



Hochschule
Zittau/Görlitz

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät
MASCHINENWESEN

Fachbereich
TECHNISCHE THERMODYNAMIK

Stoffwertprogramm-bibliothek für Ammoniak – NH_3

FluidMAT
mit **LibNH3**
für **Mathcad[®]**
Version für Studierende

Prof. Dr.- Ing. habil. H.-J. Kretzschmar

Dr.-Ing. Ines Stoecker

Matthias Kunick

A. Blaeser

Stoffwert-Programmbibliothek für Ammoniak

LibNH3 FluidMAT für Mathcad® Version für Studierende

Inhalt

- 0 Lieferumfang
- 1 Stoffwertfunktionen der Bibliothek "Ammoniak LibNH3"
- 2 Nutzung von FluidMAT in Mathcad®
 - 2.1 Installation in FluidMAT
 - 2.2 Beispiel: Berechnung von $h = f(p, t, x)$ in FluidMAT
 - 2.3 De-Installation von FluidMAT
- 3 Programmdokumentation
- 4 Literaturverzeichnis

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

0 Lieferumfang

CD "FluidMAT mit LibNH3_Student für Mathcad®"

Stoffwertprogramme für Ammoniak

mit folgenden Dateien:

FluidMAT_LibNH3_Stud_Setup.exe	Selbstentpackende Installationsdatei
FluidMAT_LibNH3_Stud_Doku.pdf	Programmdokumentation
LibNH3_Stud.dll	DLL mit Stoffwertfunktionen
MAT_LibNH3_Stud_DE.xml	Registrierung der Funktionen im Dialogfenster "Funktion einfügen" für deutsches Mathcad Version 12 oder höher
MAT_LibSeaWa_Stud_EN.xml	Registrierung der Funktionen im Dialogfenster "Funktion einfügen" für englisches Mathcad Version 12 oder höher
MAT_LibSeaWa_Stud.xml	Registrierung der Funktionen im Dialogfenster "Funktion einfügen" für Mathcad Version 11 oder niedriger

1 Stoffwertfunktionen der Bibliothek "Ammoniak LibNH3_Stud"

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidMAT	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit berechneter Wert
$\eta = f(p, t, x)$	eta_ptx_NH3	Dynamische Zähigkeit	Pa s
$h = f(p, t, x)$	h_ptx_NH3	Spezifische Enthalpie	kJ/kg
$\lambda = f(p, t, x)$	lambda_ptx_NH3	Wärmeleitfähigkeit	W/m K
$p_s = f(t)$	ps_t_NH3	Dampfdruck aus Temperatur	MPa
$s = f(p, t, x)$	s_ptx_NH3	Spezifische Entropie	kJ/(kg K)
$t = f(p, h)$	t_ph_NH3	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Enthalpie	°C
$t = f(p, s)$	t_ps_NH3	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie	°C
$t_s = f(p)$	ts_p_NH3	Siedetemperatur aus Druck	°C
$v = f(p, t, x)$	v_ptx_NH3	Spezifisches Volumen	m ³ /kg
$x = f(p, h)$	x_ph_NH3	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Enthalpie	kg/kg
$x = f(p, s)$	x_ps_NH3	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Entropie	kg/kg

Maßeinheiten:
 t in °C
 p in MPa
 x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 250 °C
 Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x

Das Nassdampfgebiet wird von den Unterprogrammen automatisch behandelt. Hierfür sind folgende Festlegungen für den Dampfanteil x zu beachten:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzter Dampf) liegt, ist für x formal der Wert $x = -1$ einzugeben. Die Umkehrfunktionen liefern in diesem Fall ebenfalls den Wert $x = -1$ als Ergebnis.

Im Falle, dass Nassdampf vorliegt, hat x Werte zwischen 0 und 1 (den Wert $x = 0$ bei siedender Flüssigkeit, den Wert $x = 1$ bei Sattdampf). Die Umkehrfunktionen liefern in diesem Fall den entsprechenden Wert für x zwischen 0 und 1 als Ergebnis.

Im Fall Nassdampf genügt es, entweder den gegebenen Wert für t und $p = -1000$ oder den gegebenen Wert für p und $t = -1000$ sowie einen Wert für x zwischen 0 und 1 einzugeben. Wird bei Nassdampf sowohl t als auch p eingegeben, geht das Programm davon aus, dass die beiden Parameter zusammenpassen, d. h. der Dampfdruckkurve genügen. Ist dies nicht der Fall, wird für die zu berechnende Größe der gewählten Funktion der Wert -1000 als Ergebnis ausgegeben.

Nassdampfgebiet: Temperaturbereich von $t = -30$ °C bis $t = 50$ °C

Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa

Hinweis!

Erscheint als berechnetes Ergebnis der Wert -1000 , deutet dies darauf hin, dass Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereiches gewählt wurden. Genauere Angaben zu jeder Funktion und zu deren Gültigkeitsbereich können der Programmdokumentation im Abschnitt 3 entnommen werden.

2 Nutzung von FluidMAT in Mathcad®

Zur komfortablen Stoffwertberechnung in Mathcad® steht FluidMAT zur Verfügung. Es ermöglicht den direkten Aufruf von Funktionen innerhalb von Mathcad aus den Stoffwert-Bibliotheken. Die vorliegende Version enthält die Bibliothek LibNH3_Stud.

