen Sie Ihre Eingabedaten.

Erscheint als Ergebnis der Wert **-1**, deutet dies darauf hin, dass für die Eingabewerte kein Zustandspunkt ermittelt werden konnte. Dieser Fehlerwert tritt nur bei Ermittlung der Biot-Zahl auf und bedeutet, dass für die eingegebene Temperatur und Fourier-Zahl keine zugehörige Biot-Zahl existiert. Im Diagramm liegt der eingegebene Punkt unterhalb des Graphen von $Bi \rightarrow \infty$.

Genauere Angaben zu jeder Funktion und deren Gültigkeitsbereich können der Programmdokumentation entnommen werden. Des Weiteren steht eine Online-Hilfe zur Verfügung, die ebenfalls diese Angaben enthält.

Hinweis zu Randbedingungen 1. Art:

Ist für ein System die Wandtemperatur jedoch nicht die Fluidtemperatur gegeben, so werden diese gleichgesetzt. Das bedeutet, der Wärmeübergangskoeffizient geht gegen unendlich. Damit ergibt sich auch Bi zu unendlich.

Für gegebene Wandtemperatur folgt $Bi \rightarrow \infty$. Man verwende im Programm $Bi = 10^5$.

3. Installation von FluidMAT GROEBER

Für die Ausführung der folgenden Anweisungen wird vorausgesetzt, dass Mathcad bereits installiert ist. Mathcad sollte vor der Installation geschlossen werden.

Anschließend ist die CD mit FluidMAT GROEBER einzulegen.

FluidMAT GROEBER wird mit Hilfe eines selbstentpackenden Programms installiert. Um die Installation zu starten, ist innerhalb von Windows in der unteren Task-Leiste die Taste "Start", darin "Einstellungen" und darin "Systemsteuerung" anzuklicken. Im sich öffnenden Fenster muss anschließend "Software" doppelt angeklickt werden.

Im folgenden Dialogfenster ist die Taste "Installieren..." und im nächsten die Taste "Weiter>" anzuklicken. Im sich öffnenden Dialogfenster "Installationsprogramm ausführen" erscheint jetzt automatisch unter "Befehlszeile für das Installationsprogramm:"

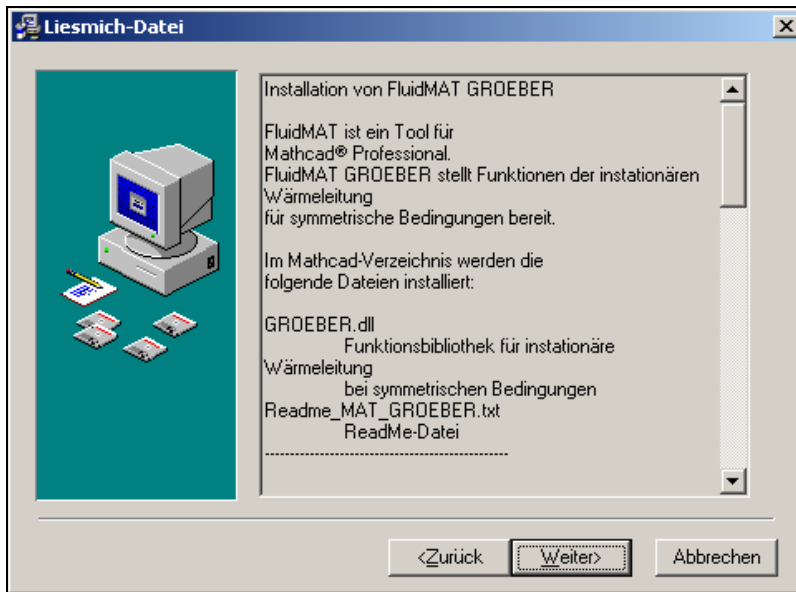
<CD-Laufwerksbuchstabe>:\ FluidMAT_Groeber_Setup.EXE .

Die Installation wird nun durch Anklicken der Taste "Fertig stellen" begonnen. Es erscheint das folgende Fenster mit dem Hinweis, dass alle Windows-Programme beendet sein sollten.



Ist dies der Fall, kann durch Anklicken der Taste "Weiter>" die Installation fortgesetzt werden.

Im folgenden Fenster "Liesmich-Datei" werden Sie über das Produkt FluidMAT GROEBER informiert. Klicken Sie auf "Weiter>" um dieses Fenster zu verlassen.



