



Fachbereich
MASCHINENWESEN

Fachgebiet
TECHNISCHE THERMODYNAMIK

**Stoffwertberechnung für
Wasser und Wasserdampf
nach IAPWS-IF97
Ideale Gase und Gemische
nach VDI-4670
Feuchte Luft**

**FluidMAT_IF97_IDGAS_
FLUFT_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

Stoffwertberechnung für
Wasser und Wasserdampf nach IAPWS-IF97
Ideale Gase und Gemische nach VDI-4670
Feuchte Luft

FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud
für Mathcad®
Version für Studierende

Inhalt

- 0 Lieferumfang
- 1 Übersicht über Berechnungsprogramme
 - 1.1 Stoffwertfunktionen
 - 1.1.1 Bibliothek LibIF97 für Wasser und Wasserdampf nach der IAPWS-IF97
 - 1.1.2 Bibliothek LibIDGAS für ideale Gase und Gemische nach der VDI-Richtlinie 4670
 - 1.1.3 Bibliothek LibFLUFT_FLC für Feuchte Luft
 - 1.2 Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliotheken
 - 1.2.1 LibIF97 für Wasser und Wasserdampf berechnet nach der IAPWS-IF97
 - 1.2.2 LibIDGAS für ideale Gase und Gemische nach der VDI-Richtlinie 4670
 - 1.2.3 LibFLUFT_FLC für Feuchte Luft
- 2 Nutzung von FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud in Mathcad®
 - 2.1 Installation von FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud
 - 2.2 Beispiel: Berechnung der Enthalpie $h = f(p, T, x)$ für Wasser und Wasserdampf nach der IAPWS-IF97
 - 2.3 Beispiel: Berechnung der Enthalpie $h = f(T, \xi_1 \dots \xi_{10})$ für ein Gasgemisch nach der VDI-Richtlinie 4670
 - 2.4 Beispiel: Berechnung der luftspezifischen Enthalpie $h_l = f(p, T, x_W, x_{lS})$ für Feuchte Luft
 - 2.5 De-Installation von FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud
- 3 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: 03583-61-1847
E-mail: hj.kretschmar@hs-zigr.de
Internet: www.thermodynamik-zittau.de

0 Lieferumfang

CD "FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud - Version für Studierende" mit folgenden Dateien:

- FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud_Setup.exe - Selbstentpackende Installationsdatei
- FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud_Doku.pdf - Programmdokumentation

Programmdokumentation als gedrucktes Exemplar bei Versand

1 Übersicht über Berechnungsprogramme

1.1 Stoffwertfunktionen

1.1.1 Bibliothek LibIF97 für Wasser und Wasserdampf nach der IAPWS-IF97

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidMAT 2000	Aufruf in Deklaration für die DLL LibIF97	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit Funktionswert
$c_p = f(p, T, x)$	cp_pTx_97	_CPPTX97@12(P,T,X)	Spezifische isobare Wärmekapazität	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
$\eta = f(p, T, x)$	eta_pTx_97	_ETAPT97@12(P,T,X)	Dynamische Zähigkeit	$\text{Pa} \cdot \text{s} = \text{kg/m} \cdot \text{s}$
$h = f(p, T, x)$	h_pTx_97	_HPTX97@12(P,T,X)	Spezifische Enthalpie	kJ/kg
$\lambda = f(p, T, x)$	lambda_pTx_97	_LAMPTX97@12(P,T,X)	Wärmeleitfähigkeit	$\text{W/m} \cdot \text{K}$
$p_s = f(T)$	ps_T_97	_PST97@4(T)	Dampfdruck aus Temperatur	MPa
$s = f(p, T, x)$	s_pTx_97	_SPTX97@12(P,T,X)	Spezifische Entropie	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
$T = f(p, h)$	T_ph_97	_TPH97@8(P,H)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Enthalpie	K
$T = f(p, s)$	T_ps_97	_TPS97@8(P,S)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie	K
$T_s = f(p)$	Ts_p_97	_TSP97@4(P)	Siedetemperatur aus Druck	K
$v = f(p, T, x)$	v_pTx_97	_VPTX97@12(P,T,X)	Spezifisches Volumen	m^3/kg
$x = f(p, h)$	x_ph_97	_XPH97@8(P,H)	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Enthalpie	kg/kg
$x = f(p, s)$	x_ps_97	_XPS97@8(P,S)	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Entropie	kg/kg

