HOCHSCHULE ZITTAU/GÖRLITZ
(FH) - University of Applied Sciences

Fachbereich
MASCHINENWESEN

Fachgebiet
TECHNISCHE THERMODYNAMIK

Stoffwertprogrammbibliothek für Gasgemische in Energietechnischen Prozess-Modellierungen

FluidMAT LibIdGasMix_Stud

für Mathcad®

Version für Studierende

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar
Dr.-Ing. I. Stöcker
Dipl.-Inf. (FH) I. Jähne
Dipl.-Ing. (FH) K. Knobloch
Dipl.-Ing. (FH) B. Nowak

Stoffwertprogramme für Gasgemische in Energietechnischen Prozessmodellierungen

LibIdGasMix_Stud
FluidMAT
Version für Studierende

Inhalt

0. Lieferumfang

1. Übersicht über Berechnungsprogramme
   1.1 Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliothek
   1.2 Stoffwertfunktionen für ideale Gasgemische (Gasgemisch- igmix)
   1.3 Stoffwertfunktionen für ideale Gase (Einzelgas- igas)

2. Nutzung von FluidMAT in Mathcad®
   2.1 Installation in Mathcad®
   2.2 Beispiel: Berechnung der Enthalpie h = f(T,type,ξ_1... ξ_{10}) des Gasgemisches
   2.3 Beispiel: Berechnung des Molanteils ψ_i = f(i,ξ_1... ξ_{10}) des Gases i im Gasgemisch
   2.4 Beispiel: Berechnung der Enthalpie h = f(T,igas) des Gases igas
   2.5 De-Installation

3. Programmdokumentation für Gasgemische (igmix- Funktionen)

4. Programmdokumentation für Gase einzeln (igas- Funktionen)

5. 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 LibIdGasMix für Mathcad®"
Stoffwert-Bibliothek für Gasgemische
mit folgenden Dateien:

FluidMAT_LibIdGasMix_Stud_Setup.exe	Selbstentpackende Installationsdatei
FluidMAT_LibIdGasMix_Stud_Doku.pdf	Programmdokumentation

Programmdokumentation als gedrucktes Exemplar (bei Versand)

1. Übersicht über Berechnungsprogramme

1.1 Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliothek

Tabelle 1 enthält eine Liste der Gase, die als Gemischgase im Gemisch oder als Einzelgase mit der Stoffwert-Bibliothek LibIdGasMix_Stud berechenbar sind. Die Berechnung der thermodynamischen Zustandsgrößen erfolgt mit den in Tabelle 1 angegebenen Algorithmen. Die Algorithmen für die Transportgrößen sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 1: Gase und Literaturangaben zur Berechnung der thermodynamischen Zustandsgrößen

Gas-Nr.	Gemischgas		Algorithmen
1	Ar	Argon	VDI-4670 [21]
2	Ne	Neon	VDI-4670 [21]
3	N_2	Stickstoff	VDI-4670 [21]
4	O_2	Sauerstoff	VDI-4670 [21]
5	CO	Kohlenmonoxid	VDI-4670 [21]
6	CO_2	Kohlendioxid	VDI-4670 [21]
7	H_2O	Wasserdampf	VDI-4670 [21]
8	SO_2	Schwefeldioxid	VDI-4670 [21]
9	AIR	Luft	Mischung nach VDI 4670 [1)] [21]
10	AIR-N_2	Luftstickstoff	Mischung nach VDI 4670 [2)] [21]
11	NO	Stickstoffoxid	ASME [42]
12	H_2S	Schwefelwasserstoff	Brandt [15]
13	OH	Hydroxyl	Brandt [15]
14	CH_3OH	Methanol	IUPAC [26]
15	CH_4	Methan	IUPAC [27]
16	C_2H_4	Ethylen	IUPAC [35]
17	C_2H_6	Ethan	Buecker [29]
18	C_3H_6	Propylen	IUPAC [32]
19	C_3H_8	Propan	Buecker [29]
20	n-C_4H_{10}	n-Butan	Buecker [29]
21	Iso-C_4H_{10}	Iso-Butan	Buecker [29]
22	C_6H_6	Benzen	BTA Freiberg [34]
23	H_2	Wasserstoff	Leachman et al. [40]
24	He	Helium	McCarty und Arp [41]
25	NH_3	Ammoniak	Tiller-Roth [38]/ Brandt [15] [3)]
26	frei [4)]		
27	frei [4)]		
28	frei [4)]		
29	frei [4)]		
30	F_2	Fluor [5)]	IUPAC [28]

1) Zusammensetzung der Luft (trocken)

Molanteile	78,1109 % N_2 20,9548 % O_2 0,9343 % Ar
Masseanteile	75,5577 % N_2 23,1535 % O_2 1,2888 % Ar

2) Zusammensetzung des Luftstickstoffs

Molanteile	98,8180 % N_2 1,1820 % Ar
Masseanteile	98,3229 % N_2 1,6771 % Ar

3) Die thermodynamischen Zustandsgrößen von Ammoniak, wie isobare Wärmekapazität, isochore Wärmekapazität, Isentropenexponent, PRANDTL-Zahl und isentrope Schallgeschwindigkeit basieren nach Algorithmen aus *Brandt* [15]. Alle anderen Zustandsgrößen werden nach Gleichungen von *Tillner-Roth* [38] berechnet.

4) Die Gasnummern 26 bis 29 sind derzeit nicht belegt.

5) Fluor kann auf Grund seiner chemischen Eigenschaften nicht als Gemischgas berechnet werden. Die Eigenschaften sind nur für das reine Gas Fluor berechenbar.

Die Berechnungsprogramme sind im Temperaturbereich

von T = 200 K bis 3300 K

gültig. Ausnahmen sind:

Propylen von 200 K bis 1773,15 K

Fluor von 200 K bis 1250 K .

Der Druckbereich beschränkt sich auf den Bereich, in dem die Gemischgase bzw. Einzelgase als ideale Gase betrachtet werden können und erstreckt sich somit

von oberhalb 0,001 MPa bis 1 (3) MPa, maximal 5 MPa.

Die Annahme ideales Gas trifft mit guter Näherung bis zu einem Druck von 1 MPa zu. Bei geringen Temperaturen bis zu 373,15 K und höheren Drücken müssen größere Ungenauigkeiten bei den berechneten Stoffwerten in Kauf genommen werden.

Hinweis!

Erscheint als berechnetes Ergebnis der Wert -9999, deutet dies darauf hin, dass die Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereiches gewählt wurden und/oder die Summe der eingegebenen Werte ξ_1, ... ξ_{30} bzw. ψ_1, ... ψ_{30} nicht den Wert 1 ergibt.

Tabelle 2: Gase und Literaturangaben zur Berechnung der Transportgrößen

Gas-Nr.	Gemischgas		Algorithmen
1	Ar	Argon	Brandt [15]
2	Ne	Neon	Brandt [15]
3	N_2	Stickstoff	Brandt [15]
4	O_2	Sauerstoff	Brandt [15]
5	CO	Kohlenmonoxid	Brandt [15]
6	CO_2	Kohlendioxid	Brandt [15]
7	H_2O	Wasserdampf	Brandt [15]
8	SO_2	Schwefeldioxid	Brandt [15]
9	AIR	Luft	Brandt [15]
10	AIR-N_2	Luftstickstoff	Brandt [15]
11	NO	Stickstoffoxid	Brandt [15]
12	H_2S	Schwefelwasserstoff	Brandt [15]
13	OH	Hydroxyl	- [6)]
14	CH_3OH	Methanol	VB [33]
15	CH_4	Methan	Brandt [15]
16	C_2H_4	Ethylen	VB [33]
17	C_2H_6	Ethan	Brandt [15]
18	C_3H_6	Propylen	VB [33]
19	C_3H_8	Propan	Brandt [15]
20	C_4H_{10}	n-Butan	VB [33]
21	C_4H_{10}	Iso-Butan	VB [33]
22	C_6H_6	Benzen	VB [33]
23	H_2	Wasserstoff	Brandt [15]
24	He	Helium	Brandt [15]
25	NH_3	Ammoniak	Brandt [15]
26 bis 29	frei		
30	F_2	Fluor	VB [33]

6) Für Hydroxyl OH liegen keine Algorithmen für die Transportgrößen vor. Bei Mischungen mit dem Gemischgas Hydroxyl wird folgendes Rechenschema verwendet:

Masseanteil bis 10% OH	→	OH-Anteil wird bei Berechnung der Transportgrößen nicht berücksichtigt
Masseanteil von 10% bis 100%	→	Fehlermeldung -130666

1.2 Stoffwertfunktionen für ideale Gasgemische (Gasgemisch – igmix)

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidEXL	Aufruf als Fortran-Unterprogramm	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit Funktionswert	Info. Seite
c_p = f(T,ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	cp_T_igmix	CP_T_IGMIX(T,ART,ZU(0:30))	Spezifische isobare Wärmekapazität des Gemisches	kJ/(kg K)	3/1
h = f(T,ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	h_T_igmix	H_T_IGMIX(T,ART,ZU(0:30))	Spezifische Enthalpie des Gemisches	kJ/kg	3/2
κ = f(T,ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	Kappa_T_igmix	KAPPA_T_IGMIX(T,ART,ZU(0:30))	Isentropenexponent des Gemisches		3/3
λ=f(T,ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	Lambda_T_igmix	LAMBDA_T_IGMIX(T,ART,ZU(0:30)	Wärmeleitfähigkeit des Gemisches	W/m · K	3/4
M = f(ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	M_igmix	M_IGMIX(ART,ZU(0:30))	Molare Masse des Gemisches	kg/kmol	3/5
η = f(T,ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	Eta_T_igmix	ETA_T_IGMIX(T,ART,ZU(0:30))	Dynamische Zähigkeit des Gemisches	m^2/s	3/6
ψ_i = f(igas,ξ_1...ξ_{30})	Psi_igas_Xsi_igmix	PSI_IGAS_XSI_IGMIX(IGAS,XSI(0:30))	Molanteil des Gemischgases aus den Masseanteilen aller Gemischgase	kmol/kmol	3/7
R = f(ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	R_igmix	R_IGMIX(ART,ZU(0:30))	Spezifische Gaskonstante des Gemisches	kJ/(kg K)	3/8
s = f(p,T,ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	s_pT_igmix	S_PT_IGMIX(P,T,ART,ZU(0:30))	Spezifische Entropie des Gemisches	kJ/(kg K)	3/9
T = f(h,ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	T_h_igmix	T_H_IGMIX(H,ART,ZU(0:30))	Umkehrfunktion: Temperatur aus Enthalpie	K	3/10
T = f(p,s,ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})	T_ps_igmix	T_PS_IGMIX(P,S,ART,ZU(0:30))	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie des Gemisches	K	3/11