Im folgenden Menü wird die Festplatte bzw. Partition und das Verzeichnis angeboten, auf der sich das Programm Mathcad befindet. Als Standard wird bei installiertem Mathcad 13

C:\Programme\Mathsoft\Mathcad 13

für die Installation von FluidMAT GROEBER angeboten, wobei gegebenenfalls statt C:\ ein anderer Laufwerksbuchstabe stehen kann.



Im Normalfall wurde durch das Installationsprogramm der korrekte Pfad für das Mathcad 13-Verzeichnis bereits ermittelt und eingetragen. Sollte dies nicht der Fall sein, beispielsweise wenn zwei Versionen von Mathcad auf Ihrem System vorhanden sind, dann korrigieren Sie dies bitte, indem Sie auf die Schaltfläche "Verzeichnis wechseln" klicken und das Verzeichnis auswählen, indem sich Mathcad befindet.

Die richtige Einstellung des Anwenderverzeichnisses von Mathcad ist von entscheidender Bedeutung für die korrekte Installation von FluidMAT GROEBER.

Wenn der richtige Pfad eingetragen ist, können Sie dieses Fenster mittels "Weiter>" verlassen und die Installation fortsetzen.

Es erscheint das nächste Dialogfenster "Installation beginnen – Installation von „FluidMAT GROEBER ". Dieses verlassen Sie mit "Weiter>".

Die Dateien von FluidMAT GROEBER werden nun auf Ihrer Festplatte installiert. Im Dialog "Datei wird installiert" können Sie den Installationsvorgang verfolgen. Wenn dieser beendet ist, erscheint das Fenster "Installation abgeschlossen".

Klicken Sie auf "Fertigstellen>", um die Installation zu beenden. Schließen Sie das Menü "Systemsteuerung".

Durch das Installationsprogramm wurden die folgenden Änderungen an Ihrem System vorgenommen:

Im Mathcad-Verzeichnis wurden die folgenden Dateien installiert:

- GROEBER.dll - Funktionsbibliothek für instationäre Wärmeleitung bei symmetrischen Bedingungen nach Groeber
- ReadmeFluidMAT2000.txt - ReadMe-Datei

Im Mathcad-Unterverzeichnis \USEREFI wurden die folgenden Dateien installiert:

- MAT_Groeber.dll - benutzerdefinierte Funktionen für instationäre Wärmeleitung nach Groeber in Mathcad

Im Mathcad-Unterverzeichnis \DOC\FUNCDOC wurden die folgenden Dateien installiert:

- MAT_Groeber.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für GROEBER

Hiernach ist die Datei "MAT_Groeber_DE.xml" in das Mathcad-Unterverzeichnis \DOC\FUNCDOC zu kopieren. Öffnen Sie hierzu im Arbeitsplatz die CD mit FluidMAT und klicken Sie auf die Datei "MAT_Groeber_DE.xml", um sie zu markieren. Klicken Sie in der Explorerleiste auf "Bearbeiten" und danach auf "Kopieren". Öffnen Sie nun das Mathcad-Unterverzeichnis FUNCDOC (der Standardpfad lautet hierbei C:\Programme\MathSoft\Mathcad 13\DOC\FUNCDOC) und fügen Sie die Datei "MAT_Groeber_DE.xml" ein, indem Sie in der Explorerleiste auf "Bearbeiten" und danach auf "Einfügen" klicken. Die Datei wurde erfolgreich kopiert.

Anschließend ist die Datei "MAT_Groeber_EN.xml" in das Mathcad-Unterverzeichnis \DOC\FUNCDOC zu kopieren. Öffnen Sie hierzu im Arbeitsplatz die CD mit FluidMAT und klicken Sie auf die Datei "MAT_Groeber_EN.xml", um sie zu markieren. Klicken Sie in der Explorerleiste auf "Bearbeiten" und danach auf "Kopieren". Öffnen Sie nun das Mathcad-Unterverzeichnis FUNCDOC (der Standardpfad lautet hierbei C:\Programme\MathSoft\Mathcad 13\DOC\FUNCDOC) und fügen Sie die Datei "MAT_Groeber_EN.xml" ein, indem Sie in der Explorerleiste auf "Bearbeiten" und danach auf "Einfügen" klicken. Die Datei wurde erfolgreich kopiert.

