

Fakultät
MASCHINENWESEN

Fachgebiet
TECHNISCHE THERMODYNAMIK

Berechnung der Instationären Wärmeleitung für symmetrische Bedingungen nach Gröber

FluidEXL

LibGroeber

Version für Studierende

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

Berechnung der Instationären Wärmeleitung für symmetrische Bedingungen nach Gröber

FluidEXL
GROEBER

Inhalt

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

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

0. Lieferumfang

CD "FluidEXL mit GROEBER für Excel[®]"

mit folgenden Dateien:

FluidEXL_Stud.xla - Add-In-Datei für die Nutzung in Excel[®] 7.0, 97, 2000, 2003 und XP

GROEBER.dll - DLL mit Funktionen der instationären Wärmeleitung nach Gröber

LIBGROE.hlp - Hilfe-Datei für die Programm-Bibliothek

FluidEXL.hlp - Hilfe-Datei für FluidEXL

Dforrt.dll - Benötigte Systemdatei

Msvcrt.dll - Benötigte Systemdatei

FluidEXL_LibGroeber_Doku.pdf - Programmdokumentation

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 FluidEXL	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 der Kurve 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 in Excel[®]

Die Dateien FluidEXL_Stud.xla
 GROEBER.dll
 LIBGROE.hlp
 FluidEXL.hlp
 Dforrt.dll
 Msvcrt.dll

sind

- in das Verzeichnis \Excel bei Verwendung von Excel[®] 7.0,
- in das Verzeichnis \Microsoft Office\Office bei Verwendung von Excel 97 und 2000
- in das Verzeichnis \Microsoft Office\Office10 bei Verwendung von Excel XP
- in das Verzeichnis \Microsoft Office\Office11 bei Verwendung von Excel 2003

zu kopieren.

Registrierung von FluidEXL als Add-In in Excel[®] bis Version 2003

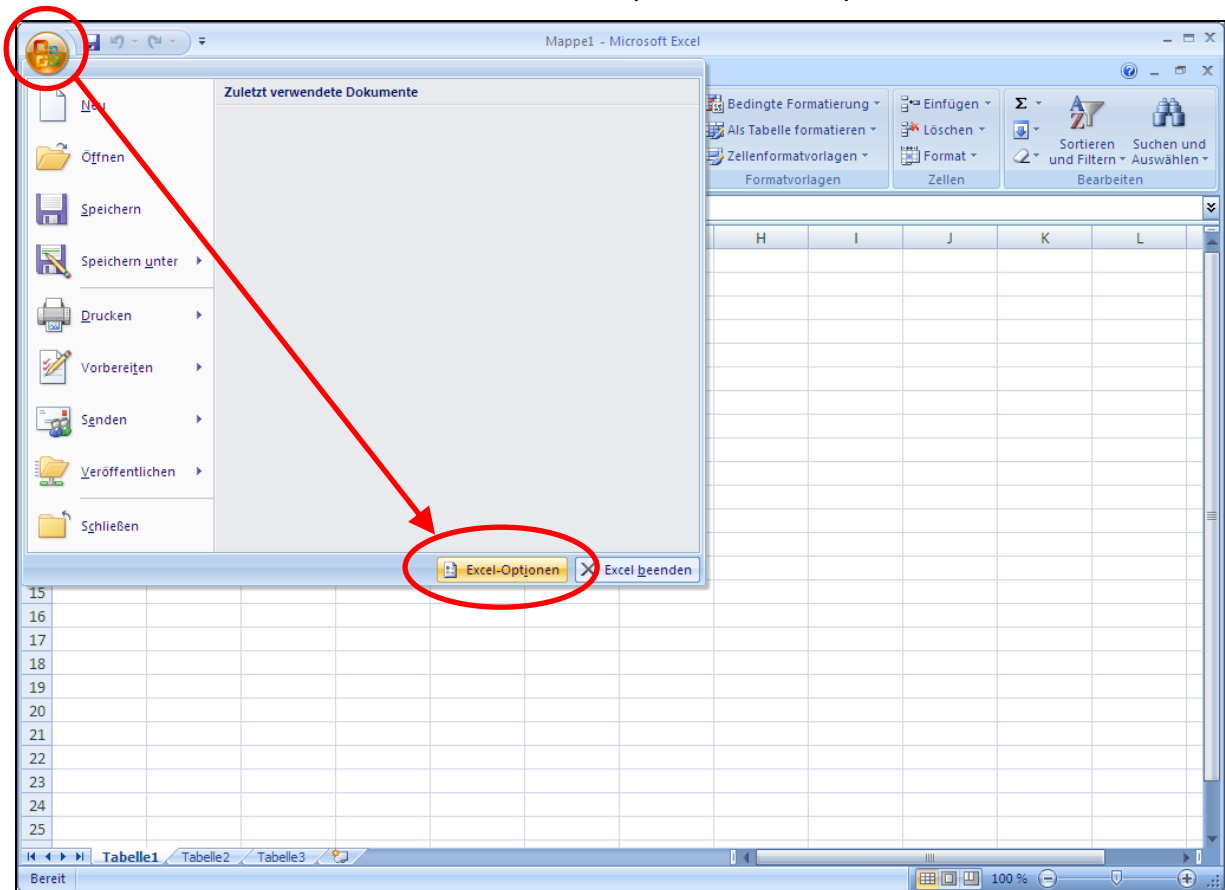
Anschließend muss "FluidEXL_Stud.xla" in Excel als Add-In registriert werden. Hierfür ist Excel[®] zu starten und folgende Kommandos sind auszuführen:

- Anklicken von "Extras" in der Menüzeile von Excel
- Anklicken des Menüpunkts "Add-In-Manager..."
 Nach gegebenenfalls längerer Wartezeit erscheint die Dialogbox "Add-In-Manager"
- Klicken auf die Schaltfläche "Durchsuchen"
- In der folgenden Dialogbox Durchklicken bis zum Verzeichnis
 - \Excel bei Verwendung von Excel 7.0
 - \Microsoft Office\Office bei Verwendung von Excel 97 und 2000
 - \Microsoft Office\Office10 bei Verwendung von Excel XP
 - \Microsoft Office\Office11 bei Verwendung von Excel 2003
 und darin Anklicken des Dateinamens "FluidEXL_Stud.xla"
- Bestätigung durch Anklicken von "OK" in der Dialogbox
- In der Auflistung des Add-In-Managers ist nun "FluidEXL" vorhanden. Damit wurde FluidEXL_Stud.xla als Add-In registriert.
 (Befindet sich ein Haken im Kontrollkästchen vor der Bezeichnung "FluidEXL", wird dieses Add-In bei jedem weiteren Start von Excel automatisch geladen. Das ist solange der Fall, bis der Haken wieder entfernt wird.)
- Schließen des Add-In-Managers durch Anklicken von "OK"
 In der Menüleiste von Excel erscheint der neue Menüpunkt "FluidEXL".
 Über dieses Menü sind die Stoffwertfunktionen aus Excel heraus anwählbar.

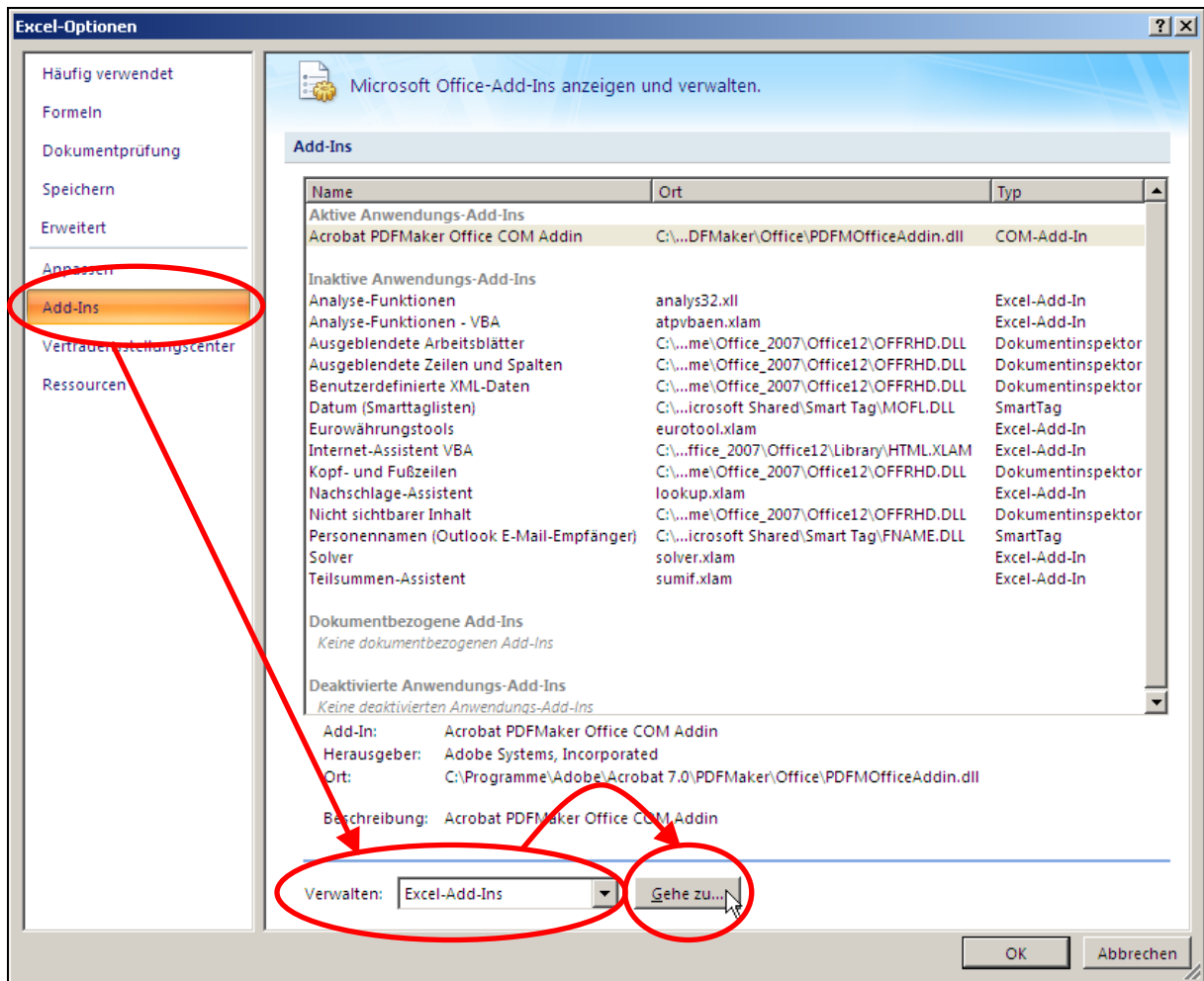
Registrierung von FluidEXL als Add-In in Excel® ab Version 2007