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidEXL	Aufruf als Fortran-Unterprogramm	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit	Info. Seite
$v = f(p, T, \xi_1 \ldots \xi_{30}$ oder $\psi_1 \ldots \psi_{30})$	v_pT_igmix	V_PT_IGMIX(P,T,ART,ZU(0:30))	Spezifisches Volumen des Gemisches	m^3/kg	3/12
$\xi_I = f(igas, \psi_1 \ldots \psi_{10})$	Xsi_igas_Psi_igmix	XSI_IGAS_PSI_IGMIX(IGAS,PSI(0:30))	Massenanteil des Gemischgases aus den Molanteilen aller Gemischgase	kg/kg	3/13

Maßeinheiten:

Formelzeichen	Bezeichnung	Maßeinheit
T	Temperatur	K
p	Gesamtdruck	MPa
ξ_1 ... ξ_{30}	Masseanteile der Gemischgase	kg/kg
ψ_1... ψ_{30}	Molanteile bzw. Volumenanteile der Gemischgase	kmol/kmol
art	Eingabeparameter: art = 1 für Eingabe der Zusammensetzung in Masseanteilen ξ_1, ... ξ_{30} art = 0 für Eingabe der Zusammensetzung in Molanteilen ψ_1, ... ψ_{30}	
zu(0:30) für art =1	Zusammensetzung als Masseanteile ξ_1 ... ξ_{30}	kg/kg
zu(0:30) für art =0	Zusammensetzung als Molanteile ψ_1... ψ_{30}	kmol/kmol

Bezugszustände

Größe	Gase (außer Wasserdampf)	Wasserdampf
Druck	0,101325 MPa	0,000611657 MPa
Temperatur	273,15 K	273,16 K
Enthalpie	0 kJ/kg	2500,91 kJ/kg
Entropie	0 kJ/(kg K)	6,79676 kJ/(kg K)

Variablentypen für Funktions-aufruf aus DLL LibIdGasMix_Stud:

Alle Funktionen	Real*8
Variable p, T, v, h, s	Real*8
Variable zu(1..30)	Real*8
Variable art, i	Integer*4

1.3 Stoffwertfunktionen für ideale Gase (Einzelgas - igas)

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidEXL	Aufruf als Fortran-Unterprogramm	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit Funktionswert	Info. Seite
c_p = f(T,igas)	cp_T_igas	CP_T_IGAS(T, IGAS)	Spezifische isobare Wärmekapazität des Gases	kJ/(kg K)	4/1
h = f(T,igas)	h_T_igas	H_T_IGAS(T, IGAS)	Spezifische Enthalpie des Gases	kJ/kg	4/2
κ = f(T,igas)	Kappa_T_igas	KAPPA_T_IGAS(T, IGAS)	Isentropenexponent des Gases		4/3
λ=f(T,igas)	Lambda_T_igas	LAMBDA_T_IGAS(T, IGAS)	Wärmeleitfähigkeit des Gemisches	W/m · K	4/4
M = f(igas)	M_igas	M_GAS(IGAS)	Molare Masse des Gases	kg/kmol	4/5
η= f(T,igas)	Eta_pT_igas	ETA_T_IGAS(T, IGAS)	Dynamische Zähigkeit des Gases	m^2/s	4/6
R = f(igas)	R_igas	R_IGAS(IGAS)	Spezifische Gaskonstante des Gases	kJ/(kg K)	4/7
s = f(p,T,igas)	s_pT_igas	S_PT_IGAS(P,T, IGAS)	Spezifische Entropie des Gases	kJ/(kg K)	4/8
T = f(h,igas)	T_h_igas	T_H_IGAS(H, IGAS)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck	K	4/9
T = f(p,s,igas)	T_ps_igas	T_PS_IGAS(P,S, IGAS)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie des Gases	K	4/10
v = f(p,T,igas)	v_pT_igas	V_PT_IGAS(P,T, IGAS))	Spezifisches Volumen des Gases	m^3/kg	4/11

Maßeinheiten:

Formelzeichen	Bezeichnung	Maßeinheit
T	Temperatur	K
p	Gesamtdruck	MPa
igas	Nummer des Gases	

Bezugszustände

Größe	Gase (außer Wasserdampf)	Wasserdampf
Druck	0,101325 MPa	0,0006112127 MPa
Temperatur	273,15 K	273,16 K
Enthalpie	0 kJ/kg	2500,9342 kJ/kg
Entropie	0 kJ/(kg K)	9,15591 kJ/(kg K)

Variablentypen für Funktions-aufruf aus DLL LibIdGasMix_Stud:

Alle Funktionen	Real*8
Variable p, T, v, h, s	Real*8
Variable igas	Integer*4

2 Nutzung von FluidMAT in Mathcad®

Zur komfortablen Stoffwertberechnung in Mathcad® steht FluidMAT zur Verfügung. Es ermöglicht den direkten Aufruf von Funktionen aus der Stoffwert-Bibliothek LibIdGasMix für ideale Gase und Gasgemische.

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.

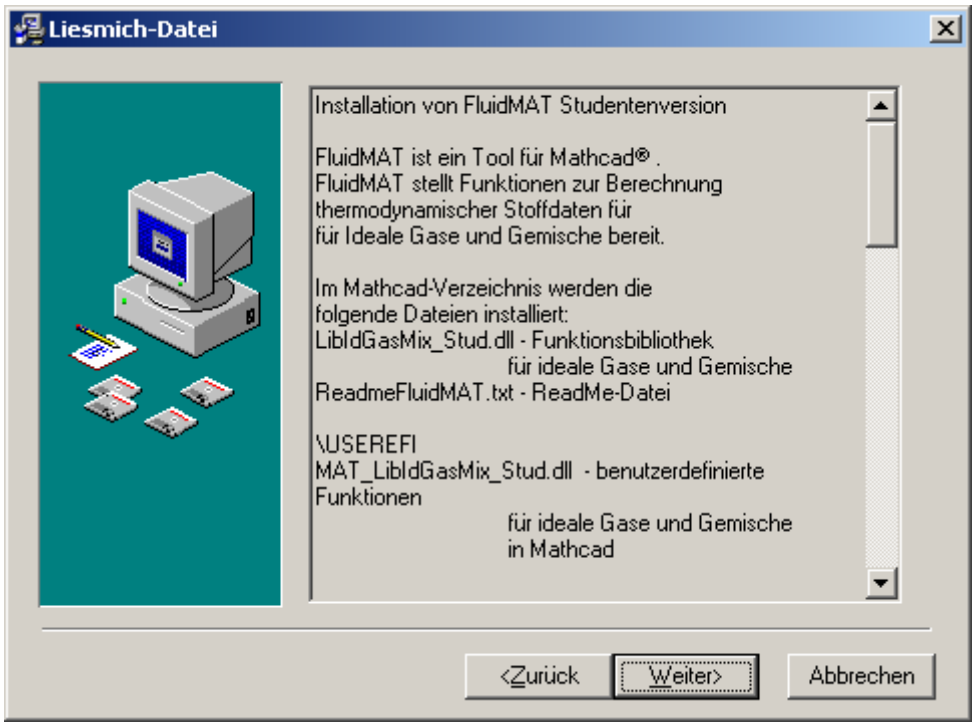
Im folgenden Dialogfenster ist die Taste "Installieren..." und im nächsten die Taste "Weiter>" anzuklicken. Im sich öffnenden Dialogfenster "Installationsprogramm ausführen" erscheint jetzt automatisch unter "Befehlszeile für das Installationsprogramm:"

D:\FluidMAT_LibIdGasMix_Stud_Setup.exe.

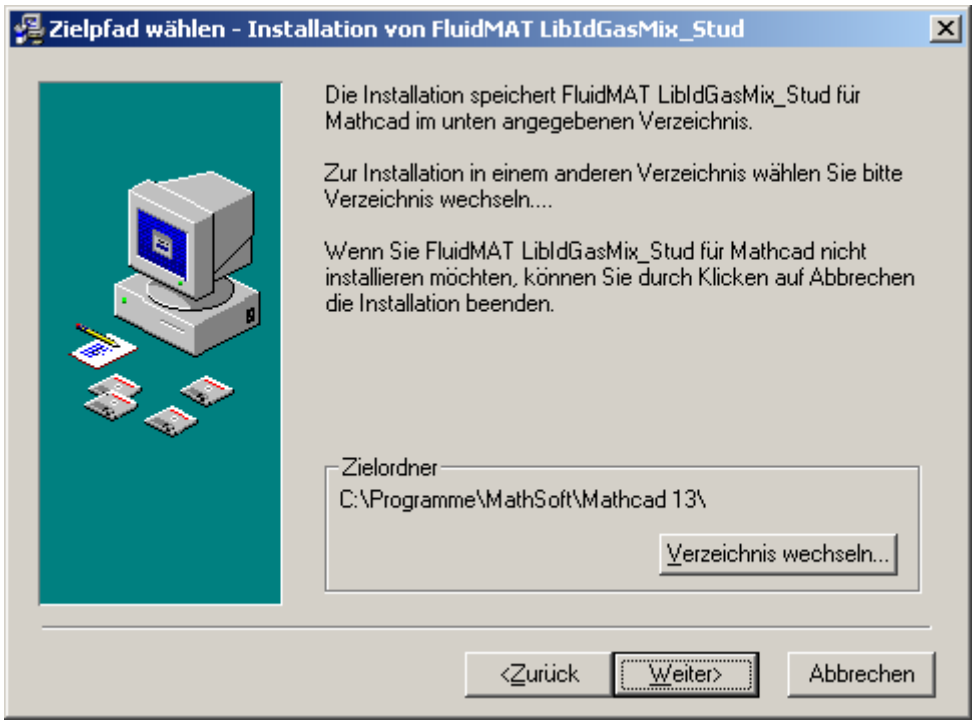
Die Installation wird nun durch Anklicken der Taste "Fertig stellen" begonnen. Es erscheint das folgende Fenster mit dem Hinweis, dass alle Windows-Programme beendet sein sollten.