Hiernach ist die Datei "MAT_Groeber.xml" in das Mathcad-Unterverzeichnis \DOC\FUNCDOC zu kopieren. Öffnen Sie hierzu im Arbeitsplatz die CD mit FluidMAT und klicken Sie auf die Datei "MAT_Groeber.xml", um sie zu markieren. Klicken Sie in der Explorerleiste auf "Bearbeiten" und danach auf "Kopieren". Öffnen Sie nun das Mathcad-Unterverzeichnis FUNCDOC (der Standardpfad lautet hierbei C:\Programme\MathSoft\Mathcad 13\DOC\FUNCDOC) und fügen Sie die Datei "MAT_Groeber.xml" ein, indem Sie in der Explorerleiste auf "Bearbeiten" und danach auf "Einfügen" klicken. Die Datei wurde erfolgreich kopiert.

Ab sofort stehen Ihnen die Stoffwertfunktionen in Mathcad zur Verfügung.

4. Beispiel: Berechnung von $\vartheta_M = f(\text{geo}, Bi, Fo)$ in Mathcad

Berechnet werden soll die normierte kalorische Mitteltemperatur aus gegebener Geometrie, gegebener Biot-Zahl Bi und gegebener Fourier-Zahl Fo nach Gröber. Die Beschreibung erfolgt am Beispiel der Nutzung von FluidMAT in Mathcad 2001i Professional.

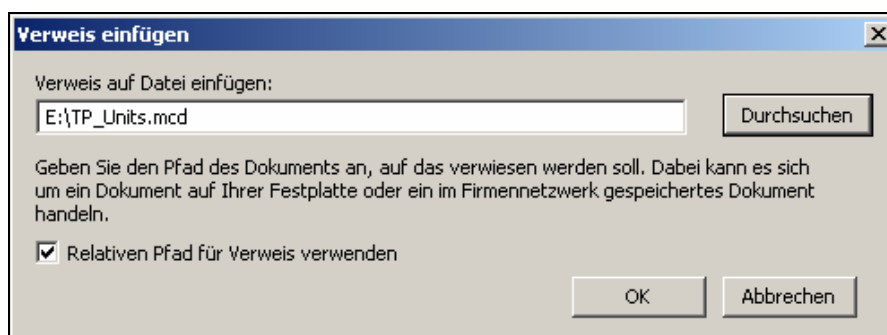
Beispiel: Eine Stahlkugel mit einer Ausgangstemperatur von 18°C soll 2,5 min in eine 175°C heiße Flüssigkeit getaucht werden. Der Wärmeübergangskoeffizient sei konstant mit $20 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ gegeben. Gesucht ist die kalorische Mitteltemperatur. In einer Vorberechnung wurden Fourier- und Biot-Zahl zu folgenden Werten bestimmt.

$Fo = 35$ $Bi = 0,00552$ $\text{geo} = 3$ für Kugel

Folgende Anweisungen sind auszuführen:

- Starten von Mathcad, falls noch nicht geschehen.
- Für das Lösen der Thermodynamik-Übungsaufgaben werden Einheiten benötigt. Diese befinden sich in der Datei "TP_Units.mcd", die zuvor heruntergeladen wurde. Um diese zusätzlichen Einheiten in Ihrem Mathcad-Arbeitsblatt verfügbar zu machen, muss ein Verweis auf die Datei eingefügt werden.
- Klicken Sie in der oberen Menüleiste auf "Einfügen" und darin auf "Verweis...". Im folgenden Fenster klicken Sie auf "Durchsuchen". Klicken Sie im Verzeichnis \Eigene Dateien die Datei "TP_Units.mcd" an und anschließend auf "Öffnen". Der Dateipfad erscheint jetzt in Ihrem Fenster.
- Klicken Sie auf "Relativen Pfad für Verweis verwenden". Ein Haken erscheint. Mit der Auswahl dieser Option wird erreicht, dass der Verweis auch dann gültig bleibt, wenn Sie die Dateien in ein anderes Verzeichnis, beispielsweise auf Ihren heimischen PC, überspielen. Dabei muss die relative Verzeichnisstruktur zwischen dem Mathcad-Arbeitsblatt und der Datei "TP_Units.mcd" beibehalten werden.