Maßeinheiten:

T in K

p in MPa

x in (kg Sattedampf)/(kg Nassdampf)

Gültigkeitsbereich der IAPWS-IF97 (vgl. Bild 1 in Abschnitt 1.2.1)

Temperaturbereich: von 273.15 K bis 1073.15 K

Druckbereich: von 0.000611 MPa bis 100 MPa

Hochtemperaturgebiet: bis 2273.15 K bei Drücken bis 10 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung von Nassdampf

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

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzten 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 $p = -1$ oder den gegebenen Wert für p und $T = -1$ 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 zusammen passen, d. h. die Dampfdruckkurve repräsentieren. Ist dies nicht der Fall, wird für die zu berechnende Größe der gewählten Funktion der Wert -1 als Ergebnis zurückgegeben.

Nassdampfgebiet: Temperaturbereich von $T_t = 273.15$ K bis $T_c = 647.096$ K
Druckbereich von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Hinweis !

Erscheint als Ergebnis der Wert -1, deutet dies darauf hin, dass die Eingabewerte einen Zustandspunkt außerhalb des Gültigkeitsbereiches der IAPWS-IF97 repräsentieren.

1.1.2 Bibliothek LibIDGAS für ideale Gase und Gemische nach VDI-Richtlinie 4670

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidMAT 2000	Aufruf in Deklaration für die DLL LibIDGAS	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit Funktionswert	Quelle bzw. Algorithmus
$c_p = f(T, \xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	cp_T_ig	cp_T_ig(T,art,zu1 ... zu10)	Spezifische isobare Wärmekapazität des Gemisches	kJ/kg · K	[1]
$\eta = f(T, \xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	Eta_T_ig	Eta_T_ig(T,art,zu1 ... zu10)	Dynamische Zähigkeit des Gemisches	Pa · s = kg/m · s	[2], [3]
$h = f(T, \xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	h_T_ig	h_T_ig(T,art,zu1 ... zu10)	Spezifische Enthalpie des Gemisches	kJ/kg	[1]
$\kappa = f(T, \xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	Kappa_T_ig	Kappa_T_ig(T,art,zu1 ... zu10)	Isentropenexponent des Gemisches	-	[1]
$\lambda = f(T, \xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	Lambda_T_ig	Lambda_T_ig(T,art,zu1 ... zu10)	Wärmeleitfähigkeit des Gemisches	W/m · K	[2], [3]
$M = f(\xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	M_ig	M_ig(art,zu1 ... zu10)	Molare Masse des Gemisches	kg/kmol	[4]
$\psi_i = f(i, \xi_1 \dots \xi_{10})$	Psi_igas_Xsi_ig	Psi_igas_Xsi_ig(i,zu1 ... zu10)	Molanteil des Gemischgases i aus den Masseanteilen aller Gemischgase	kmol/kmol	Umrechnung mit Mischungsregel
$R = f(\xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	R_ig	R_ig(art,zu1 ... zu10)	Spezifische Gaskonstante des Gemisches	kJ/kg · K	[4]
$s = f(p, T, \xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	s_pT_ig	s_pT_ig(p,T,art,zu1 ... zu10)	Spezifische Entropie des Gemisches	kJ/kg · K	[1]
$T = f(h, \xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	T_h_ig	T_h_ig(h,art,zu1 ... zu10)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Enthalpie des Gemisches	K	[1]
$T = f(p, s, \xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	T_ps_ig	T_ps_ig(p,s,art,zu1 ... zu10)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie des Gemisches	K	[1]
$v = f(p, T, \xi_1 \dots \xi_{10} \text{ oder } \psi_1 \dots \psi_{10})$	v_pT_ig	v_pT_ig(p,T,art,zu1 ... zu10)	Spezifisches Volumen des Gemisches	m³/kg	ideale Gasgleichung
$\xi_i = f(i, \psi_1 \dots \psi_{10})$	Xsi_igas_Psi_ig	Xsi_igas_Psi_ig(i,zu1 ... zu10)	Masseanteil des Gemischgases i aus den Molanteilen aller Gemischgase	kg/kg	Umrechnung mit Mischungsregel