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 Mathcad befindet.

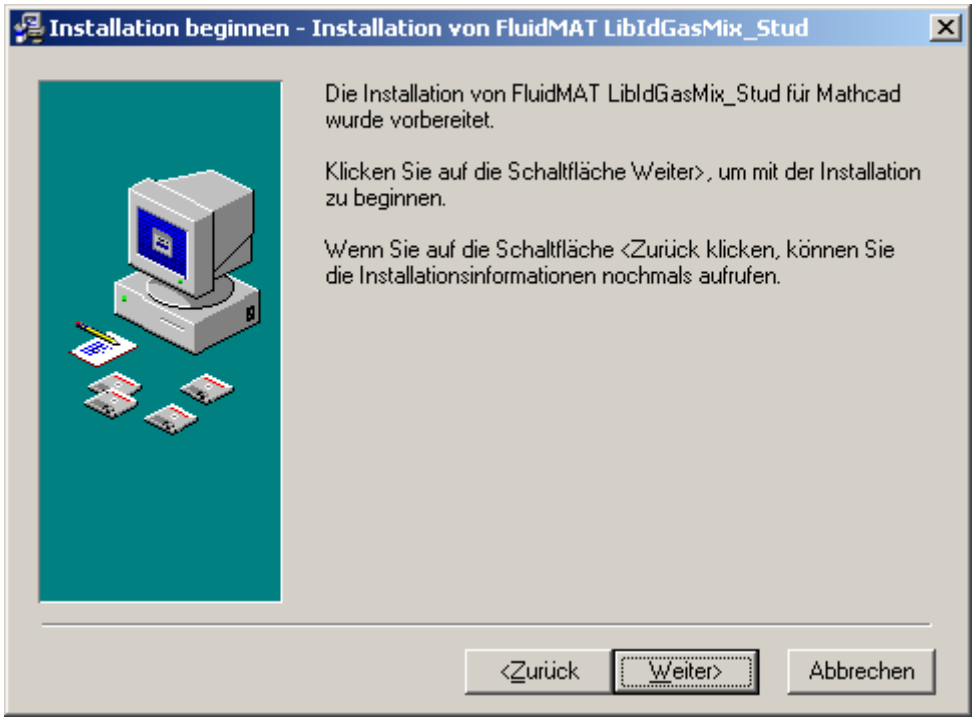


Durch das Installationsprogramm wurde der korrekte Pfad für das Mathcad-Verzeichnis bereits ermittelt und eingetragen. Sollte dies nicht der Fall sein, beispielsweise wenn zwei Versionen von Mathcad auf Ihrem System vorhanden sind, dann korrigieren Sie dies bitte, indem Sie auf die Schaltfläche "Verzeichnis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

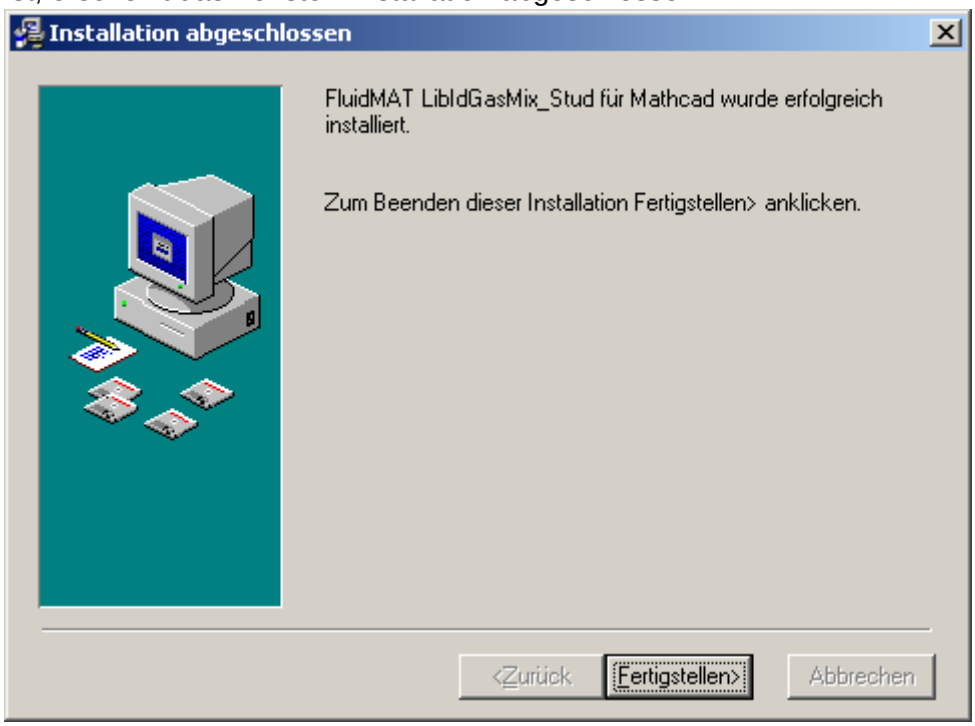
Die richtige Einstellung des Programmverzeichnisses von Mathcad ist von entscheidender Bedeutung für die korrekte Installation von FluidMAT.

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 LibIdGasMix". 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".

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

Im Mathcad-Verzeichnis wurden die folgenden Dateien installiert:

LibIdGasMix_Stud.dll	-	Funktionsbibliothek für ideale Gase und Gasgemische
Readme_MAT_LibIdGasMix.txt	-	ReadMe-Datei

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

MAT_LibIdGasMix_Stud.dll	-	benutzerdefinierte Funktionen für ideale Gase und Gasgemische

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

MAT_LibIdGasMix_Stud_DE.xml	-	Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für MAT_LibIdGasMix_Stud

Ab sofort stehen Ihnen die Stoffwertfunktionen in Mathcad zur Verfügung.

2.2 Beispiel: Berechnung der Enthalpie $h = f(T, \text{type}, \xi_1 \ldots \xi_{30})$ des Gasgemisches

Berechnet werden soll die spezifische Enthalpie *h* eines Gasgemisches bei einer Temperatur von T = 373,15 K, der Masseanteilen ξ_1 ... ξ_{30} für eine gegebene Gemischzusammensetzung aus den folgenden Masseanteilen:

Masseanteil in %	Gemischgas
12	Neon
9	Wasserdampf
21	Luft
39	Ethylen
14	n-Butan
5	Wasserstoff

Gemäß Tabelle 1 im Abschnitt 1.1 haben die gegebenen Gemischgase die folgenden Nummern in LibIdGasMix. Hinzugefügt wurden die gegebenen Masseanteile:

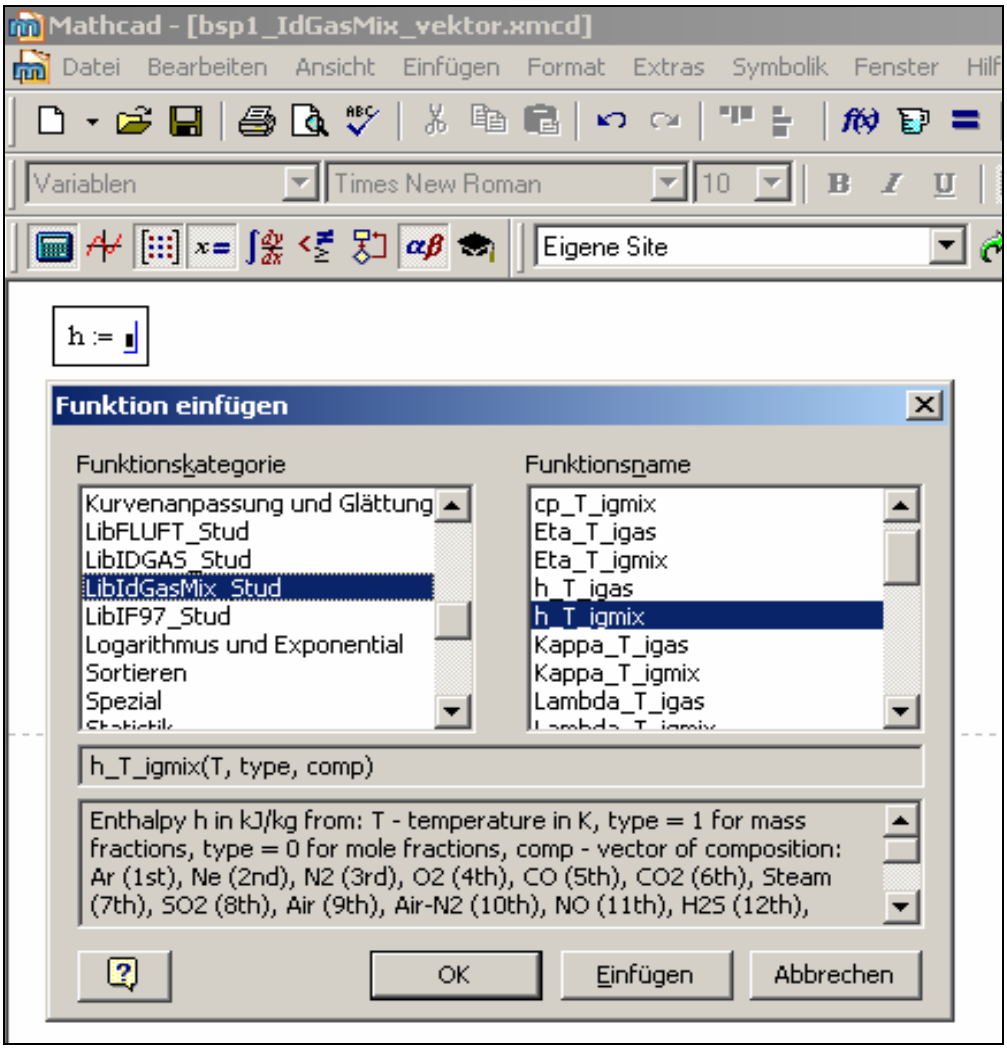
Gasnummer i	Gemischgas	ξ_i in kg/kg
2	Neon	0,12
7	Wasserdampf	0,09
9	Luft	0,21
16	Ethylen	0,39
20	n-Butan	0,14
23	Wasserstoff	0,05