2.1 Installation von FluidMAT

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

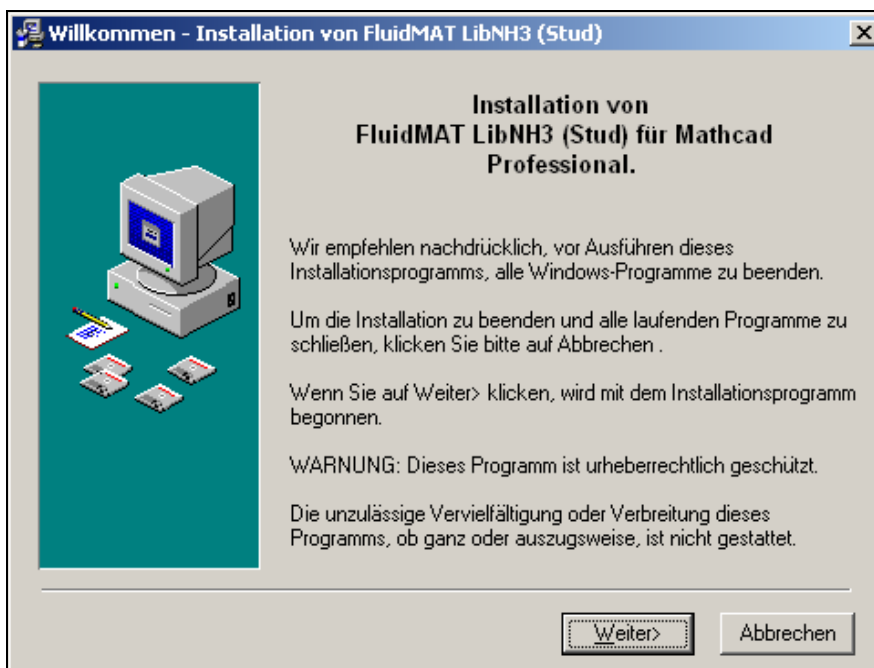
Anschließend ist die CD mit FluidMAT einzulegen.

FluidMAT 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:

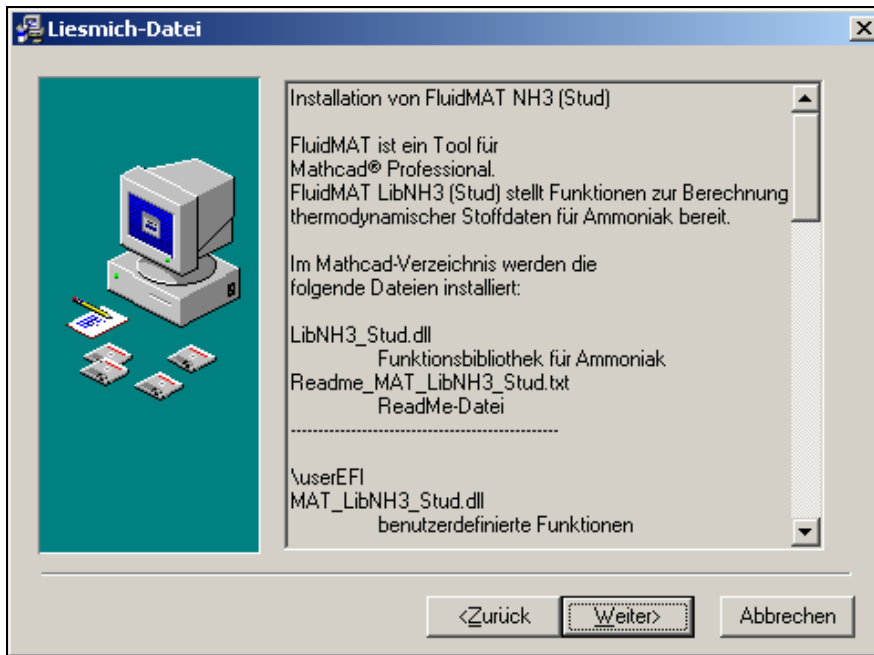
D :\ FluidMAT_NH3_Stud_Setup.EXE.

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.

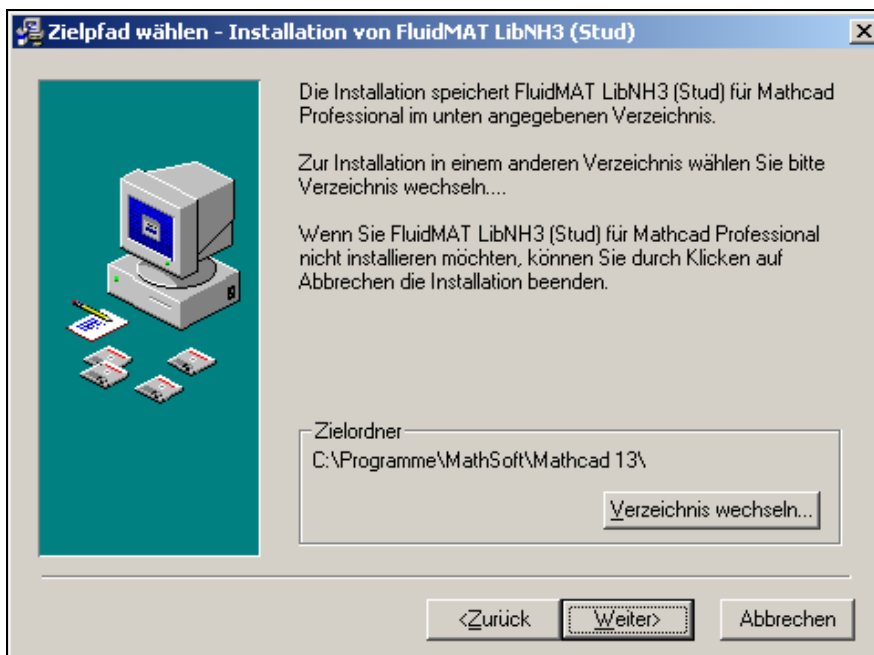


Ist dies der Fall, kann durch Anklicken der Taste "Weiter>" die Installation fortgesetzt werden.