Gemischgase:

Gas-Nr.	Gemischgas	
1	Argon	Ar
2	Neon	Ne
3	Stickstoff	N ₂
4	Sauerstoff	O ₂
5	Kohlenmonoxid	CO
6	Kohlendioxid	CO ₂
7	Wasserdampf	H ₂ O
8	Schwefeldioxid	SO ₂
9	Luft (trocken)	Zusammensetzung in Masseanteilen: 75.520 % N ₂ , 23.142 % O ₂ , 0.049 % CO ₂ , 1.288 % Ar, 0.001 % Ne
10	Luftstickstoff	Zusammensetzung in Masseanteilen: 98.259 % N ₂ , 0.062 % CO ₂ , 1.677 % Ar, 0.002 % Ne

Gültigkeitsbereich der Programme:

Temperaturbereich:	T = 200 K ... 2000 K
Druck:	p = 1 Pa ... 5 MPa
Spezifisches Volumen:	v = 5.1 m ³ /kg ... 2.9 · 10 ⁹ m ³ /kg
Spezifische Enthalpie:	h = -136 kJ/kg ... 4100 kJ/kg
Spezifische Entropie:	s = 2.8 KJ/kg K ... 9.7 KJ/kg K

Hinweis !

Erscheint als berechnetes Ergebnis der Wert -1 oder -1000, deutet dies darauf hin, dass Eingabewerte außerhalb des Gültigkeitsbereiches gewählt wurden oder die Summe der eingegebenen Werte ξ_1, \dots, ξ_{10} bzw. ψ_1, \dots, ψ_{10} nicht den Wert 1 ergibt.

Maßeinheiten:

Formelzeichen	Bezeichnung	Maßeinheit
T	Temperatur	K
p	Gesamtdruck	MPa
$\xi_1 \dots \xi_{10}$	Masseanteile der Gemischgase	kg/kg
$\psi_1 \dots \psi_{10}$	Molanteile bzw. Volumenanteile der Gemischgase	kmol/kmol
art	Eingabeparameter: art = 1 für Eingabe der Zusammensetzung in Masseanteilen ξ_1, \dots, ξ_{10} art = 0 für Eingabe der Zusammensetzung in Molanteilen ψ_1, \dots, ψ_{10}	
zu1 ... zu10 für art =1	Zusammensetzung als Masseanteile $\xi_1 \dots \xi_{10}$	kg/kg
zu1 ... zu10 für art =0	Zusammensetzung als Molanteile $\psi_1 \dots \psi_{10}$	kmol/kmol

Variablentypen für Funktionsaufruf aus DLL LibDGAS:

Alle Funktionen:	Public Declare Function As Double
Variable p, T, v, h, s :	ByRef As Double
Variable zu1 ... zu10 :	ByRef As Double
Variable art, i :	ByRef As Integer