Für die Berechnung sind die folgenden Anweisungen abzuarbeiten:

- Starten von Mathcad® (falls noch nicht geschehen).
- Bereiten Sie als Erstes den im Folgenden dargestellten Vektor mit 30 Elementen vor und belegen Sie diesen wie im Bild 1 gezeigt. Die Zuordnung von Gasnummern zu den Gasen finden Sie in Abschnitt 1 Tabelle 1 dieser Dokumentation.

$$vek_zu := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.12 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.09 \\ 0 \\ 0.21 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.39 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.14 \\ 0 \\ 0 \\ 0.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

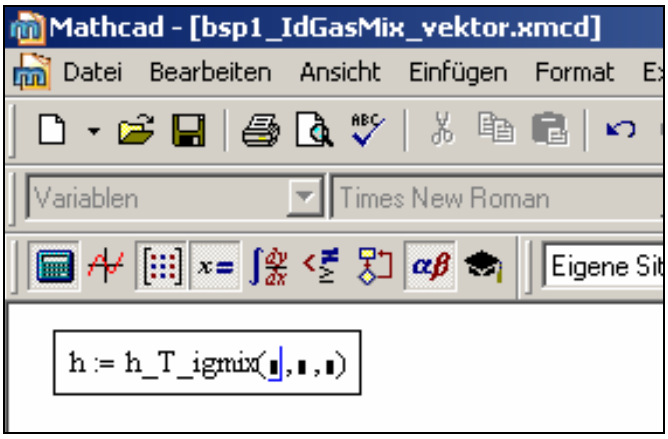
- Schreiben von "h:" in das Arbeitsfenster. Es erscheint **h :** = ■ .
- Anklicken von "Einfügen" in der oberen Menüleiste und darin "Funktion...". Das folgende Dialogfenster erscheint:



- Mit Hilfe des Scroll-Balkens unter Funktionskategorie die Bibliothek "LibIdGasMix_Stud" auswählen und anklicken. Danach unter Funktionsname die Funktion "h_T_igmix" 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_T_igmix (■, ■, ■)** im Arbeitsfenster von Mathcad (vgl. folgendes Bild).



- Der Cursor steht beim ersten Operanden.
- Mit dem Cursor zum ersten Operanden gehen.
- Für den ersten Operanden: Eintragen des Wertes für *T* in K - mit Punkt als Dezimaltrennzeichen
  (Zustandsbereich: T = 200 K ... 3300 K)

  z. B.: Eintragen des Wertes 373.15 für den zweiten Operanden

- Mit dem Cursor zum zweiten Operanden gehen.
- Für den zweiten Operanden Eintragen des Wertes für type in Abhängigkeit davon, ob die Eingabe der Gemischzusammensetzung in Masseanteilen oder in Molanteilen, d.h. Volumenanteilen erfolgen soll

  type = 1 für Eingabe von Masseanteilen $\xi_1 \ldots \xi_{30}$

  type = 0 für Eingabe von Molanteilen, d. h. Volumenanteilen $\psi_1 \ldots \psi_{30}$

  z. B.: Eintragen des Wertes 1 für den dritten Operanden

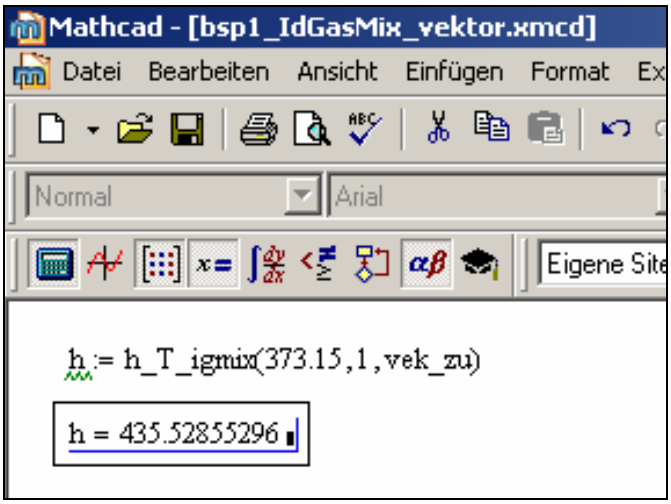
- Mit dem Cursor zum dritten Operanden gehen.
- Für den dritten Operanden Eintragen der Bezeichnung für den vorbereiteten Vektor. Informationen zur Zusammensetzung sind im Abschnitt 1 Tabelle 1 dieser Dokumentation zu finden.

  z. B.: Eintragen der Bezeichnung vek_zu für den vierten Operanden

- 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 = 435.52855296 (die entsprechende Einheit ist kJ/kg).

  Die Darstellung des Ergebnisses ist dabei von den eingestellten Stellenanzahl und der Anzahl der eingestellten Nachkommastelle abhängig.



Hinweise!

Die Gasnummern 26 bis 29 sind gegenwärtig nicht belegt .Bei Belegung dieser Plätze durch Werte größer als 0 (Null) wird als Ergebnis der Wert - xx0999 zurückgegeben (mit xx als Gasnummer).

Zu beachten ist, dass Fluor auf Grund seiner chemischen Eigenschaften nur als Gemischgas mit $\xi_{30} = 1$ bzw. $\psi_{30} = 1$ oder als Einzelgas berechnet werden kann. Bei der Angabe als Gemischgas mit $\xi_{30} < 1$ bzw. $\psi_{30} < 1$ wird 30??? als berechneter Wert zurückgegeben.

Damit ist die Berechnung von $h = f(p,t,\xi_1 \ldots \xi_{30})$ ausgeführt. Jetzt können die Werte für T, type und $\xi_1 \ldots \xi_{30}$ in den zugehörigen Zellen verändert werden, wobei die Summe der Masseanteile $\xi_1 \ldots \xi_{30}$ immer 1 betragen muss. Die spezifische Enthalpie des Gasgemisches wird bei jeder Änderung neu berechnet und aktualisiert, das heißt, der Datenfluss von Mathcad bleibt erhalten, obwohl die Berechnung innerhalb der DLL LibIdGasMix_Stud erfolgt.

Wichtiger Hinweis!

LibIdGasMix prüft intern, ob die sich aus der Zusammensetzung und dem Gesamtdruck ergebenden Partialdrücke der Gemischgase kleiner als die Sättigungsdampfdrücke bei gegebener Temperatur sind.
Ist dies nicht der Fall, wird als Ergebnis der Wert "-xx999" zurückgegeben, wobei xx der Gas-Nummer entspricht, z.B.: -8999 für Wasserdampf.

2.3 Beispiel: Berechnung des Molanteils $\psi_i = f(i, \xi_1 \ldots \xi_{30})$ des Gases *i* im Gasgemisch

In Anschluss an das Beispiel des Abschnitts 2.2 soll der Molanteil von Ethylen (C_2H_4) berechnet werden.

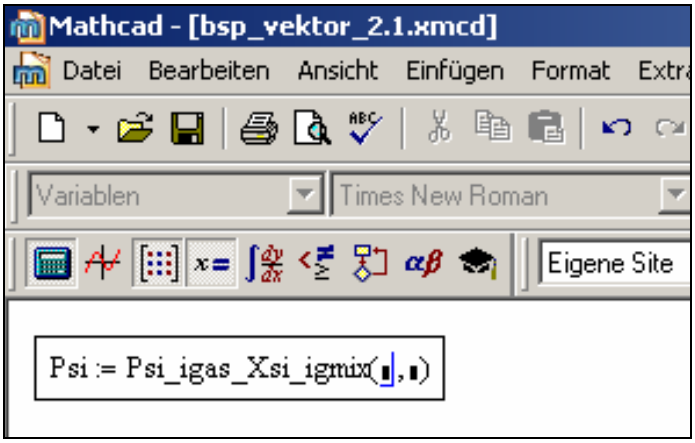
Die Werte für die Masseanteile $\xi_1 \ldots \xi_{30}$ befinden sich bereits im Vektor vek_zu.

Folgende Anweisungen sind abzuarbeiten:

- Schreiben von **Psi:=**. Hier wird der zu berechnende Molanteil in kmol/kmol des gewünschten Gemischgases zugewiesen.
- Anklicken von "Einfügen" in der oberen Menüleiste und darin "Funktion...".

  Es erscheint das Dialogfenster "Funktion einfügen":
- Mit Hilfe des Scroll-Balkens unter Funktionskategorie die Bibliothek "LibIdGasMix_Stud" auswählen und anklicken. Danach unter Funktionsname die Funktion "Psi_igas_Xsi_igmix" 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 **Psi: = Psi_igas_Xsi_igmix (■, ■)** im Arbeitsfenster von Mathcad (vgl. folgendes Bild).

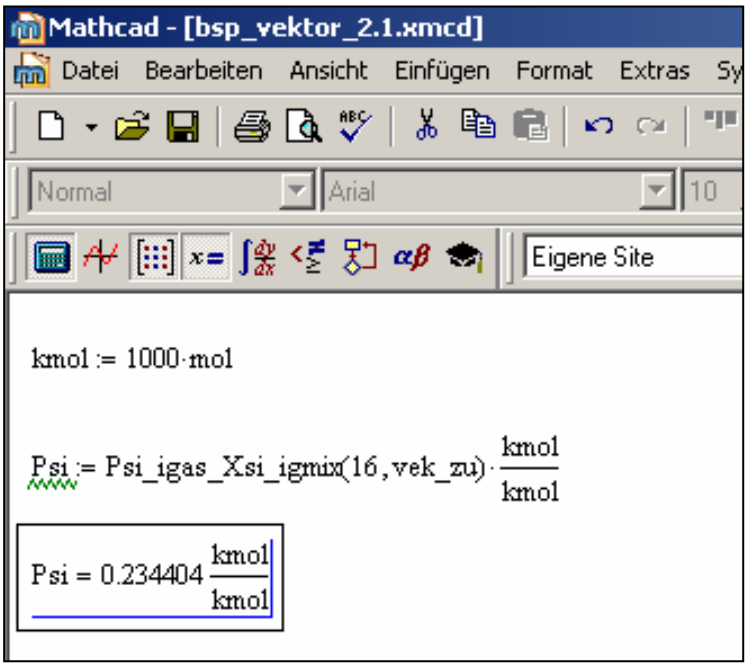


- Der Cursor befindet sich am rechten Rand des 1. Platzhalters.
- Hier tragen Sie nun entweder eine Variable, die mit der Gasnummer bereits belegt wurde, oder direkt die Gasnummer ein.