Das Fenster sollte jetzt analog, die im folgenden Bild dargestellte Ansicht zeigen:



- Bestätigen Sie mit "OK".

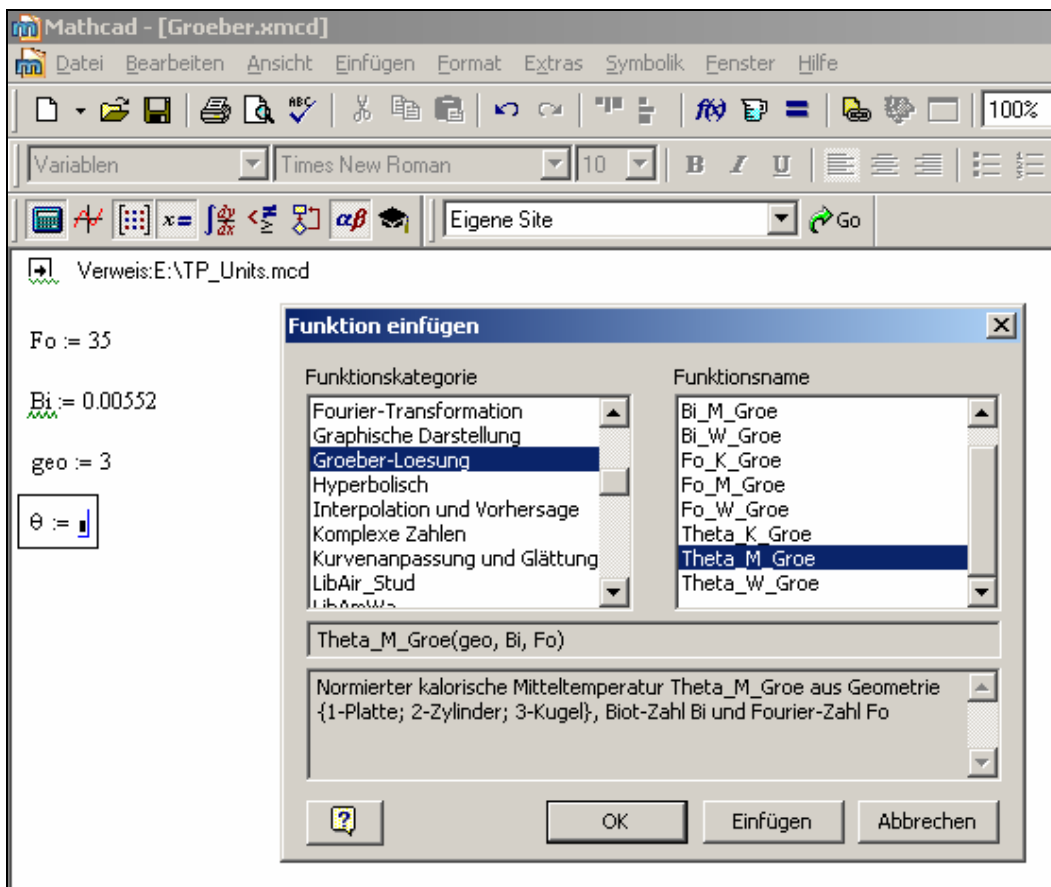
Der Dateipfad erscheint jetzt, wie im folgenden Bild dargestellt, analog auf Ihrem Arbeitsblatt. Damit sind die zusätzlich definierten Maßeinheiten verfügbar.



- Definieren sie nun die Eingabewerte wie folgt:

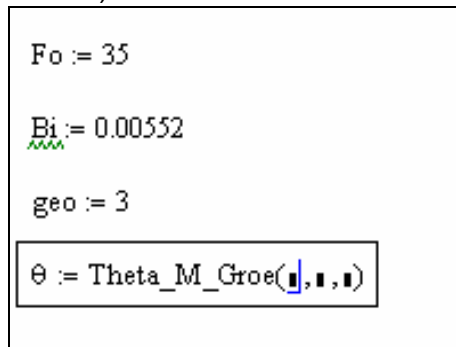
$$\begin{aligned} Fo &:= 35 \\ Bi &:= 0.00552 \\ geo &:= 3 \end{aligned}$$

- Um die kalorische Mitteltemperatur zu berechnen, gehen sie wie folgt vor:
- Schreiben sie " θ :" in das Arbeitsfenster. Es erscheint $\theta := \blacksquare$.
- Anklicken von "Einfügen" in der oberen Menüleiste und darin "Funktion...". Das folgende Dialogfenster erscheint.