Im folgenden Fenster "Liesmich-Datei" werden Sie über das Produkt FluidMAT 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 13 oder höher befindet.

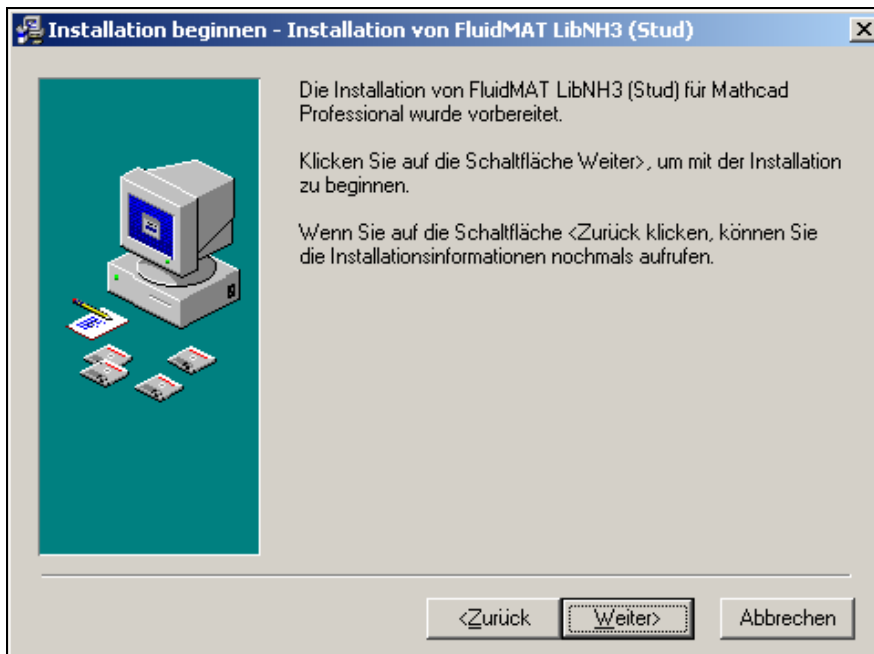


Durch das Installationsprogramm ist der korrekte Pfad für das Mathcad-Verzeichnis bereits ermittelt und eingetragen. Sollte dies nicht der Fall sein, beispielsweise wenn zwei Versionen von Mathcad auf Ihrem System vorhanden sind, dann korrigieren Sie dies bitte, indem Sie auf die Schaltfläche "Verzeichnis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

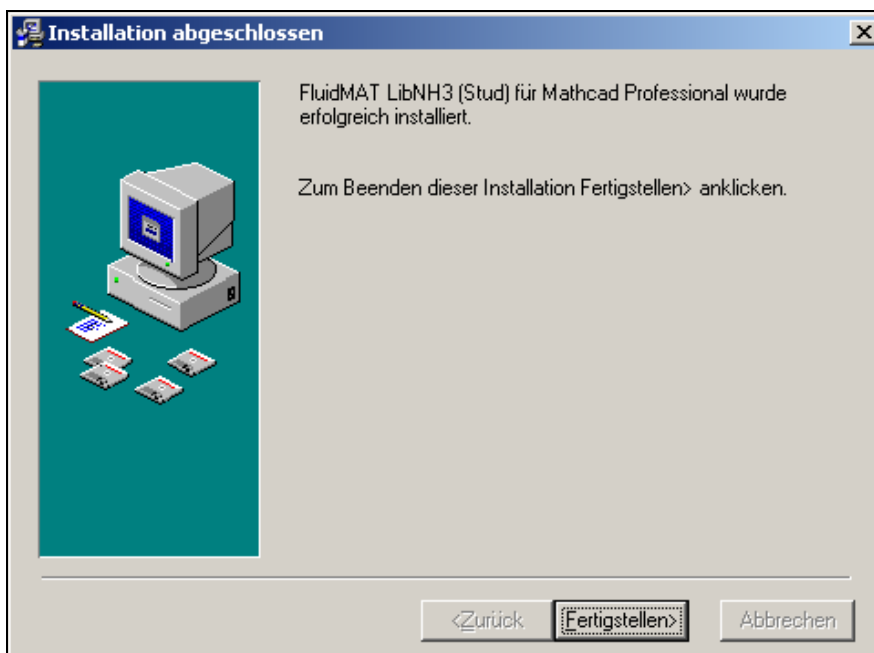
Die richtige Einstellung des Programmverzeichnisses von Mathcad ist von entscheidender Bedeutung für die korrekte Installation von FluidMAT.

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 LibNH3 (Stud)". Dieses verlassen Sie mit "Weiter>".



Die Dateien von FluidMAT 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".

Ab sofort stehen Ihnen die Stoffwertfunktionen in Mathcad zur Verfügung.

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

Im Mathcad-Verzeichnis wurden die folgenden Dateien installiert:

LibNH3_Stud.dll	Funktionsbibliothek für Ammoniak
Readme_MAT_LibNH3_Stud.txt	ReadMe-Datei

Im Mathcad-Unterverzeichnis \userEFI wurde die folgende Datei installiert:

MAT_LibNH3_Stud.dll	benutzerdefinierte Funktionen für Ammoniak in Mathcad
---------------------	---

Im Mathcad-Unterverzeichnis \doc wurde die folgende Datei installiert:

MAT_LibNH3_Stud.chm	Hilfeinformationen zu FluidMAT mit LibNH3_Stud
---------------------	--

Im Mathcad-Unterverzeichnis \doc\funcdoc wurde die folgende Datei installiert:

MAT_LibNH3_Stud.xml	Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibNH3
---------------------	---

Nun ist die Datei "LibNH3_Stud.dll" im Mathcad-Verzeichnis mit der gleichnamigen Datei "LibNH3_Stud.dll", die sich auf der mitgelieferten CD befindet, zu überschreiben.