  ⇒ z. B.: Eintragen der Gasnummer 16 für Ethylen
- Mit dem Cursor in das Fenster rechts neben der Gasnummer gehen
  - Dort nun die Bezeichnung für den Vektor mit den Masseanteilen ξ_1 (Argon) bis ξ_{30} (Flour) eingeben.

  ⇒ z. B.: Eintragen von vek_zu als Bezeichnung für den Gasvektor
- Bestätigung der Eingabe mit Taste "ENTER".

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



⇒ Es erscheint der Wert 0.234404 für ψ_{16} von Ethylen in kmol/kmol.

Die Darstellung des Ergebnisses ist dabei von den eingestellten Stellenanzahl und der Anzahl der eingestellten Nachkommastelle abhängig.

Für die Gase, deren Masseanteile gleich Null sind, ergeben sich auch ihre Molanteile zu Null. Für die nicht belegten Gase 26 bis 29 erscheint als Ergebnis –xx999, wobei xx die Nummer des Gases gemäß Tabelle 1 darstellt.

Da Fluor auf Grund seiner chemischen Eigenschaften als Gemischgas nicht berechnet werden kann, erscheint -30999 als Ergebnis.

2.4 Beispiel: Berechnung der Enthalpie *h* = f(*T*, igas) des Gases igas

Berechnet werden soll die spezifische Enthalpie *h* von n-Butan bei einer Temperatur von T = 373,15 K.

Gemäß Tabelle 1 im Abschnitt 1.1 stellt n-Butan in der Programmbibliothek LibIdGasMix die Gas-Nr. igas = 20 dar.

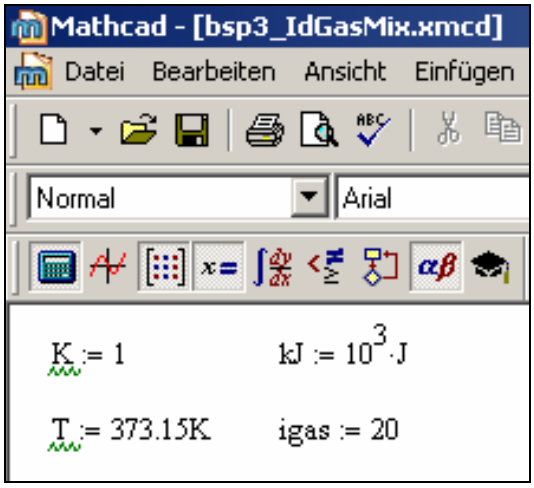
Folgende Anweisungen sind abzuarbeiten:

- Starten von Mathcad (falls noch nicht geschehen).
- Bereiten Sie ein Mathcad-Blatt wie folgt vor:
- Schreiben Sie **T:=** und weisen Sie *T* in K einen Wert zu.
  (Zustandsbereich: T = 200 K ... 3300 K)

  ⇒ z. B.: Zuweisen des Wertes 373.15 für T in K
- Schreiben Sie **igas:=** und weisen der Gasnummer igas einen Wert zu.
  (Gasnummer igas: von 1 bis 30)

  ⇒ z. B.: Zuweisen des Wertes 20 für igas

Das Mathcad-Blatt sollte jetzt dem folgenden Bild entsprechen:



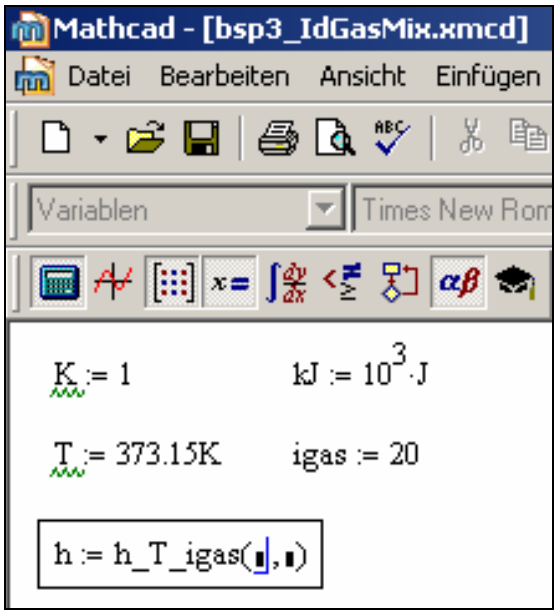
Hinweis!

Die Gase 26 bis 29 sind zurzeit nicht vorhanden. Bei Eingabe einer dieser Nummern wird der Wert "-xx0999" als Ergebnis zurückgegeben, wobei xx der fehlerhaften Gasnummer entspricht.

- Schreiben von "h:" in das Arbeitsfenster. Es erscheint **h :** = ■ .
- Anklicken von "Einfügen" in der oberen Menüleiste und darin "Funktion...".
- Es erscheint das Dialogfenster "Funktion einfügen".
- Mit Hilfe des Scroll-Balkens unter Funktionskategorie die Bibliothek "LibIdGasMix_Stud" auswählen und anklicken. Danach unter Funktionsname die Funktion "h_T_igas" 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_T_igas (■, ■)** im Arbeitsfenster von Mathcad (vgl. folgendes Bild).



- Der Cursor befindet sich am rechten Rand des 1. Platzhalters.
- Dort nun die Temperatur T/K eintragen. Damit wird die Temperatur *T* durch die Einheit K dividiert und der Zahlenwert direkt an die Stoffwertfunktion übergeben. Alternativ könnte auch direkt ein Temperaturwert eingegeben werden

  ⇒ z. B.: Eintragen von T/K

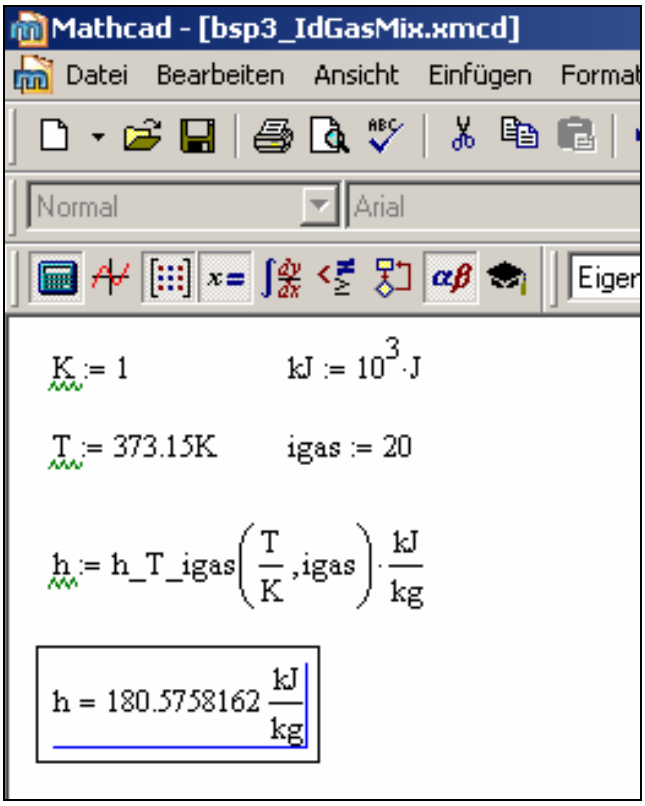
- Mit dem Cursor in das Fenster rechts neben die Temperatur gehen.
- Die Variable igas wurde bereits mit der Gasnummer belegt und soll im Folgenden verwendet werden. Alternativ könnte auch direkt eine Gasnummer eingegeben werden.

  ⇒ z. B.: Eintragen von igas

- Bestätigung der Eingabe mit der Taste "ENTER".

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

⇒ Es erscheint der Wert 180.5758162 für *h* in kJ/kg.



Damit ist die Berechnung der spezifischen Enthalpie von n-Butan ausgeführt. Jetzt können die Werte für Druck, Temperatur oder die Gasnummer verändert werden. Die spezifische Enthalpie des Einzelgases wird bei jeder Änderung neu berechnet und aktualisiert, das heißt, der Datenfluss von Mathcad bleibt erhalten.

Im Beispiel wurden zusätzlich noch die in Mathcad nicht vorhandenen Einheiten K und kJ definiert. Des Weiteren wurde die Einheit zu dem Ergebnis dazumultipliziert.

Wichtiger Hinweis!

LibIdGasMix prüft intern, ob der gegebene Druck größer als der Sättigungsdampfdruck bei der gegebenen Temperatur ist. Ist dies nicht der Fall, wird als Ergebnis der Wert "-xx999" zurück- gegeben, wobei xx der Gas-Nummer entspricht, z.B.: -8999 für Wasserdampf.