Nach der Installation muss FluidEXL nun in Excel® ab Version 2007 als Add-In registriert werden. Hierfür ist Excel zu starten und folgende Kommandos sind auszuführen:

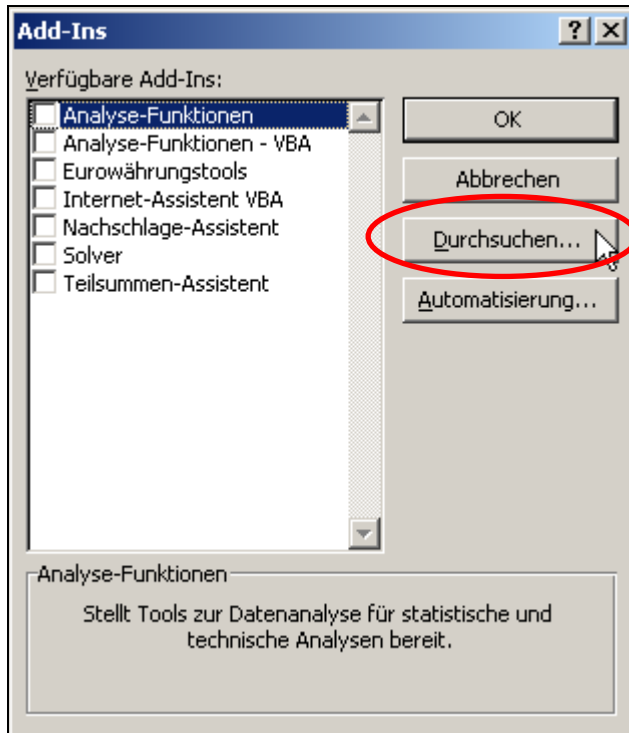
- Anklicken des Office Logos in der linken oberen Ecke von Excel
- Im sich öffnenden Menü anklicken des Menüpunkts "Excel-Optionen"



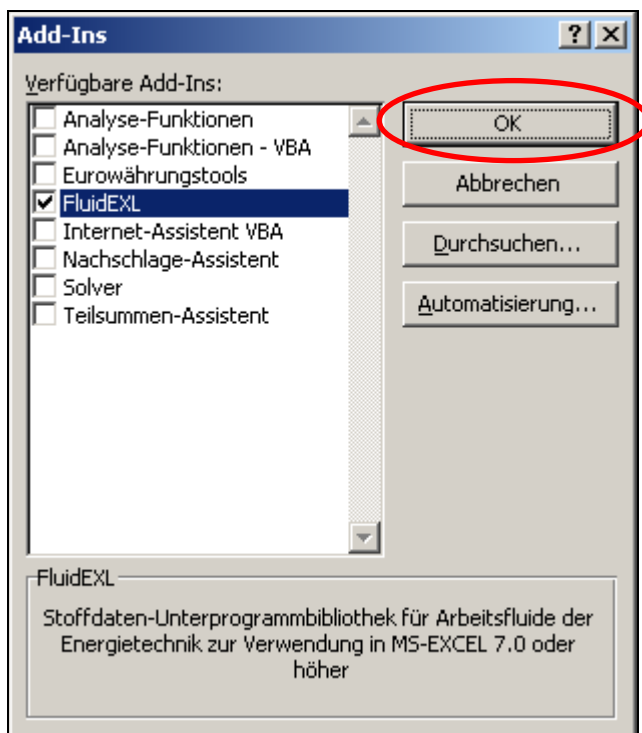
- Im sich öffnenden Menü links auf "Add-Ins" klicken