Öffnen Sie hierzu im Arbeitsplatz die CD mit FluidMAT und klicken Sie auf die Datei "LibNH3_Stud.dll", um sie zu markieren. Klicken Sie in der Explorerleiste auf "Bearbeiten" und danach auf "Kopieren". Öffnen Sie nun das Mathcad-Verzeichnis (der Standardpfad ist C:\Programme\MathSoft\Mathcad 13) und fügen Sie die Datei "LibNH3_Stud.dll" ein, indem Sie in der Explorerleiste auf "Bearbeiten" und danach auf "Einfügen" klicken. Beantworten Sie die Frage, ob die Datei ersetzt werden soll mit einem Klick auf "Ja".

Die Datei "LibNH3_Stud.dll" wurde erfolgreich überschrieben.

Hiernach ist die Datei "MAT_LibNH3_Stud_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_LibNH3_Stud_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_LibNH3_Stud_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_LibNH3_Stud_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_LibNH3_Stud_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_LibNH3_Stud_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_LibNH3_Stud.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_LibNH3_Stud.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_LibNH3_Stud.xml" ein, indem Sie in der Explorerleiste auf "Bearbeiten" und danach auf "Einfügen" klicken. Die Datei wurde erfolgreich kopiert.

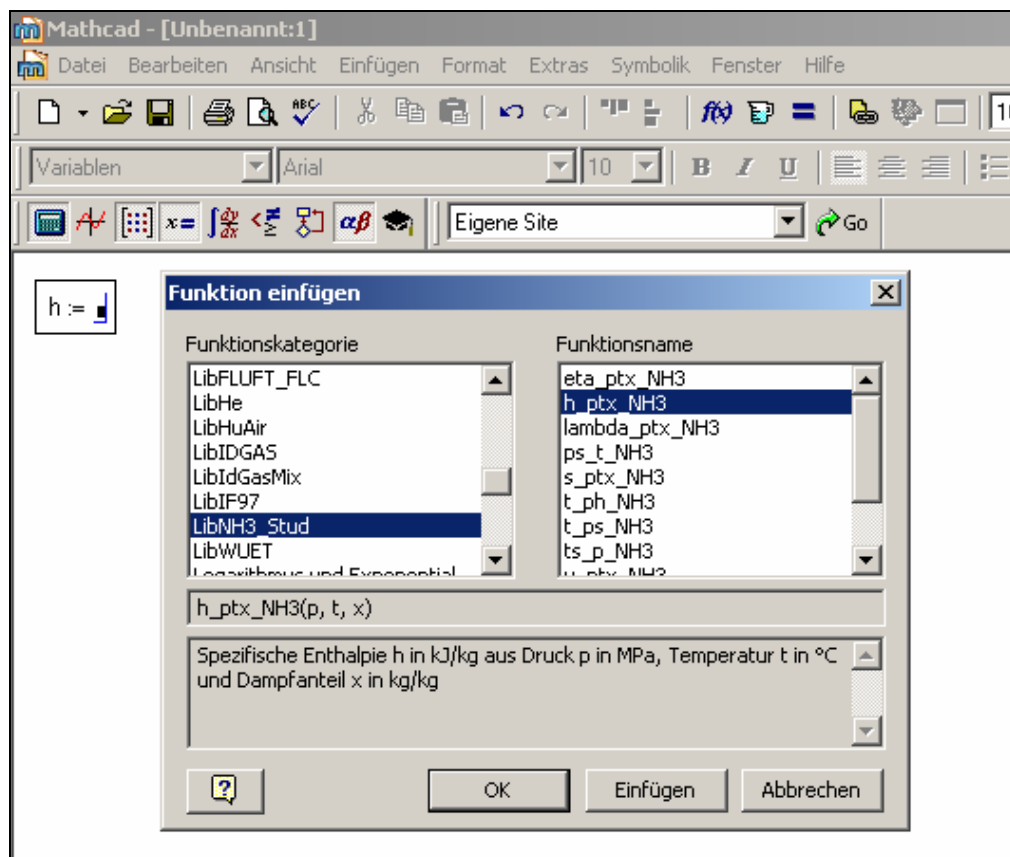
Ab sofort stehen Ihnen die Stoffwertfunktionen in Mathcad zur Verfügung.

2.2 Beispiel: Berechnung der spezifischen Enthalpie $h = f(p, t, x)$ für Ammoniak

Berechnet werden soll die spezifische Enthalpie h aus gegebenem Druck p in MPa, gegebener Temperatur t in °C und gegebenem Wassergehalt x in kg/kg für Ammoniak.

Folgende Anweisungen sind auszuführen:

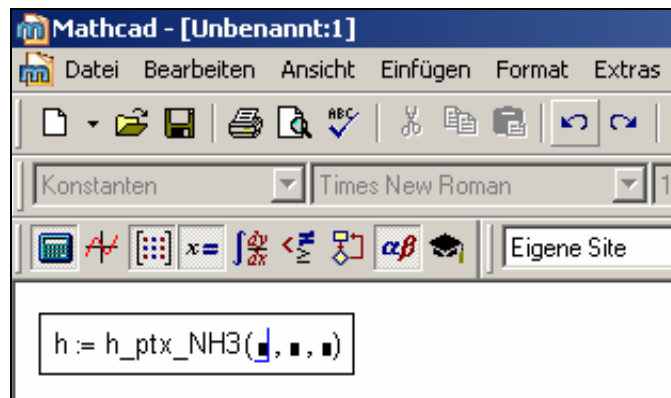
- Starten von Mathcad (falls noch nicht geschehen).
- Schreiben von "h:" in das Arbeitsfenster. Es erscheint $h := \blacksquare$.
- Anklicken von "Einfügen" in der oberen Menüleiste und darin "Funktion...". Das folgende Dialogfenster erscheint.