2.5 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 LibIdGasMix_Stud" 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 für Gasgemische, IGMIX- Funktionen

Spezif. isob. Wärmekapazität c_p=f(T, ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})

Name in FluidMAT**:** **cp_T_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION CP_T_IGMIX(T,ART, ZU)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 T, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_CP_T_IGMIX(CP,T,ART, ZU)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 CP, T, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Eingabewerte:

T - Temperatur T in K

ART - Art der Zusammensetzung :
ART=1 für Zusammensetzung in Masseanteilen ξ
ART=0 für Zusammensetzung in Molanteilen ψ

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteilen ξ_1...ξ_{30} in kg/kg bei ART=1
- Zusammensetzung in Molanteilen ψ_1... ψ_{30} in kmol/kmol bei ART=0
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

cp_T_igmix - Spezifische isobare Wärmekapazität in kJ/(kg K)

Gültigkeitsbereich:

Temperatur T : von 200 K bis 3300 K
Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K
Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs und/oder Summe der eingegebenen Werte ξ_1...ξ_{30} bzw. ψ_1... ψ_{30} $\neq$ 1
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Spezifische Enthalpie $h = f(T, \xi_1 ... \xi_{30}$ oder $\psi_1 ... \psi_{30})$

Name in FluidMAT: **h_T_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert:
für Aufruf aus Fortran

```
REAL*8 FUNCTION H_T_IGMIX(T,ART, ZU)
REAL*8  T, ZU(0:30)
INTEGER*4  ART
```

Unterprogramm mit Parameter:
für Aufruf aus DLL:

```
INTEGER*4 FUNCTION C_H_T_IGMIX(H,T,ART, ZU)
REAL*8  H, T, ZU(0:30)
INTEGER*4  ART
```

Eingabewerte:

T - Temperatur T in K

ART - Art der Zusammensetzung :
ART=1 für Zusammensetzung in Masseanteilen ξ
ART=0 für Zusammensetzung in Molanteilen ψ

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteilen $\xi_1 ... \xi_{30}$ in kg/kg bei ART=1
- Zusammensetzung in Molanteilen $\psi_1 ... \psi_{30}$ in kmol/kmol bei ART=0
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

h_T_igmix - spezifische Enthalpie in kJ/kg

Gültigkeitsbereich:

Temperatur T : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K
Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs und/oder Summe der eingegebenen Werte $\xi_1 ... \xi_{30}$ bzw. $\psi_1 ... \psi_{30} \neq 1$
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Isentropenexponent κ = f(T, ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})

Name in FluidMAT: **Kappa_T_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION KAPPA_T_IGMIX(T,ART, ZU)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 T, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_KAPPA_T_IGMIX(KAPPA,T,ART, ZU)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 KAPPA, T, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Eingabewerte:

T - Temperatur T in K

ART - Art der Zusammensetzung :
ART=1 für Zusammensetzung in Masseanteilen ξ
ART=0 für Zusammensetzung in Molanteilen ψ

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteilen ξ_1...ξ_{30} in kg/kg bei ART=1
- Zusammensetzung in Molanteilen ψ_1... ψ_{30} in kmol/kmol bei ART=0
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

kappa_T_igmix - Isentropenexponent

Gültigkeitsbereich:

Temperatur T : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K
Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Kappa $\kappa = \dfrac{c_p}{c_p - R}$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs und/oder Summe der eingegebenen Werte ξ_1...ξ_{30} bzw. ψ_1... ψ_{30} $\neq$ 1
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Wärmeleitfähigkeit λ = f(T,ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})

Name in FluidMAT und FluidMAT**:** **lambda_T_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION LAMBDA_T_IGMIX(T,TYPE, COMP)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 T, COMP(0:30)
INTEGER*4 TYPE

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_LAMBDA_T_IGMIX(LAMBDA,T, TYPE, COMP)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 LAMBDA, T, COMP(0:30)
INTEGER*4 TYPE

Eingabewerte:

T - Temperatur T in °C

TYPE - Art der Zusammensetzung :
TYPE=1 für Zusammensetzung in Masseanteile ξ
TYPE=0 für Zusammensetzung in Molanteile ψ

COMP(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteile ξ_1...ξ_{30} in kg/kg bei TYPE=1
- Zusammensetzung in Molanteile ψ_1... ψ_{30} in kmol/kmol bei TYPE=0
COMP(0) - Dummy
COMP(1)...COMP(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

lambda_T_igmix - Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m K)

Gültigkeitsbereich:

Temperatur T : von - 73,15 °C bis 3026,85 °C
Ausnahmen: Propylen von -73,15°C bis 1500°C
Fluor von -73,15°C bis 976,8°C

Erläuterungen:

Berechnung nach *Brandt* [15] und *VB* [33] - Modell der idealen Mischung

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereich und/oder Summe der eingegebenen Werte ξ_1...ξ_{30} bzw. ψ_1... ψ_{30} $\neq$ 1
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Molare Masse M = f(ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})

Name in FluidMAT und FluidMAT**:** **M_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION M_IGMIX(TYPE, COMP)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 COMP(0:30)
INTEGER*4 TYPE

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_M_IGMIX(M,TYPE, COMP)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 M, COMP(0:30)
INTEGER*4 TYPE

Eingabewerte:

TYPE - Art der Zusammensetzung :
TYPE=1 für Zusammensetzung in Masseanteile ξ
TYPE=0 für Zusammensetzung in Molanteile ψ

COMP(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteile ξ_1...ξ_{30} in kg/kg bei TYPE=1
- Zusammensetzung in Molanteile ψ_1... ψ_{30} in kmol/kmol bei TYPE=0
COMP(0) - Dummy
COMP(1)...COMP(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

M_igmix - Molare Masse M in kg/kmol

Erläuterungen:

Berechnung nach *Blanke*

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereich und/oder Summe der eingegebenen Werte ξ_1...ξ_{30} bzw. ψ_1... ψ_{30} $\neq$ 1
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Kinematische Viskosität $\eta = f(T, \xi_1 ... \xi_{30}$ oder $\psi_1 ... \psi_{30})$

Name in FluidMAT**:** **Eta_T_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert:
für Aufruf aus Fortran

```
REAL*8 FUNCTION ETA_T_IGMIX(T,ART, ZU)
REAL*8  T, ZU(0:30)
INTEGER*4  ART
```

Unterprogramm mit Parameter:
für Aufruf aus DLL:

```
INTEGER*4 FUNCTION C_ETA_T_IGMIX(NY,T,ART, ZU)
REAL*8  ETA, T, ZU(0:30)
INTEGER*4  ART
```

Eingabewerte:

T - Temperatur T in K

ART - Art der Zusammensetzung :
ART=1 für Zusammensetzung in Masseanteilen ξ
ART=0 für Zusammensetzung in Molanteilen ψ

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteilen $\xi_1 ... \xi_{30}$ in kg/kg bei ART=1
- Zusammensetzung in Molanteilen $\psi_1 ... \psi_{30}$ in kmol/kmol bei ART=0
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

Eta_T_igmix - kinematische Viskosität in m^2/s

Gültigkeitsbereich:

Temperatur T : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K
Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Kinematische Viskosität

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs und/oder Summe der eingegebenen Werte $\xi_1 ... \xi_{30}$ bzw. $\psi_1 ... \psi_{30} \neq 1$
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Molanteil $\psi_i = f(i, \xi_1 ... \xi_{30})$

Name in FluidMAT**:**	**Psi_igas_Xsi_igmix**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION PSI_IGAS_XSI_IGMIX(IGAS, ZU)** REAL*8 ZU(0:30) INTEGER*4 IGAS
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL:	**INTEGER*4 FUNCTION C_PSI_PT_IGMIX(PSI,IGAS, ZU)** REAL*8 PSI, ZU(0:30) INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

IGAS - Gasnummer

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteilen $\xi_1 ... \xi_{30}$ in kg/kg

ZU(0) - Dummy

ZU(1)...ZU(30) Masseanteile der Gemischgase

(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

Psi_igas_Xsi_igmix - Molanteil in kmol/kmol

Gültigkeitsbereich:

Gasnummer IGAS : von 1 bis 30, wobei Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Erläuterungen:

Molanteil: $$\psi_i = \frac{R_i}{\sum(\xi_i \cdot R_i)} \cdot \xi_i$$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Summe der eingegebenen Werte $\xi_1 ... \xi_{30} \neq 1$ Gasnummer außerhalb des Gültigkeitsbereiches
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Spezifische Gaskonstante $R = f(\xi_1 ... \xi_{30}$ oder $\psi_1 ... \psi_{30})$

Name in FluidMAT**:** **R_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION R_IGMIX(ART, ZU)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_R_IGMIX(R,ART, ZU)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 R, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Eingabewerte:

ART - Art der Zusammensetzung :
ART=1 für Zusammensetzung in Masseanteilen ξ
ART=0 für Zusammensetzung in Molanteilen ψ

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteilen $\xi_1 ... \xi_{30}$ in kg/kg bei ART=1
- Zusammensetzung in Molanteilen $\psi_1 ... \psi_{30}$ in kmol/kmol bei ART=0
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

R_igmix - Spezifische Gaskonstante in kJ/(kg K)

Erläuterungen:

Spezifische Gaskonstante: $R = \sum_i (\xi_i \cdot R_i)$ bzw. $R = \dfrac{1}{\sum_i (\frac{\psi_i}{R_i})}$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs und/oder Summe der eingegebenen Werte $\xi_1 ... \xi_{30}$ bzw. $\psi_1 ... \psi_{30} \neq 1$
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Spezifische Entropie $s = f(p, T, \xi_1 ... \xi_{30}$ oder $\psi_1 ... \psi_{30})$

Name in FluidMAT: **s_pT_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert:
für Aufruf aus Fortran

```
REAL*8 FUNCTION S_PT_IGMIX(P,T,ART, ZU)
REAL*8  P, T, ZU(0:30)
INTEGER*4  ART
```

Unterprogramm mit Parameter:
für Aufruf aus DLL:

```
INTEGER*4 FUNCTION C_S_PT_IGMIX(S,P,T,ART, ZU)
REAL*8  S, P, T, ZU(0:30)
INTEGER*4  ART
```

Eingabewerte:

P - Gesamtdruck p in MPa

T - Temperatur T in K

ART - Art der Zusammensetzung :
ART=1 für Zusammensetzung in Masseanteiles ξ
ART=0 für Zusammensetzung in Molanteiles ψ

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteiles $\xi_1 ... \xi_{30}$ in kg/kg bei ART=1
- Zusammensetzung in Molanteiles $\psi_1 ... \psi_{30}$ in kmol/kmol bei ART=0
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

s_pT_igmix - Spezifische Entropie in kJ/(kg K)

Gültigkeitsbereich:

Gesamtdruck p : von 1 Pa bis 5 MPa

Temperatur T : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K
Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs und/oder Summe der eingegebenen Werte $\xi_1 ... \xi_{30}$ bzw. $\psi_1 ... \psi_{30} \neq 1$
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Umkehrfunktion: T = f(h, ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})

Name in FluidMAT**:** **T_h_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert:
für Aufruf aus Fortran

REAL*8 FUNCTION T_H_IGMIX(H,ART, ZU)
REAL*8 T, H, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Unterprogramm mit Parameter:
für Aufruf aus DLL:

INTEGER*4 FUNCTION C_T_H_IGMIX(T,H,ART, ZU)
REAL*8 T, H, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Eingabewerte:

H - Enthalpie h in kJ/kg

T - Temperatur T in K

ART - Art der Zusammensetzung :
ART=1 für Zusammensetzung in Masseanteilen ξ
ART=0 für Zusammensetzung in Molanteilen ψ

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteilen ξ_1...ξ_{30} in kg/kg bei ART=1
- Zusammensetzung in Molanteilen ψ_1... ψ_{30} in kmol/kmol bei ART=0
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

T_h_igmix - Temperatur in °C

Gültigkeitsbereich:

Temperatur T : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K
Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Iteration von T aus h = f (T, zu(0:30))

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs und/oder Summe der eingegebenen Werte ξ_1...ξ_{30} bzw. ψ_1... ψ_{30} $\neq$ 1
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Umkehrfunktion: T = f(p, s, ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})

Name in FluidMAT**:** **T_ps_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION T_PS_IGMIX(P,S,ART, ZU)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 P, T, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_T_PS_IGMIX(T,P,S,ART, ZU)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 T, P, S, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Eingabewerte:

S - Entropie s in kJ/(kg K)

T - Temperatur T in K

ART - Art der Zusammensetzung :
ART=1 für Zusammensetzung in Masseanteilen ξ
ART=0 für Zusammensetzung in Molanteilen ψ

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteilen ξ_1...ξ_{30} in kg/kg bei ART=1
- Zusammensetzung in Molanteilen ψ_1... ψ_{30} in kmol/kmol bei ART=0
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

T_ps_igmix - Temperatur in K

Gültigkeitsbereich:

Gesamtdruck p : von 1 Pa bis 5 MPa

Temperatur T : von 200 K bis 3300 K
Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K
Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Iteration von T aus h = f (p, T, zu(0:30))

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs und/oder Summe der eingegebenen Werte ξ_1...ξ_{30} bzw. ψ_1... ψ_{30} $\neq$ 1
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Spezifisches Volumen v = f(p, T, ξ_1...ξ_{30} oder ψ_1...ψ_{30})

Name in FluidMAT**:** **v_pT_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION V_PT_IGMIX(P,T,ART, ZU)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 P, T, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_V_PT_IGMIX(V,P,T,ART, ZU)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 V, P, T, ZU(0:30)
INTEGER*4 ART

Eingabewerte:

P - Gesamtdruck p in MPa

T - Temperatur T in K

ART - Art der Zusammensetzung :
ART=1 für Zusammensetzung in Masseanteilen ξ
ART=0 für Zusammensetzung in Molanteilen ψ

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Masseanteile ξ_1...ξ_{30} in kg/kg bei ART=1
- Zusammensetzung in Molanteile ψ_1... ψ_{30} in kmol/kmol bei ART=0
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Masse- bzw. Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.2)

Rückgabewert:

v_pT_igmix - Spezifisches Volumen in m^3/kg

Gültigkeitsbereich:

Gesamtdruck p : von 1 Pa bis 5 MPa

Temperatur T : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K
Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Spezif. Volumen v aus: $v = \frac{R_m \cdot T}{p}$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs und/oder Summe der eingegebenen Werte ξ_1...ξ_{30} bzw. ψ_1... ψ_{30} $\neq$ 1
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

Masseanteil $\xi_i = f(i, \psi_1 ... \psi_{30})$

Name in FluidMAT**:** **Xsi_igas_Psi_igmix**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION XSI_IGAS_PSI_IGMIX(IGAS, ZU)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 ZU(0:30)
INTEGER*4 IGAS

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_XSI_IGAS_PSI_IGMIX(XSI,IGAS, ZU)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 XSI, ZU(0:30)
INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

IGAS - Gasnummer

ZU(0:30) - Zusammensetzung in Molanteilen $\psi_1 ... \psi_{30}$ in kmol/kmol
ZU(0) - Dummy
ZU(1)...ZU(30) Molanteile der Gemischgase
(vgl. Tab.1 und 2 , als Vektor gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

Xsi_igas_Psi_igmix - Masseanteil in kg/kg

Gültigkeitsbereich:

Gasnummer IGAS : von 1 bis 30, wobei Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Summe der eingegebenen Werte $\psi_1 ... \psi_{30} \neq 1$ Gasnummer außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt
-30777	Fluor (F2) als Gemischgas

4. Programmdokumentation für Gase einzeln, IGAS- Funktionen

Spezif. isob. Wärmekapazität c_p = f(T, igas)

Name in FluidMAT**:** **cp_T_igas**

Unterprogramm mit Funktionswert:
für Aufruf aus Fortran

```
REAL*8 FUNCTION CP_T_IGAS(T,IGAS)
REAL*8  T
INTEGER*4 IGAS
```

Unterprogramm mit Parameter:
für Aufruf aus DLL:

```
INTEGER*4 FUNCTION C_CP_T_IGAS(CP,T,IGAS)
REAL*8  CP, T
INTEGER*4  IGAS
```

Eingabewerte:

T - Temperatur *T* in K

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

cp_T_igas - spezifische isobare Wärmekapazität in kJ/(kg K)

Gültigkeitsbereich:

Temperatur *T* : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K

Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Spezifische Enthalpie *h* = f(*T*, igas)

Name in FluidMAT**:** **h_T_igas**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION H_T_IGAS(T,IGAS)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 H, T
INTEGER*4 IGAS

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_H_T_IGAS(H,T,IGAS)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 H, T
INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

T - Temperatur *T* in K

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

h_T_igas - spezifische Enthalpie in kJ/kg

Gültigkeitsbereich:

Temperatur *T* : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K

Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Isentropenexponent κ = f(T, igas)

Name in FluidMAT**:**	**Kappa_T_igas**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION KAPPA_T_IGAS(T,IGAS)** REAL*8 T INTEGER*4 IGAS
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL:	**INTEGER*4 FUNCTION C_KAPPA_T_IGAS(KAPPA,T,IGAS)** REAL*8 KAPPA, T INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

T - Temperatur T in K

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

kappa_T_igas - Isentropenexponent

Gültigkeitsbereich:

Temperatur T :	von 200 K bis 3300 K		
	Ausnahmen:	Propylen	von 200 K bis 1773,15 K
		Fluor	von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Kappa $\kappa = \dfrac{c_p}{c_p - R}$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Wärmeleitfähigkeit λ = f(*T*,igas)

Name in FluidEXL und FluidMAT**:** **lambda_T_igas**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION LAMBDA_T_IGAS(T,IGAS)**
für Aufruf aus Fortran REAL*8 T
INTEGER*4 IGAS

Unterprogramm mit Parameter:
INTEGER*4 FUNCTION C_LAMBDA_T_IGAS(LAMBDA,T,IGAS)
für Aufruf aus DLL: REAL*8 LAMBDA, T
INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

T - Temperatur *T* in °C

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

lambda_T_igas - Wärmeleitfähigkeit in W/(m K)

Gültigkeitsbereich:

Temperatur *T* : von - 73,15 °C bis 3026,85 °C

Ausnahmen: Propylen von -73,15°C bis 1500°C

Fluor von -73,15°C bis 976,8°C

Erläuterungen:

Berechnung nach *Brandt* [15] und *VB* [33] - Modell der idealen Mischung

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereiches
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Molare Masse *M* = f(igas)

Name in FluidMAT**:** **M_igas**

Unterprogramm mit Funktionswert: **REAL*8 FUNCTION M_IGAS(IGAS)**
für Aufruf aus Fortran INTEGER*4 IGAS

Unterprogramm mit Parameter: **INTEGER*4 FUNCTION C_M_IGAS(M,IGAS)**
für Aufruf aus DLL: REAL*8 M
INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

M_igas - molare Masse in kg/kmol

Erläuterungen:

Molare Masse

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Kinematische Viskosität η = f(T, igas)

Name in FluidMAT**:** **Eta_T_igas**

Unterprogramm mit Funktionswert:
für Aufruf aus Fortran

REAL*8 FUNCTION ETA_T_IGAS(T,IGAS)
REAL*8 T
INTEGER*4 IGAS

Unterprogramm mit Parameter:
für Aufruf aus DLL:

INTEGER*4 FUNCTION C_ETA_T_IGAS(ETA,T,IGAS)
REAL*8 ETA, T
INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

T - Temperatur *T* in K

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

Eta_T_igas - kinematische Viskosität in m^2/s

Gültigkeitsbereich:

Temperatur *T* : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K

Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Kinematische Viskosität

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Spezifische Gaskonstante *R* = f(igas)

Name in FluidMAT**:**	**R_igas**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION R_IGAS(IGAS)** INTEGER*4 IGAS
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL:	**INTEGER*4 FUNCTION C_R_IGAS(R,IGAS)** REAL*8 R INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

R_igas - spezifische Gaskonstante in kJ/(kg K)

Erläuterungen:

Spezifische Gaskonstante: $R = \sum_i (\xi_i \cdot R_i)$ bzw. $R = \dfrac{1}{\sum_i (\frac{\psi_i}{R_i})}$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Spezifische Entropie *s* = f(*p*, *T*, igas)

Name in FluidMAT**:**	**s_pT_igas**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION S_PT_IGAS(P,T,IGAS)** REAL*8 P,T INTEGER*4 IGAS
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL:	**INTEGER*4 FUNCTION C_S_PT_IGAS(S,P,T,IGAS)** REAL*8 S, P,T INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

P - Gesamtdruck *p* in MPa

T - Temperatur *T* in K

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

s_pT_igas - spezifische Entropie in kJ/(kg K)