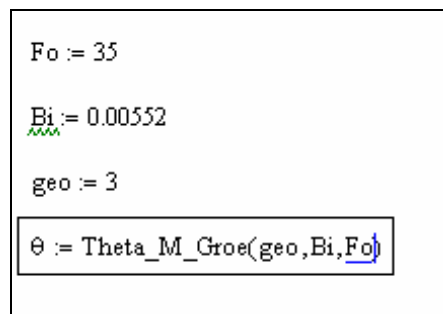


- Mit Hilfe des Scroll-Balkens unter Funktionskategorie die Bibliothek "Groeber-Loesung" auswählen und anklicken. Danach unter Funktionsname die Funktion "Theta_M_Groe" auswählen und anklicken.

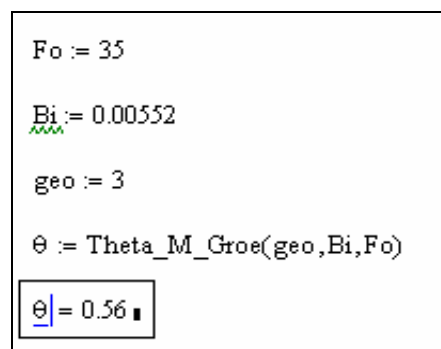
- Die Funktionskategorie und der Funktionsname werden invertiert, farblich unterlegt und die Beschreibung der Funktion sowie die Eingabewerte der Variablen eingeblendet.
- Anklicken der Taste "OK", es erscheint $\theta := \text{Theta_M_Groe}(\blacksquare, \blacksquare, \blacksquare)$ im Arbeitsfenster von Mathcad (vgl. folgendes Bild).



- Eingabe der Variablen in die Platzhalter (vgl. folgendes Bild)
- 1. Platzhalter: Eingabe von geo für Geometrieinfluss (Platte 1; Zylinder 2; Kugel 3)
- mit Cursor zum zweiten Operanden wechseln
- 2. Platzhalter: Eingabe von Bi für Biot-Zahl
- mit Cursor zum zweiten Operanden wechseln
- 3. Platzhalter: Eingabe von Fo für Fourier-Zahl



- Bestätigung der Eingabe mit Taste "ENTER".
- Nun kann die berechnete Variable θ weiter verwendet oder beispielsweise das Ergebnis abgefragt werden. Hierfür ist im Arbeitsfenster auf die folgende Zeile " $\theta =$ " zu schreiben.
- Es erscheint das Ergebnis. (siehe Bild)



- Die Darstellung des Ergebnisses ist dabei von der eingestellten Stellenanzahl und der Anzahl der eingestellten Nachkommastelle abhängig. Diese lässt sich durch Doppelklick auf das Ergebnis einstellen.

5. Programmdokumentation

Normierte Kerntemperatur $\vartheta_K = f(\text{geo}, Bi, Fo)$

Name in FluidMAT: **Theta_K_Groe**

Deklaration für die DLL GROEBER: **_THETA_K_GROE@12(GEO,BI,FO)**
(32 bit Version)

Fortran 77 Unterprogramm: **REAL*8 FUNCTION THETA_K_GROE(GEO,BI,FO)**
REAL*8 BI,FO
INTEGER GEO

Eingabewerte

GEO – Geometrieinfluss $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

BI – Biot-Zahl
$$Bi = \frac{\alpha \cdot L_{\text{geo}}}{\lambda}$$

FO – Fourier-Zahl $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{\text{geo}}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ (Stoffeigenschaften des Körpers)

Rückgabewert

THETA_K_GROE bzw. **Theta_K_Groe** – normierte Kerntemperatur $\vartheta_K = \frac{t_K - t_F}{t_0 - t_F}$

Gültigkeitsbereich

Fourier-Zahl: $0 < Fo < 100.000$

Biot-Zahl: $0 < Bi < 100.000$

Geometrie: $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Hinweis:

Für gegebene Wandtemperatur folgt $Bi \rightarrow \infty$. Man verwende im Programm $Bi = 10^5$.