- Im unteren Bereich neben "Verwalten" "Excel Add-Ins" auswählen, falls nicht angezeigt
 - Anschließend im unteren Bereich auf "Gehe zu..." klicken
 - Im folgenden Fenster klicken auf "Durchsuchen..." und anschließend durchklicken bis zum Zielverzeichnis, im Beispiel
 - \Excel bei Verwendung von Excel 7.0
 - \Microsoft Office\Office bei Verwendung von Excel 97 oder 2000
 - \Microsoft Office\Office10 bei Verwendung von Excel XP
 - \Microsoft Office\Office12 bei Verwendung von Excel 2007,
- darin anklicken des Dateinamens "FluidEXL_Stud.xla" und Bestätigen durch Anklicken der Taste "OK"

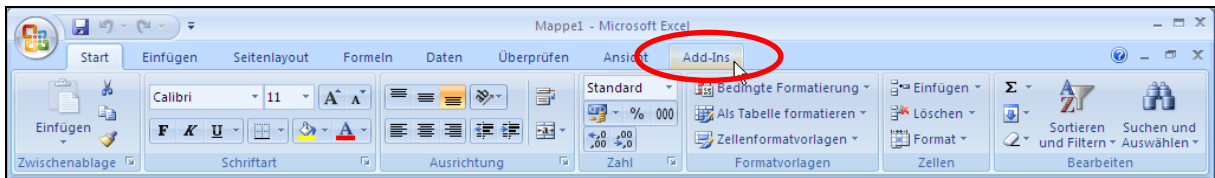


- In der Auflistung des Add-In-Managers ist nun "FluidEXL" vorhanden. (Befindet sich ein Haken im Kontrollkästchen vor der Bezeichnung "FluidEXL", wird dieses Add-In bei jedem weiteren Start von Excel automatisch geladen. Das ist solange der Fall, bis der Haken wieder entfernt wird.)

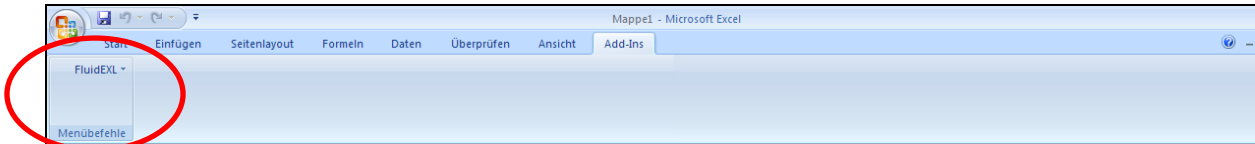


- Um die Registrierung als Add-In vorzunehmen, ist in der Dialogbox "Add-Ins" die Taste "OK" anzuklicken.

Zur späteren Nutzung von FluidEXL im folgenden Beispiel ist auf den im Bild gekennzeichneten Menüpunkt "Add-Ins" zu klicken.



Im oberen Menübereich von Excel erscheint die im folgenden Bild rot gekennzeichnete neue Menüleiste von FluidEXL.



Damit ist die Installation von FluidEXL in Excel ab Version 2007 beendet. Die Nutzung von FluidEXL erfolgt analog der Beschreibung für Excel bis Version 2007.

Hilfesysteme von FluidEXL in Excel®

FluidEXL enthält zwei Online-Hilfesysteme. Die allgemeine Hilfe kann Innerhalb von Excel® wie folgt erreicht werden:

- Anklicken von "FluidEXL" in der Menüleiste von Excel
- Anklicken von "Hilfe" .

Die spezielle Hilfe mit Angaben zu jeder Funktion wird wie folgt erreicht:

- Anklicken von "FluidEXL" in der Menüleiste von Excel
- Anklicken von "Berechnungen"
- Im Funktions-Assistent Auswahl und Anklicken der Kategorie "Groerber-Lösung" und anschließend Auswahl und Anklicken der gewünschten Funktion
- Anklicken von "Hilfe" .

4. Beispiel:

Berechnung von $\vartheta_M = f(\text{geo}, Bi, Fo)$ in Excel®

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 FluidEXL in Excel® 2002. Die Vorgehensweise ist jedoch auf Excel 7.0, 97, 2000 und XP übertragbar.