- Mit Hilfe des Scroll-Balkens unter Funktionskategorie die Bibliothek "LibNH3_Stud" auswählen und anklicken. Danach unter Funktionsname die Funktion "h_ptx_NH3" auswählen und anklicken.

Die Funktionskategorie und der Funktionsname werden invertiert, farblich unterlegt und die Beschreibung der Funktion sowie die Maßeinheiten der Variablen eingeblendet.

- Anklicken der Taste "OK", es erscheint $h := h_ptx_NH3(\blacksquare, \blacksquare, \blacksquare)$ im Arbeitsfenster von Mathcad (vgl. folgendes Bild).



- Der Cursor steht beim ersten Operanden.
- Für den ersten Operanden: Eintragen des Wertes für p in MPa - mit Punkt als Dezimaltrennzeichen
(Zustandsbereich: $p = 0,119 \text{ MPa} \dots 2,035 \text{ MPa}$)

z.B. Eintragen des Wertes 1 für den ersten Operanden

- Mit dem Cursor zum zweiten Operanden gehen.
- Für den zweiten Operanden: Eintragen des Wertes für t in $^{\circ}\text{C}$ - mit Punkt als Dezimaltrennzeichen
(Zustandsbereich: $-30 \dots 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

z. B.: Eintragen des Wertes -30 für den zweiten Operanden.

- Mit dem Cursor zum dritten Operanden gehen.
- Eintragen eines Wertes für x in kg/kg in den verbliebenen Platzhalter
Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzter Dampf) liegt, ist für x formal der Wert $x = -1$ einzugeben.

Im Falle, dass Nassdampf vorliegt, muss für x ein Wert zwischen 0 und 1 (der Wert $x = 0$ bei siedender Flüssigkeit, der Wert $x = 1$ bei Sattdampf) eingegeben werden.

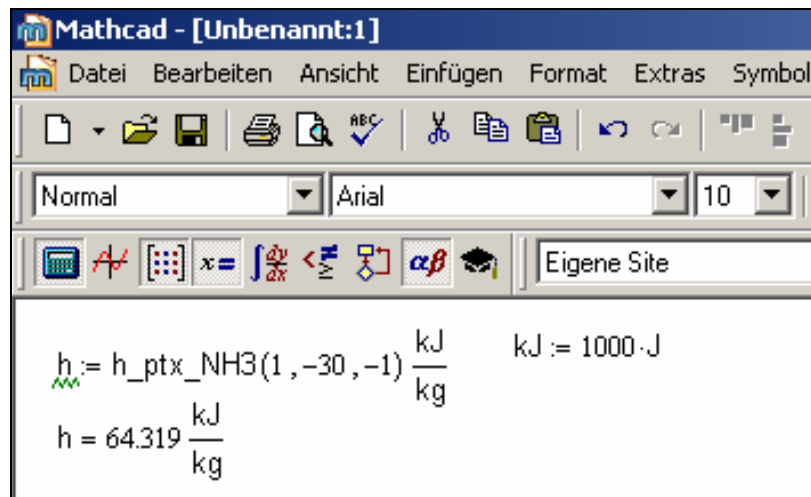
Tragen Sie als Beispiel den Wert -1 ein, da der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet liegen soll.

Bestätigung der Eingabe mit Taste "ENTER".

- Nun kann die berechnete Variable h weiter verwendet oder beispielsweise das Ergebnis abgefragt werden. Hierfür ist im Arbeitsfenster auf die folgende Zeile "h =" zu schreiben.

Es erscheint: $h=64.319$.

Die Darstellung des Ergebnisses ist dabei von der eingestellten Stellenanzahl und der Anzahl der eingestellten Nachkommastellen abhängig. Die Maßeinheit des Ergebnisses kann zur Funktionsgleichung hinzumultipliziert werden, so dass auch das Ergebnis mit Maßeinheit erscheint. Vorher ist diese Einheit (im Beispiel kJ) noch zu definieren.



2.3 De-Installation von FluidMAT

Um FluidMAT aus Mathcad und von der Festplatte zu entfernen, ist innerhalb von Windows[®] in der unteren Task-Leiste "Start", darin "Einstellungen" und darin "Systemsteuerung" anzuklicken. Anschließend muss "Software" doppelt angeklickt werden. In der Listbox des sich öffnenden Menüs "Eigenschaften von Software" ist "FluidMAT LibNH3 Student" durch Anklicken auszuwählen und danach auf die Taste "Hinzufügen/Entfernen..." zu klicken. Im folgenden Dialog ist "Automatisch" zu markieren und anschließend die Taste "Weiter >" anzuklicken. Das folgende Menü "Deinstallation durchführen" ist durch Anklicken der Taste "Ende" zu bestätigen. Schließlich müssen die Fenster "Eigenschaften von Software" und danach "Systemsteuerung" geschlossen werden. Damit ist die De-Installation von FluidMAT beendet.