Für ein Ergebnis $\text{Theta_K_Groe} < 10^{-5}$ lautet die Ausgabe $\text{Theta_K_Groe} = 0$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **THETA_K_GROE = -9999** bzw. **Theta_K_Groe = -9999** für Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs.

Literatur: [1]

Normierte kalorische Mitteltemperatur $\vartheta_M = f(\text{geo}, Bi, Fo)$

Name in FluidMAT: **Theta_M_Groe**

Deklaration für die DLL GROEBER: **_THETA_M_GROE@12(GEO,BI,FO)**
(32 bit Version)

Fortran 77 Unterprogramm: **REAL*8 FUNCTION THETA_M_GROE(GEO,BI,FO)**
REAL*8 BI,FO
INTEGER GEO

Eingabewerte

GEO – Geometrieinfluss $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

BI – Biot-Zahl $Bi = \frac{\alpha \cdot L_{\text{geo}}}{\lambda}$

FO – Fourier-Zahl $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{\text{geo}}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ (Stoffeigenschaften des Körpers)

Rückgabewert

THETA_M_GROE bzw. **Theta_M_Groe** – normierte kalorische Mitteltemperatur $\vartheta_M = \frac{t_M - t_F}{t_0 - t_F}$

Gültigkeitsbereich

Fourier-Zahl: $0 < Fo < 100.000$

Biot-Zahl: $0 < Bi < 100.000$

Geometrie: $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Hinweis:

Für gegebene Wandtemperatur folgt $Bi \rightarrow \infty$. Man verwende im Programm $Bi = 10^5$.

Für ein Ergebnis $\text{Theta_M_Groe} < 10^{-5}$ lautet die Ausgabe $\text{Theta_M_Groe} = 0$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **THETA_M_GROE = -9999** bzw. **Theta_M_Groe = -9999** für Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs.

Literatur: [1]

Normierte Wandtemperatur $\vartheta_W = f(\text{geo}, Bi, Fo)$

Name in FluidMAT: **Theta_W_Groe**

Deklaration für die DLL GROEBER: **_THETA_W_GROE@12(GEO,BI,FO)**
(32 bit Version)

Fortran 77 Unterprogramm: **REAL*8 FUNCTION THETA_W_GROE(GEO,BI,FO)**
REAL*8 BI,FO
INTEGER GEO

Eingabewerte

GEO – Geometrieinfluss $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

BI – Biot-Zahl $Bi = \frac{\alpha \cdot L_{\text{geo}}}{\lambda}$

FO – Fourier-Zahl $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{\text{geo}}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ (Stoffeigenschaften des Körpers)

Rückgabewert

THETA_W_GROE bzw. **Theta_W_Groe** – normierte Wandtemperatur $\vartheta_W = \frac{t_W - t_F}{t_0 - t_F}$

Gültigkeitsbereich

Fourier-Zahl: $0 < Fo < 100.000$

Biot-Zahl: $0 < Bi < 100.000$

Geometrie: $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Hinweis:

Für ein Ergebnis $\text{Theta}_W\text{Groe} < 10^{-5}$ lautet die Ausgabe $\text{Theta}_W\text{Groe} = 0$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **THETA_W_GROE = -9999** bzw. **Theta_W_Groe = -9999** für Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs.

Literatur: [1]

Biot-Zahl bei bekannter Kerntemperatur $Bi_K = f(geo, \vartheta_K, Fo)$

Name in FluidMAT: **Bi_K_Groe**

Deklaration für die DLL GROEBER: **_BI_K_GROE@12(GEO,THETA,FO)**
(32 bit Version)

Fortran 77 Unterprogramm: **REAL*8 FUNCTION BI_K_GROE(GEO,THETA,FO)**
REAL*8 THETA,FO
INTEGER GEO

Eingabewerte

GEO – Geometrieinfluss geo = 1 für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

THETA – normierte Kerntemperatur $\vartheta_K = \frac{t_K - t_F}{t_0 - t_F}$

FO – Fourier-Zahl $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{geo}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ (Stoffeigenschaften des Körpers)

Rückgabewert

BI_K_GROE bzw. **Bi_K_Groe** – Biot-Zahl $Bi = \frac{\alpha \cdot L_{geo}}{\lambda}$

Gültigkeitsbereich

Fourier-Zahl: $0 < Fo < 100.000$

normierte Kerntemperatur: $0 < \vartheta_K < 1$

Geometrie: geo = 1 für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **BI_K_GROE = -9999** bzw. **Bi_K_Groe = -9999** für Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs

Ergebnis **BI_K_GROE = -1** bzw. **Bi_K_Groe = -1** wenn für die eingegebene Temperatur und Fourier-Zahl keine zugehörige Biot-Zahl existiert. Im Diagramm liegt der eingegebene Punkt unterhalb des Graphen von $Bi \rightarrow \infty$.