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. In einer Vorberechnung wurden Fourier- und Biot-Zahl zu folgenden Werten bestimmt. $Fo = 35$ $Bi = 0,00552$ $geo = 3$ für Kugel

Folgende Anweisungen sind auszuführen:

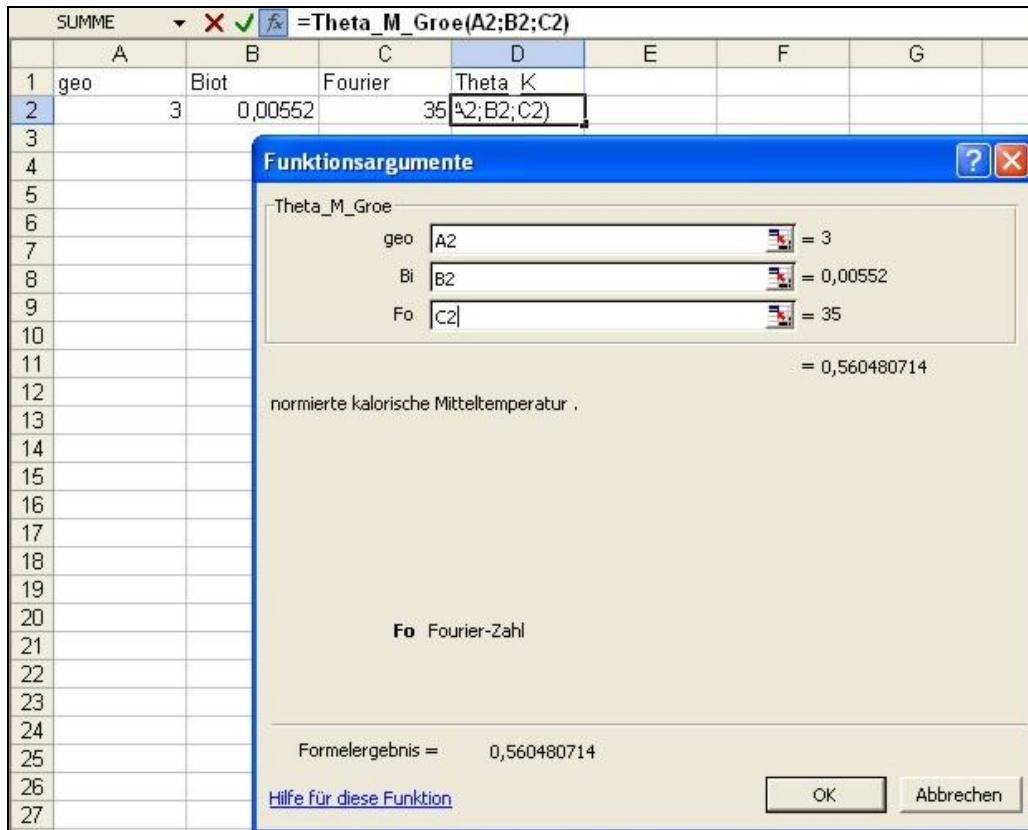
- Starten von Excel (falls noch nicht geschehen)
 - Eintragen des Wertes für Fo in eine Zelle
 - Eintragen des Wertes für Bi in eine Zelle
 - Eintragen des Wertes für geo in eine Zelle
 - Anklicken der Zelle, in die die berechnete normierte kalorische Mitteltemperatur geschrieben werden soll
 - Anklicken von "FluidEXL" in der Menüzeile von Excel
 - Anklicken von "Berechnungen"
- Es erscheint das Menü "Funktion einfügen"



- Im Drop-Down-Menu "Kategorie auswählen:" die Bibliothek "Groeber-Loesung" suchen und anklicken
- Im Fenster unter "Funktion auswählen:" die Funktion Θ_{M_Groe} suchen und anklicken

An dieser Stelle ist es möglich, nähere Informationen über die gewählte Funktion, wie Gültigkeitsbereich, Maßeinheiten, Fehlerreaktionen etc., durch Anklicken der Taste "Hilfe" zu erhalten.

- Anklicken von "OK"
Es erscheint das Menü "Funktionsargumente"



- Im Fenster neben "geo" die Nummer der Zelle mit dem Wert für geo eintragen, bzw. auf die Zelle mit dem Wert für geo klicken, oder den Wert für geo direkt eintragen
- Mit dem Cursor zum Fenster neben "Bi" gehen und anklicken und anschließend die Nummer der Zelle mit dem Wert für Bi eintragen, bzw. auf die Zelle mit dem Wert für Bi klicken, oder den Wert für Bi direkt eintragen
- Mit dem Cursor zum Fenster neben "Fo" gehen und anklicken und anschließend Nummer der Zelle mit dem Wert für Fo eintragen, bzw. auf die Zelle mit dem Wert für Fo klicken, oder den Wert für Fo direkt eintragen

Wiederum können nähere Informationen über die einzugebenden Größen durch Anklicken des Links "Hilfe für diese Funktion" abgerufen werden.

- Anklicken von "OK"
Es erscheint das Ergebnis für Theta_M_Groe in der gewünschten Zelle.