3 Programmdokumentation

Dynamische Zähigkeit $\eta = f(p, t, x)$

Name in FluidEXL und FluidMAT: **eta_ptx_NH3**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

x - Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)

Rückgabewert

eta_ptx_NH3 – dynamische Zähigkeit η in Pa s

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 250 °C

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung für siedende Flüssigkeit und gesättigten Dampf

Das Nassdampfgebiet wird automatisch behandelt. Hierfür sind die folgenden Festlegungen für den Dampfanteil x zu beachten:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzter Dampf) liegt, ist für x formal $x = - 1$ einzugeben.

Im Falle, dass der zu berechnende Zustandspunkt auf der Siedelinie liegt, ist für x der Wert $x = 0$ und im Fall gesättigten Dampfes (Taulinie) der Wert $x = 1$ einzugeben. Eine Berechnung für Werte von x zwischen 0 und 1 ist nicht möglich.

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei siedender Flüssigkeit oder gesättigtem Dampf, entweder den gegebenen Wert für t und $p = - 1000$ oder den gegebenen Wert für p und $t = - 1000$ sowie den Wert für x ($x = 0$ oder $x = 1$) vorzugeben. Wird sowohl t als auch p und x eingegeben, geht das Programm davon aus, dass p und t die Dampfdruckkurve repräsentieren.

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t = - 30$ °C bis $t = 50$ °C

Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **eta_ptx_NH3 = - 1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
($x = - 1$) $t > 250$ °C oder $t < - 30$ °C

Siede- oder Taulinie: bei $p = - 1000$ und $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C
 bei $t = - 1000$ und $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
 bei $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa und
 $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C

Literatur: [17]

Spezifische Enthalpie $h = f(p, t, x)$

Name in FluidEXL und FluidMAT: **h_ptx_NH3**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

x - Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)

Rückgabewert

h_ptx_NH3 - spezifische Enthalpie h in kJ/kg

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von – 30 °C bis 250 °C

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung für siedende Flüssigkeit und gesättigten Dampf

Das Nassdampfgebiet wird automatisch behandelt. Hierfür sind die folgenden Festlegungen für den Dampfanteil x zu beachten:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzter Dampf) liegt, ist für x formal $x = - 1$ einzugeben.

Im Falle, dass der zu berechnende Zustandspunkt im Nassdampfgebiet vorliegt, ist für x ein Wert zwischen 0 und 1 (der Wert $x = 0$ bei siedender Flüssigkeit, der Wert $x = 1$ bei Satttdampf) einzugeben.

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, entweder den gegebenen Wert für t und $p = - 1000$ oder den gegebenen Wert für p und $t = - 1000$ sowie den Wert für x ($x = 0$ oder $x = 1$) vorzugeben. Wird sowohl t als auch p und x eingegeben, geht das Programm davon aus, dass p und t die Dampfdruckkurve repräsentieren.

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t = - 30$ °C bis $t = 50$ °C

Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **h_ptx_NH3 = - 1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
($x = - 1$) $t > 250$ °C oder $t < - 30$ °C

Siede- oder Taulinie: bei $p = - 1000$ und $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C
 bei $t = - 1000$ und $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
 bei $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa und
 $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C

Literatur: [16]

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = f(p, t, x)$

Name in FluidEXL und FluidMAT: **lambda_ptx_NH3**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

x - Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)

Rückgabewert

lambda_ptx_NH3 – Wärmeleitfähigkeit λ in 10^{-3} W/m K

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 250 °C

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung für siedende Flüssigkeit und gesättigten Dampf

Das Nassdampfgebiet wird automatisch behandelt. Hierfür sind die folgenden Festlegungen für den Dampfanteil x zu beachten:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzter Dampf) liegt, ist für x formal $x = - 1$ einzugeben.

Im Falle, dass der zu berechnende Zustandspunkt auf der Siedelinie liegt, ist für x der Wert $x = 0$ und im Fall gesättigten Dampfes (Taulinie) der Wert $x = 1$ einzugeben. Eine Berechnung für Werte von x zwischen 0 und 1 ist nicht möglich.

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei siedender Flüssigkeit oder gesättigtem Dampf, entweder den gegebenen Wert für t und $p = - 1000$ oder den gegebenen Wert für p und $t = - 1000$ sowie den Wert für x ($x = 0$ oder $x = 1$) vorzugeben. Wird sowohl t als auch p und x eingegeben, geht das Programm davon aus, dass p und t die Dampfdruckkurve repräsentieren.

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t = - 30$ °C bis $t = 50$ °C

Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **lambda_ptx_NH3 = - 1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
($x = - 1$) $t > 250$ °C oder $t < - 30$ °C

Siede- oder Taulinie: bei $p = - 1000$ und $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C
 bei $t = - 1000$ und $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
 bei $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa und
 $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C

Literatur: [18]

Dampfdruck $p_s = f(t)$

Name in FluidEXL und FluidMAT: **ps_t_NH3**

Eingabewerte

t - Temperatur t in °C

Rückgabewert

ps_t_NH3 – Dampfdruck p_s in MPa

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 50 °C

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **ps_t_NH3 = - 1000** für Eingabewerte:

t < - 30 °C oder t > 50 °C

Literatur: [16]

Spezifische Entropie $s = f(p, t, x)$

Name in FluidEXL und FluidMAT: **s_ptx_NH3**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

x - Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)

Rückgabewert

s_ptx_NH3 - spezifische Entropie s in kJ/kg K

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 250 °C

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung für siedende Flüssigkeit und gesättigten Dampf

Das Nassdampfgebiet wird automatisch behandelt. Hierfür sind die folgenden Festlegungen für den Dampfanteil x zu beachten:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzter Dampf) liegt, ist für x formal $x = - 1$ einzugeben.