Literatur: [1]

Biot-Zahl bei bekannter Mitteltemperatur $Bi_M = f(\text{geo}, \mathcal{G}_M, Fo)$

Name in FluidMAT: **Bi_M_Groe**

Deklaration für die DLL GROEBER: **_BI_M_GROE@12(GEO,THETA,FO)**
(32 bit Version)

Fortran 77 Unterprogramm: **REAL*8 FUNCTION BI_M_GROE(GEO,THETA,FO)**
REAL*8 THETA,FO
INTEGER GEO

Eingabewerte

GEO – Geometrieinfluss $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

THETA – normierte kalorische Mitteltemperatur $\mathcal{G}_M = \frac{t_M - t_F}{t_0 - t_F}$

FO – Fourier-Zahl $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{\text{geo}}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ (Stoffeigenschaften des Körpers)

Rückgabewert

BI_M_GROE bzw. **Bi_M_Groe** – Biot-Zahl $Bi = \frac{\alpha \cdot L_{\text{geo}}}{\lambda}$

Gültigkeitsbereich

Fourier-Zahl: $0 < Fo < 100.000$

normierte kalorische Mitteltemperatur: $0 < \mathcal{G}_M < 1$

Geometrie: $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **BI_M_GROE = -9999** bzw. **Bi_M_Groe = -9999** für Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs

Ergebnis **BI_M_GROE = -1** bzw. **Bi_M_Groe = -1** wenn für die eingegebene Temperatur und Fourier-Zahl keine zugehörige Biot-Zahl existiert. Im Diagramm liegt der eingegebene Punkt unterhalb des Graphen von $Bi \rightarrow \infty$.

Literatur: [1]

Biot-Zahl bei bekannter Wandtemperatur $Bi_W = f(\text{geo}, \vartheta_W, Fo)$

Name in FluidMAT: **Bi_W_Groe**

Deklaration für die DLL GROEBER: **_BI_W_GROE@12(GEO,THETA,FO)**
(32 bit Version)

Fortran 77 Unterprogramm: **REAL*8 FUNCTION BI_W_GROE(GEO,THETA,FO)**
REAL*8 THETA,FO
INTEGER GEO

Eingabewerte

GEO – Geometrieinfluss $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

THETA – normierte Wandtemperatur $\vartheta_W = \frac{t_W - t_F}{t_0 - t_F}$

FO – Fourier-Zahl $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{\text{geo}}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ (Stoffeigenschaften des Körpers)

Rückgabewert

BI_W_GROE bzw. **Bi_W_Groe** – Biot-Zahl $Bi = \frac{\alpha \cdot L_{\text{geo}}}{\lambda}$

Gültigkeitsbereich

Fourier-Zahl: $0 < Fo < 100.000$

normierte Wandtemperatur: $0 < \vartheta_W < 1$

Geometrie: $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **BI_W_GROE = -9999** bzw. **Bi_W_Groe = -9999** für Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs

Ergebnis **BI_W_GROE = -1** bzw. **Bi_W_Groe = -1** wenn für die eingegebene Temperatur und Fourier-Zahl keine zugehörige Biot-Zahl existiert. Im Diagramm liegt der eingegebene Punkt unterhalb des Graphen von $Bi \rightarrow \infty$.

Literatur: [1]

Fourier-Zahl bei bekannter Kerntemperatur $Fo_K = f(\text{geo}, \mathcal{G}_K, Bi)$

Name in FluidMAT: **Fo_K_Groe**

Deklaration für die DLL GROEBER: **_FO_K_GROE@12(GEO,THETA,BI)**
(32 bit Version)

Fortran 77 Unterprogramm: **REAL*8 FUNCTION FO_K_GROE(GEO,THETA,BI)**
REAL*8 THETA,BI
INTEGER GEO