Damit ist die Berechnung von $\Theta_{M_Groe} = f(\text{geo}, \text{Bi}, \text{Fo})$ ausgeführt. Jetzt können die Werte für geo, Bi oder Fo beliebig in den zugehörigen Zellen verändert werden. Die Mitteltemperatur wird bei jeder Änderung neu berechnet und aktualisiert, das heißt, der Datenfluss von Excel bleibt erhalten.

4.1 De-Installation

De-Registrierung von FluidEXL als Add-In in Excel[®] bis Version 2003

Bevor die De-Installation vorgenommen werden kann, muss die Registrierung von FluidEXL_Stud.xla in Excel[®] rückgängig gemacht werden.

Hierfür ist innerhalb von Excel in der oberen Menüleiste "Extras" und darin "Add-In-Manager..." anzuklicken. Im Fenster des nach gewisser Zeit erscheinenden Menüs ist links neben dem Eintrag "FluidEXL" der Haken durch Anklicken zu beseitigen und danach die Taste "OK" anzuklicken. Es verschwindet der Eintrag "FluidEXL" in der oberen Menüleiste von Excel. Anschließend sollte Excel geschlossen werden.

Für den Fall, dass der Eintrag "FluidEXL" nicht verschwindet, sind folgende Schritte notwendig:

In der oberen Menüleiste von Excel ist "Ansicht", darin "Symbolleisten" und darin "Anpassen..." anzuklicken. In der erscheinenden Listbox befindet sich am Ende der Eintrag "FluidEXL". Dieser ist durch Anklicken zu markieren. Die Löschung erfolgt nun durch Anklicken der Taste "Löschen". Die anschließende Frage, ob das Löschen tatsächlich erfolgen soll, ist durch Anklicken der Taste "OK" zu beantworten.

Nun können die Dateien

- FluidEXL_Stud.xla
- GROEBER.dll
- LIBGROE.hlp
- FluidEXL.hlp
- Dfortt.dll
- Msvcr7.dll

im Verzeichnis

- \\MSOffice\Excel bei Verwendung von Excel 7.0

- \\Microsoft Office\Office bei Verwendung von Excel 97 oder 2000

- \\Microsoft Office\Office10 bei Verwendung von Excel XP

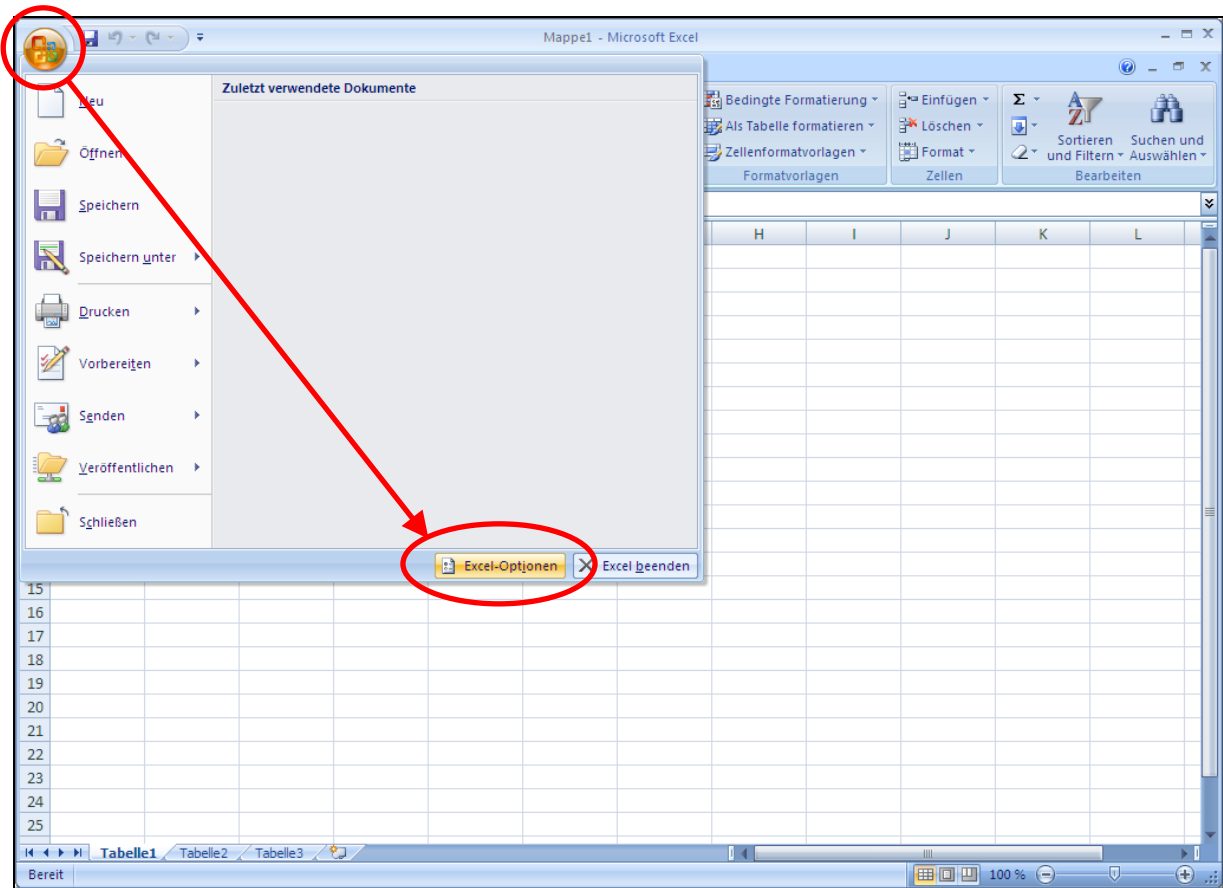
mit Hilfe des Explorers oder beispielsweise des Norton-Commanders gelöscht werden.