Im Falle, dass der zu berechnende Zustandspunkt im Nassdampfgebiet vorliegt, ist für x ein Wert zwischen 0 und 1 (der Wert $x = 0$ bei siedender Flüssigkeit, der Wert $x = 1$ bei Sattdampf) einzugeben.

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, entweder den gegebenen Wert für t und $p = - 1000$ oder den gegebenen Wert für p und $t = - 1000$ sowie den Wert für x ($x = 0$ oder $x = 1$) vorzugeben. Wird sowohl t als auch p und x eingegeben, geht das Programm davon aus, dass p und t die Dampfdruckkurve repräsentieren.

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t = - 30$ °C bis $t = 50$ °C

Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **s_ptx_NH3 = - 1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
($x = - 1$) $t > 250$ °C oder $t < - 30$ °C

Siede- oder Taulinie: bei $p = - 1000$ und $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C
bei $t = - 1000$ und $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
bei $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa und
 $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C

Literatur: [16]

Umkehrfunktion: Temperatur $t = f(p, h)$

Name in FluidEXL und FluidMAT: **t_ph_NH3**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

h - Spezifische Enthalpie h in kJ/kg

Rückgabewert

t_ph_NH3 – Temperatur t in °C

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 250 °C

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zur Berechnung von Nassdampf

Das Nassdampfgebiet wird automatisch behandelt. Das heißt, ausgehend von den gegebenen Werten für p und h wird innerhalb des Unterprogramms ermittelt, ob der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder Dampf) oder im Nassdampfgebiet liegt. Anschließend erfolgt die Berechnung für das betreffende Zustandsgebiet.

Nassdampfgebiet: Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **t_ph_NH3 = - 1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
($x = - 1$) bei Berechnungsergebnis $t > 250$ °C oder $t < - 30$ °C

Siede- oder Taulinie: bei $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
bei Berechnungsergebnis $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C

Literatur: [16]

Umkehrfunktion: Temperatur $t = f(p,s)$

Name in FluidEXL und FluidMAT: **t_ps_NH3**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

s - Spezifische Entropie s in kJ/kg K

Rückgabewert

t_ps_NH3 – Temperatur t in °C

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 250 °C

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zur Berechnung von Nassdampf

Das Nassdampfgebiet wird automatisch behandelt. Das heißt, ausgehend von den gegebenen Werten für p und s wird innerhalb des Unterprogramms ermittelt, ob der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder Dampf) oder im Nassdampfgebiet liegt. Anschließend erfolgt die Berechnung für das betreffende Zustandsgebiet.

Nassdampfgebiet: Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **t_ps_NH3 = -1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
($x = - 1$) bei Berechnungsergebnis $t > 250$ °C oder $t < - 30$ °C

Siede- oder Taulinie: bei $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
bei Berechnungsergebnis $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C

Literatur: [16]

Siedetemperatur $t_s = f(p)$

Name in FluidEXL und FluidMAT: **ts_p_NH3**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

Rückgabewert

ts_p_NH3 – Siedetemperatur t_s in °C

Gültigkeitsbereich

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **ts_p_NH3 = - 1000** für Eingabewerte:

$p < 0,119$ MPa oder $p > 2,035$ MPa

Literatur: [16]

Spezifisches Volumen $v = f(p, t, x)$

Name in FluidEXL und FluidMAT: **v_ptx_NH3**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

x - Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)

Rückgabewert

v_ptx_NH3 - spezifisches Volumen v in m³/kg

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 250 °C

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung für siedende Flüssigkeit und gesättigten Dampf

Das Nassdampfgebiet wird automatisch behandelt. Hierfür sind die folgenden Festlegungen für den Dampfanteil x zu beachten:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzter Dampf) liegt, ist für x formal $x = - 1$ einzugeben.

Im Falle, dass der zu berechnende Zustandspunkt im Nassdampfgebiet vorliegt, ist für x ein Wert zwischen 0 und 1 (der Wert $x = 0$ bei siedender Flüssigkeit, der Wert $x = 1$ bei Satttdampf) einzugeben.

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, entweder den gegebenen Wert für t und $p = - 1000$ oder den gegebenen Wert für p und $t = - 1000$ sowie den Wert für x ($x = 0$ oder $x = 1$) vorzugeben. Wird sowohl t als auch p und x eingegeben, geht das Programm davon aus, dass p und t die Dampfdruckkurve repräsentieren.

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t = - 30$ °C bis $t = 50$ °C

Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **v_ptx_NH3 = - 1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
($x = - 1$) $t > 250$ °C oder $t < - 30$ °C

Siede- oder Taulinie: bei $p = - 1000$ und $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C
bei $t = - 1000$ und $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa oder
bei $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa und
 $t > 50$ °C oder $t < - 30$ °C

Literatur: [16]

Umkehrfunktion: Dampfanteil $x = f(p,h)$ **Name in FluidEXL und FluidMAT:** `x_ph_NH3`**Eingabewerte****p** - Druck p in MPa**h** - Spezifische Enthalpie h in kJ/kg**Rückgabewert****x_ph_NH3** – Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf/kg Nassdampf)**Gültigkeitsbereich**

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 250 °C

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zur Berechnung von Nassdampf

Das Nassdampfgebiet wird automatisch behandelt. Das heißt, ausgehend von den gegebenen Werten für p und h wird innerhalb des Unterprogramms ermittelt, ob der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder Dampf) oder im Nassdampfgebiet liegt. Liegt Nassdampf vor, erfolgt die Berechnung des Wertes für x . Liegt der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet, wird für x das Ergebnis $x = - 1$ gesetzt.