Eingabewerte

GEO – Geometrieinfluss $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

THETA – normierte Kerntemperatur $\mathcal{G}_K = \frac{t_K - t_F}{t_0 - t_F}$

BI – Biot-Zahl $Bi = \frac{\alpha \cdot L_{\text{geo}}}{\lambda}$

Rückgabewert

FO_K_GROE bzw. **Fo_K_Groe** – Fourier-Zahl $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{\text{geo}}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$

(Stoffeigenschaften des Körpers)

Gültigkeitsbereich

Biot-Zahl: $0 < Bi < 100.000$

normierte Kerntemperatur: $0 < \mathcal{G}_K < 1$

Geometrie: $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Hinweis:

Für gegebene Wandtemperatur folgt $Bi = \infty$. Man verwende im Programm $Bi = 10^5$.

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **FO_K_GROE = -9999** bzw. **Fo_K_Groe = -9999** für Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs.

Ergebnis **FO_K_GROE = -1** bzw. **Fo_K_Groe = -1** wenn für die eingegebene Temperatur und Biot-Zahl keine zugehörige Fourier-Zahl existiert.

Literatur: [1]

Fourier-Zahl bei bekannter Mitteltemperatur $Fo_M = f(\text{geo}, \vartheta_M, Bi)$

Name in FluidMAT: **Fo_M_Groe**

Deklaration für die DLL GROEBER: **_FO_M_GROE@12(GEO,THETA,BI)**
(32 bit Version)

Fortran 77 Unterprogramm: **REAL*8 FUNCTION FO_M_GROE(GEO,THETA, BI)**
REAL*8 THETA,FO
INTEGER GEO

Eingabewerte

GEO – Geometrieinfluss geo = 1 für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

THETA – normierte kalorische Mitteltemperatur $\vartheta_M = \frac{t_M - t_F}{t_0 - t_F}$

BI – Biot-Zahl $Bi = \frac{\alpha \cdot L_{\text{geo}}}{\lambda}$

Rückgabewert

FO_M_GROE bzw. **Fo_M_Groe** – Fourier-Zahl $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{\text{geo}}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$

(Stoffeigenschaften des Körpers)

Gültigkeitsbereich

Biot-Zahl: $0 < Bi < 100.000$

normierte kalorische Mitteltemperatur: $0 < \vartheta_M < 1$

Geometrie: geo = 1 für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Hinweis:

Für gegebene Wandtemperatur folgt $Bi = \infty$. Man verwende im Programm $Bi = 10^5$.

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **FO_M_GROE = -9999** bzw. **Fo_M_Groe = -9999** für Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs.

Ergebnis **FO_M_GROE = -1** bzw. **Fo_M_Groe = -1** wenn für die eingegebene Temperatur und Biot-Zahl keine zugehörige Fourier-Zahl existiert.

Literatur: [1]

Fourier-Zahl bei bekannter Wandtemperatur $Fo_W = f(\text{geo}, \vartheta_W, Bi)$

Name in FluidMAT: **Fo_W_Groe**

Deklaration für die DLL GROEBER: **_FO_W_GROE@12(GEO,THETA,BI)**
(32 bit Version)

Fortran 77 Unterprogramm: **REAL*8 FUNCTION FO_W_GROE(GEO,THETA,BI)**
REAL*8 THETA,BI
INTEGER GEO

Eingabewerte

GEO – Geometrieinfluss $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

THETA – normierte Wandtemperatur $\vartheta_W = \frac{t_W - t_F}{t_0 - t_F}$

BI – Biot-Zahl $Bi = \frac{\alpha \cdot L_{\text{geo}}}{\lambda}$

Rückgabewert

FO_W_GROE bzw. **Fo_W_Groe** – Fourier-Zahl $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{\text{geo}}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$
(Stoffeigenschaften des Körpers)

Gültigkeitsbereich

Biot-Zahl: $0 < Bi < 100.000$

normierte Wandtemperatur: $0 < \vartheta_W < 1$

Geometrie: $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **FO_W_GROE = -9999** bzw. **Fo_W_Groe = -9999** für Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs.

Ergebnis **FO_W_GROE = -1** bzw. **Fo_W_Groe = -1** wenn für die eingegebene Temperatur und Biot-Zahl keine zugehörige Fourier-Zahl existiert.

Literatur: [1]

6. Literaturverzeichnis

- [1] Stupperich, F.:
Instationäre Wärmeleitung.
BWK 45 (1993) Nr. 5, S. 247 – 258