Damit ist die De-Installation von FluidEXL und LibGroeber beendet.

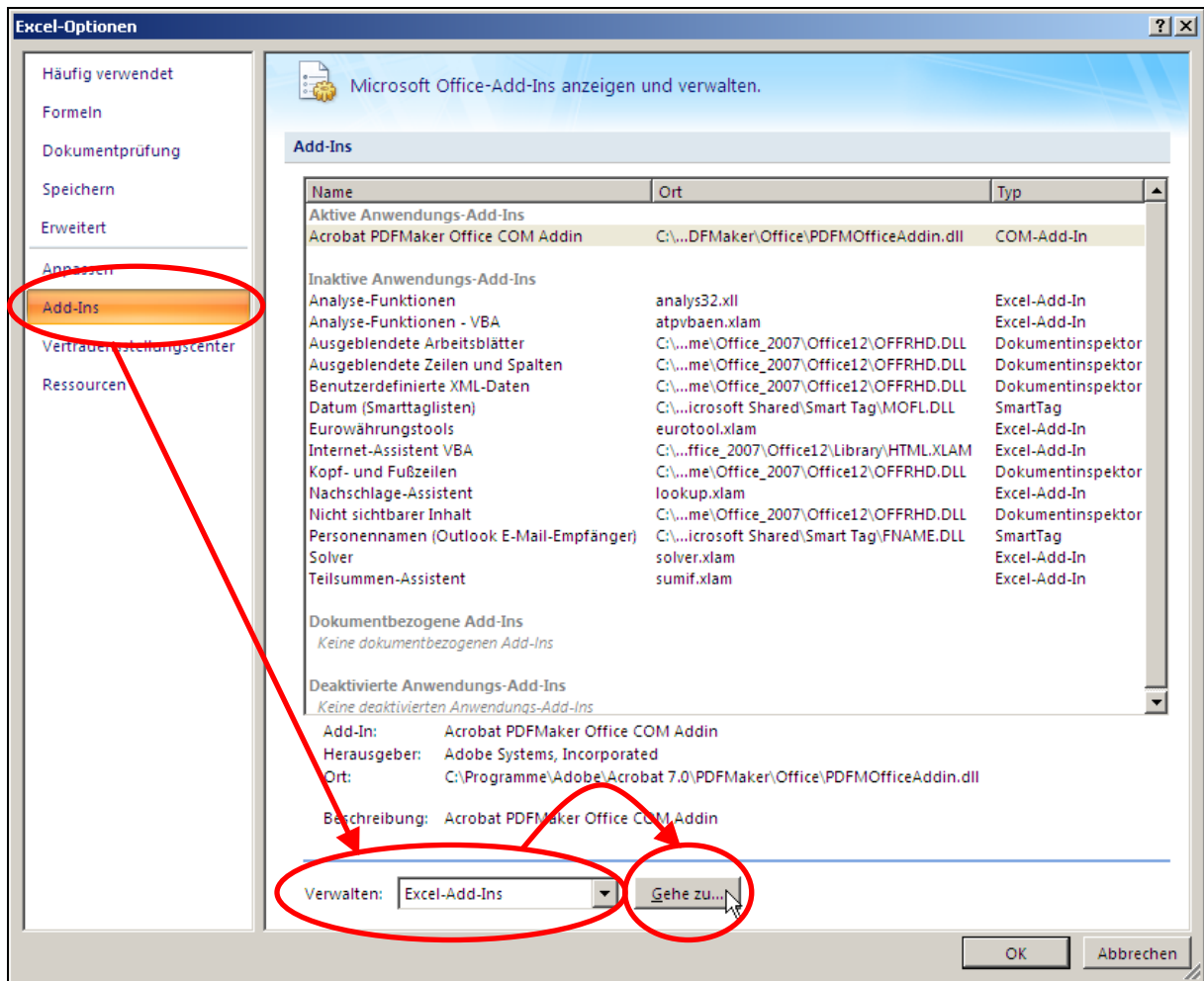
De-Registrierung von FluidEXL als Add-In in Excel® ab Version 2007