Nassdampfgebiet: Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa**Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten**Ergebnis **x_ph_NH3 = - 1** für Eingabewerte:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet liegt

 $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa**Literatur:** [16]

Umkehrfunktion: Dampfanteil $x = f(p,s)$ **Name in FluidEXL und FluidMAT: x_ps_NH3** **Eingabewerte****p** - Druck p in MPa**s** - Spezifische Entropie s in kJ/kg K**Rückgabewert** **x_ps_NH3** – Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf/kg Nassdampf)**Gültigkeitsbereich**

Temperaturbereich: von - 30 °C bis 250 °C

Druckbereich: von 0,119 MPa bis 2,035 MPa

Erläuterung zur Berechnung von Nassdampf

Das Nassdampfgebiet wird automatisch behandelt. Das heißt, ausgehend von den gegebenen Werten für p und s wird innerhalb des Unterprogramms ermittelt, ob der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder Dampf) oder im Nassdampfgebiet liegt. Liegt Nassdampf vor, erfolgt die Berechnung des Wertes für x . Liegt der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet, wird für x das Ergebnis $x = - 1$ gesetzt.

Nassdampfgebiet: Druckbereich von $p = 0,119$ MPa bis $p = 2,035$ MPa**Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten**Ergebnis **$x_ps_NH3 = - 1$** für Eingabewerte:Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet liegt
 $p > 2,035$ MPa oder $p < 0,119$ MPa**Literatur:** [16]

4 Literaturverzeichnis

- [1] Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam IAPWS-IF97.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B, EPRI, Palo Alto CA (1997)
- [2] Wagner, W.; Kruse, A.:
Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf.
Springer-Verlag, Berlin (1998)
- [3] Wagner, W.; Cooper, J.R.; Dittmann, A.; Kijima, J.; Kretzschmar, H.-J.; Kruse, A.; Mareš, R.; Oguchi, K.; Sato, H.; Stöcker, I.; Šifner, O.; Takaishi, Y.; Tanishita, I.; Trübenbach, J.; Willkommen, Th.:
The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam.
ASME Journal of Eng. for Gas Turbines and Power 122 (2000) Nr. 1, S. 150-182
- [4] Kretzschmar, H.-J.; Stöcker, I.; Klinger, J.; Dittmann, A.:
Calculation of Thermodynamic Derivatives for Water and Steam Using the New Industrial Formulation IAPWS-IF97.
in: Steam, Water and Hydrothermal Systems: Physics and Chemistry Meeting the Needs of Industry, Proceedings of the 13th International Conference on the Properties of Water and Steam, Eds. P.G. Hill et al., NRC Press, Ottawa, 2000
- [5] Kretzschmar, H.-J.:
Mollier h,s-Diagramm.
Springer-Verlag, Berlin (1998)
- [6] Revised Release on the IAPS Formulation 1985 for the Thermal Conductivity of Ordinary Water Substance.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1997)
- [7] Revised Release on the IAPS Formulation 1985 for the Viscosity of Ordinary Water Substance.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1997)
- [8] IAPWS Release on Surface Tension of Ordinary Water Substance 1994.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1994)
- [9] Kretzschmar, H.-J.; Stöcker, I.; Willkommen, Th.; Trübenbach, J.; Dittmann, A.:
Supplementary Equations $v(p, T)$ for the Critical Region to the New Industrial Formulation IAPWS-IF97 for Water and Steam.
in: Steam, Water and Hydrothermal Systems: Physics and Chemistry Meeting the Needs of Industry, Proceedings of the 13th International Conference on the Properties of Water and Steam, Eds. P.G. Hill et al., NRC Press, Ottawa, 2000
- [10] Kretzschmar, H.-J.; Cooper, J.R.; Dittmann, A.; Friend, D.G.; Gallagher, J.; Knobloch, K.; Mareš, R.; Miyagawa, K.; Stöcker, I.; Trübenbach, J.; Willkommen, Th.:
Supplementary Backward Equations for Pressure as a Function of Enthalpy and Entropy $p(h, s)$ to the Industrial Formulation IAPWS-IF97 for Water and Steam.
ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power - in Vorbereitung

- [11] Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1995)
- [12] Grigull, U.:
Properties of Water and Steam in SI Units.
Springer-Verlag, Berlin (1989)
- [13] Kretzschmar, H.-J.:
Zur Aufbereitung und Darbietung thermophysikalischer Stoffdaten für die Energietechnik.
Habilitation, TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen (1990)
- [14] VDI Richtlinie 4670
Thermodynamische Stoffwerte von feuchter Luft und Verbrennungsgasen.
VDI-Handbuch Energietechnik (2000)
- [15] Lemmon, E. W.; Jacobsen, R. T.; Penoncello, S. G.; Friend, D. G.:
Thermodynamic Properties of Air and Mixtures of Nitrogen, Argon and Oxygen from 60 to 2000 K at Pressures to 2000 MPa.
Journal of Physical Chemical Reference Data 29 (2000) Nr. 3, S. 331-385
- [16] Baehr, H.D.; Tillner- Roth,R.:
Thermodynamische Eigenschaften umweltverträglicher Kältemittel,
Zustandsgleichungen und Tafeln für Ammoniak, R22, R134a, R152a und R 123.
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (1995)
- [17] Fenghour, A.; Wakeham, W. A.; Vesovic, V.; Watson, J. T. R.; Millat, J.; Vogel, E.:
The Viskosity of Ammonia.
J. Phys. Chem. Ref. Data, 24, (1995) Nr. 5, S. 1649-1667
- [18] Tufeu, R.; Ivanov, D. Y.; Garrabos, Y.; Le Neindre, B.:
Thermal Conductivity of Ammonia in a Large Temperature and Pressure Range Including the Critical Region.
Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 88 (1984) S. 422-427