Gültigkeitsbereich:

Gesamtdruck *p* :	von 1 Pa bis 5 MPa		
Temperatur *T* :	von 200 K bis 3300 K		
	Ausnahmen:	Propylen	von 200 K bis 1773,15 K
		Fluor	von 200 K bis 1249,95 K

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Umkehrfunktion: *T* = f(*h*, igas)

Name in FluidMAT**:**	**T_h_igas**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION T_H_IGAS(H,IGAS)** REAL*8 H INTEGER*4 IGAS
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL:	**INTEGER*4 FUNCTION C_T_H_IGAS(T,H,IGAS)** REAL*8 T, H INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

T - Temperatur *T* in K

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

T_h_igas - Temperatur in K

Gültigkeitsbereich:

Temperatur *T* :	von 200 K bis 3300 K		
	Ausnahmen:	Propylen	von 200 K bis 1773,15 K
		Fluor	von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Iteration von *t* aus *h* = f (*P*,*T*)

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-7777	Ausgabewert außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Umkehrfunktion: *T* = f(*p*, *s*, igas)

Name in FluidMAT**:**	**T_ps_igas**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION T_PS_IGAS(P,S,IGAS)** REAL*8 P,S INTEGER*4 IGAS
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL:	**INTEGER*4 FUNCTION C_T_PS_IGAS(T,P,S,IGAS)** REAL*8 T, P, S INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

P - Gesamtdruck *p* in MPa

T - Temperatur *T* in K

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

T_ps_igas - Temperatur in K

Gültigkeitsbereich:

Gesamtdruck *p* :	von 1 Pa bis 5 MPa		
Temperatur *T* :	von 200 K bis 3300 K		
	Ausnahmen:	Propylen	von 200 K bis 1773,15 K
		Fluor	von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Iteration von *T* aus *h* = f (*P*,*T*)

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-7777	Ausgabewert außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

Spezifisches Volumen *v* = f(*p*, *T*, igas)

Name in FluidMAT**:**	**v_pT_igas**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION V_PT_IGAS(P,T,IGAS)** REAL*8 P,T INTEGER*4 IGAS
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL:	**INTEGER*4 FUNCTION C_V_PT_IGAS(V,P,T,IGAS)** REAL*8 V, P,T INTEGER*4 IGAS

Eingabewerte:

P - Gesamtdruck *p* in MPa

T - Temperatur *T* in K

IGAS - Gasnummer (vgl. Tab.1 und 2 , Eingabe gemäß Abschn.2.3)

Rückgabewert:

v_pt_igas - spezifisches Volumen in m^3/kg

Gültigkeitsbereich:

Gesamtdruck *p* : von 1 Pa bis 5 MPa

Temperatur *T* : von 200 K bis 3300 K

Ausnahmen: Propylen von 200 K bis 1773,15 K

Fluor von 200 K bis 1249,95 K

Erläuterungen:

Spezif. Volumen v aus: $v = \frac{R_m \cdot T}{p}$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlernummer	Bedeutung
-9999	Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereichs
-xx999	xx…Gasnummer; Gas nicht im gasförmigen Zustand
-xx0999	xx…Gasnummer; Gas; Gasnummern 26 bis 29 nicht belegt

5. Literaturverzeichnis

[1] Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam IAPWS-IF97.
IAPWS Secretariat, Dooley, B, EPRI, Palo Alto CA (1997)

[2] 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) No. 1, pp. 150-182

[3] Wagner, W.; Kruse, A.:
Properties of Water and Steam.
Springer-Verlag, Berlin (1998)

[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*-Diagram.
Springer-Verlag, Berlin (1998)

[6] Revised Release on the IAPS Formulation 1985 for the Thermal Conductivity of Ordinary Water Substance.
IAPWS Secretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1997)

[7] Revised Release on the IAPS Formulation 1985 for the Viscosity of Ordinary Water Substance.
IAPWS Secretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1997)

[8] IAPWS Release on Surface Tension of Ordinary Water Substance 1994.
IAPWS Secretariat, 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.; Stöcker, I.; Knobloch, K.; Trübenbach, J.; Willkommen, Th.: Dittmann, A.; Friend, D.G.;
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 preparation

[11] Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use.
IAPWS Secretariat, 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 (Preparation of Thermophysical Properties for Power Engineering).
Habilitation, TU Dresden, Faculty of Mechanical Engineering (1990)

[14] Baehr, H.D.; Diederichsen, Ch.:
Berechnungsgleichungen für Enthalpie und Entropie der Komponenten von Luft und Verbrennungsgasen (Equations for Enthalpy and Entropy of Components of Air and Combustion Gases)
BWK 40 (1988) Nr. 1/2, S. 30-33

[15] Brandt, F.:
Wärmeübertragung in Dampferzeugern und Wärmetauschern (Heat Transfer in Steam Generators and Heat Exchangers).
FDBR-Fachbuchreihe, Bd. 2, Vulkan Verlag Essen (1985)

[16] Bücker, D.; Span, R.; Wagner, W.:
Thermodynamic Property Models of Moist Air Flue Gases.
J. Phys. Chem. Ref. Data 29 (2002) - submitted

[17] Reid, R. C.; Prausnitz, J. M.; Poling, B. E.:
The Properties of Gases and Liquids.
4th edition, McGraw-Hill Book Company, New York (1987)

[18] Release on Surface Tension of Ordinary Water Substance 1975.
IAPWS Secretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1975)

[19] VDI-Wärmeatlas, 7. Edition
VDI-Verlag, Düsseldorf (1995)

[20] Blanke, W.:
Thermophysikalische Stoffgrößen (Thermophysical Properties).
Springer-Verlag, Berlin (1989)

[21] VDI-Richtlinie 4670
Thermodynamische Stoffwerte von feuchter Luft und Verbrennungsgasen
(VDI 4670 Guideline – Thermodynamic Properties of Humid Air and Combustion Gases).
VDI-Handbuch Energietechnik, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf (2000)

[22] 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.
J. Phys. Chem. Ref. Data 29 (2000) Nr. 2, S. 331-385

[23] Lemmon, E. W.; Jacobsen, R. T:
Transport Properties of Air.
National Institute of Standards and Technology, Boulder CO, (2000)
Private communication.

[24] Revised Supplementary Release on Saturation Properties of Ordinary Water Substance.
IAPWS Secretariat, Dooley, B, EPRI, Alto CA (1992)

[25] Hyland, R. W.; Wexler, A.:
Formulations for the Thermodynamic Properties of Saturated Phases of H_2O from 173.15 K to 473.15 K.
Report No. 2793 (RP-216), National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1983)

[26] de Reuck, K. M.; Craven, R. J. B.:
Methanol. International Thermodynamic Tables of the Fluid State -12.
Blackwell Scientific Publications, London (1993)

[27] Wagner, W.; de Reuck, K. M.:
Methane. International Thermodynamic Tables of the Fluid State - 13.
Blackwell Scientific Publications, London (1996)

[28] de Reuck, K. M.:
Fluorine. International Thermodynamic Tables of the Fluid State - 11.
Blackwell Scientific Publications, London (1990)

[29] Buecker, D.:
Neue Fundamentalgleichungen als Referenz für die thermodynamischen Zustandsgrößen von Ethan, n-Butan und Isobutan.
Fortschr.-Ber. VDI, Reihe 6, Nr. 499, VDI Verlag, Düsseldorf (2003)

[30] Vargaftik, N. B.; Vinogradov, Y. K.; Yagarin, V. S.:
Handbook of Physical Properties of Liquids and Gases, Pure Substances and Revised Edition.
Begell House, New York (1996)

[31] Span, R.:
Multiparameter Equations of State, An Accurate Source of Thermodynamic Property Data.
Springer-Verlag, Berlin (2000)

[32] Angus, S.; Amstrong, B.; de Reuck, K. M.:
Final Report on IUPAC Propylene (Propene) Tables, Part 1: Text,
International Thermodynamic Tables of the Fluid State – 7.
Imperial College London, IUPAC Thermodynamic Tables Project Centre (1978)

[33] Verfahrenstechnische Berechnungsmethoden,
Teil 7: Stoffwerte.
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1981)

[34] Brennstofftechnische Arbeitsmappe.
Bergakademie Freiberg (1988)

[35] Smukala, J.; Span, R.; Wagner, W.:
New Equation for Ethylene Covering the Fluid Region for Temperatures From the Melting Line to 450 K at Pressures up to 300 MPa.
Journal of Physical and Chemical Reference Data, Vol. 29 (2000), No. 5, pp. 1053-1121

[36] Span, R.; Wagner, W.:
A New Equation of State for Carbon Dioxide Covering the Fluid Region from the Triple-Point Temperature to 1100K at Pressures up to 800 MPa
Journal of Physical and Chemical Reference Data, Vol. 25 (1996), No.6, pp. 1509-1596

[37] Younglove, B. A.:
Thermophysical Properties of Fluids. I. Argon, Ethylene, Parahydrogen, Nitrogen, Nitrogen Trifluoride, and Oxygen.
Journal of Physical and Chemical Reference Data, Vol. 11 (1982), Supplement No.1

[38] Baehr, H. D.; Tiller-Roth, R.:
Thermodynamische Eigenschaften umweltverträglicher Kältemittel.
Springer-Verlag, Berlin (1995)

[39] Wagner, W.; Saul, A.; Pruss, A.:
International Equations for the Pressure along the Melting and along the Sublimation Curve of Ordinary Water Substance.
Journal of Physical and Chemical Reference Data. Vol.23 (1994), No. 3, pp. 515-527

[40] Leachman, J.W.; Jacobsen, R.T; Lemmon, E.W.: Fundamental Equations of State for Parahydrogen, Normal Hydrogen, and Orthohydrogen. International Journal of Thermophysics (2008)

[41] McCarty, R. D.; Arp, V. D.:
A new wide range equation of state for Helium.
Advanced Cryogenic Eng. 35 (1990) S. 1465-1475

[42] ASME Standards Technology, LLC:
Thermophysical Properties of Working Gases Used in Gas Turbine Applications.
Report STP-TS-012, Air Properties Committee (2009)