Um das Add-In FluidEXL in Excel® ab Version 2007 zu de-registrieren ist Excel zu starten und folgende Kommandos sind auszuführen:

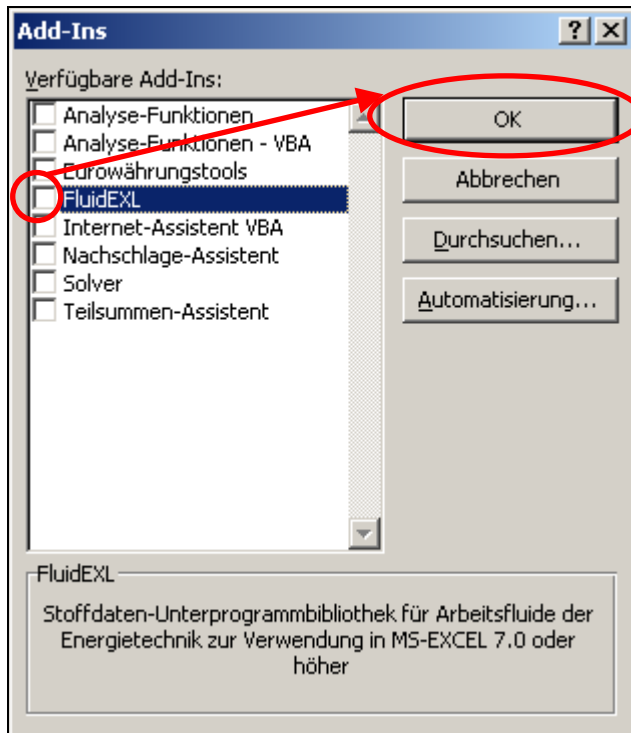
- Anklicken des Office Logos in der linken oberen Ecke von Excel
- Im sich öffnenden Menü anklicken des Menüpunkts "Excel-Optionen"



- Im sich öffnenden Menü links auf "Add-Ins" klicken



- Im unteren Bereich neben "Verwalten" "Excel Add-Ins" auswählen, falls nicht angezeigt
- Anschließend im unteren Bereich auf "Gehe zu..." klicken
- Im folgenden Fenster ist das Häkchen vor "FluidEXL" zu entfernen. Durch klicken auf die Taste "OK" wird die Eingabe bestätigt.



Nun können die Dateien

FluidEXL_Stud.xla
 GROEBER.dll
 LIBGROE.hlp
 FluidEXL.hlp
 Dfortt.dll
 Msvcrt.dll

im Verzeichnis

\Excel bei Verwendung von Excel 7.0
 \Microsoft Office\Office bei Verwendung von Excel 97 und 2000
 \Microsoft Office\Office10 bei Verwendung von Excel XP
 \Microsoft Office\Office12 bei Verwendung von Excel 2007

mit Hilfe des Explorers oder beispielsweise des Windows-Commanders gelöscht werden.

Damit ist die De-Installation von FluidEXL beendet.

5. Programmdokumentation

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

Name in FluidEXL: **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 FluidEXL: **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 $\vartheta_W = f(\text{geo}, \text{Bi}, \text{Fo})$

Name in FluidEXL: **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 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: geo = 1 für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

Hinweis:

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

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 $Bi_K = f(\text{geo}, \vartheta_K, Fo)$

Name in FluidEXL: **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 $\text{geo} = 1$ 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 $Fo = \frac{a \cdot \tau}{L_{\text{geo}}^2}$ mit $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ (Stoffeigenschaften des Körpers)

Rückgabewert

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

Gültigkeitsbereich

Fourier-Zahl: $0 < Fo < 100.000$

normierte Kerntemperatur: $0 < \vartheta_K < 1$

Geometrie: $\text{geo} = 1$ 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 $Bi_M = f(\text{geo}, \vartheta_M, Fo)$

Name in FluidEXL: **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 $\vartheta_M = \frac{t_M - t_F}{t_0 - t_F}$

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: $0 < \vartheta_M < 1$

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 FluidEXL: **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 $Fo_K = f(\text{geo}, \vartheta_K, Bi)$

Name in FluidEXL: **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 $\vartheta_K = \frac{t_K - t_F}{t_0 - t_F}$

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: $0 < \vartheta_K < 1$

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 $Fo_M = f(\text{geo}, \mathcal{G}_M, Bi)$

Name in FluidEXL: **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 $\text{geo} = 1$ für Platte; 2 für Zylinder; 3 für Kugeln

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

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: $0 < \mathcal{G}_M < 1$

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_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 FluidEXL: **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