1.1.3 Bibliothek LibFLUFT_FLC für Feuchte Luft

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidMAT 2000	Stoffwert	Maßeinheit Ergebnis
$c_p = f(p, T, x_w, x_{ls})$	cp_pTwxls_FLC	Spezifische isobare Wärmekapazität	kJ/(kg·K)
$\eta = f(p, T, x_w)$	Eta_pTxw_FLC	Dynamische Zähigkeit	Pa·s
$h_l = f(p, T, x_w, x_{ls})$	hl_pTwxls_FLC	Luftmasse-spezifische Enthalpie	kJ/kg
$\lambda = f(p, T, x_w)$	Lambda_pTxw_FLC	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
$p_d = f(p, T, x_w)$	pd_pTxw_FLC	Wasserdampfpartialdruck	MPa
$p_{ds} = f(p, T)$	pds_pT_FLC	Sättigungsdampfdruck von Wasser	MPa
$\varphi = f(p, T, x_w)$	Phi_pTxw_FLC	Relative Feuchte	-
$\psi_w = f(x_w)$	Psiw_xw_FLC	Molanteil – Wasser	kmol/kmol
$s_l = f(p, T, x_w, x_{ls})$	sl_pTwxls_FLC	Luftmasse-spezifische Entropie	kJ/(kg·K)
$T = f(p, h_l, x_w)$	T_phl_xw_FLC	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck, Luftmasse-spezifischer Enthalpie und Wassergehalt	K
$T = f(p, s_l, x_w)$	T_psl_xw_FLC	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck Luftmasse-spezifischer Entropie und Wassergehalt	K
$T_f = f(p, T, x_w)$	Tf_pTxw_FLC	Feuchtkugeltemperatur	K
$T_\tau = f(p, x_w)$	TTau_pxw_FLC	Taupunkttemperatur	K
$v_l = f(p, T, x_w, x_{ls})$	vl_pTwxls_FLC	Luftmasse-spezifisches Volumen	m ³ /kg
$\xi_w = f(x_w)$	Xiw_xw_FLC	Masseanteil – Wasser	kg/kg
$x_w = f(p, T, p_d)$	xw_pTpd_FLC	Wassergehalt aus Wasserdampfpartialdruck	kg/kg
$x_w = f(p, T, \varphi)$	xw_pTPhi_FLC	Wassergehalt aus Druck, Temperatur und relativer Feuchte	kg/kg
$x_w = f(p, T_\tau)$	xw_pTTau_FLC	Wassergehalt aus Druck und Taupunkttemperatur	kg/kg

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidMAT 2000	Stoffwert	Maßeinheit Ergebnis
$x_w = f(p, T, T_f)$	xw_pTTf_FLC	Wassergehalt aus Druck, Temperatur und Feuchtkugeltemperatur	kg/kg
$x_{ws} = f(p, T)$	xws_pT_FLC	Sättigungswassergehalt	kg/kg

Parameter

p - Gesamtdruck in MPa

T - Temperatur in K

x_w - Absolute Luftfeuchtigkeit in kg Wasser(dampf) / kg trockene Luft

φ - Relative Luftfeuchtigkeit (nur bei ungesättigter feuchter Luft definiert)

x_{ls} - Keine Bedeutung - beliebige Eingabe ist möglich außer bei Nebel mit der Temperatur von exakt $T = 273.16$ K (Zwickelgebiet)

dann: Flüssigkeitsanteil in kg Flüssigkeitströpfchen / kg Flüssigkeitströpfchen plus Eiskristalle

$x_{ls} = 1$ bei Flüssigkeitsnebel

$x_{ls} = 0$ bei Eisnebel

$0 < x_{ls} < 1$ bei Gemisch aus Flüssigkeits- und Eisnebel

Gültigkeitsbereich

Temperatur $T = 243.15$ K ... 1073.15 K

Gesamtdruck $p = 0.0006112$ MPa ... 2 MPa

1.2 Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliotheken

1.2.1 LibIF97 für Wasser und Wasserdampf nach der IAPWS-IF97

Die Internationale Organisation für die Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf IAPWS hat im September 1997 die neue Industrie-Formulation IAPWS-IF97 [5,6,7] im weiteren als IF97 bezeichnet, für die thermodynamischen Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf als international verbindlich erklärt. Das heißt, in Abnahme- und Garantierechnungen von Anlagen mit dem Arbeitsfluid Wasser oder Wasserdampf muß dieser neue Standard weltweit verwendet werden. Die IF97 löst die bisher gültige Industrie-Formulation IFC-67 ab.

Bild 1 zeigt den Gültigkeitsbereich des Gleichungssatzes der neuen Industrie-Formulation mit dem vollständigen Namen

"IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam",

abgekürzt

"IAPWS Industrial Formulation 1997".

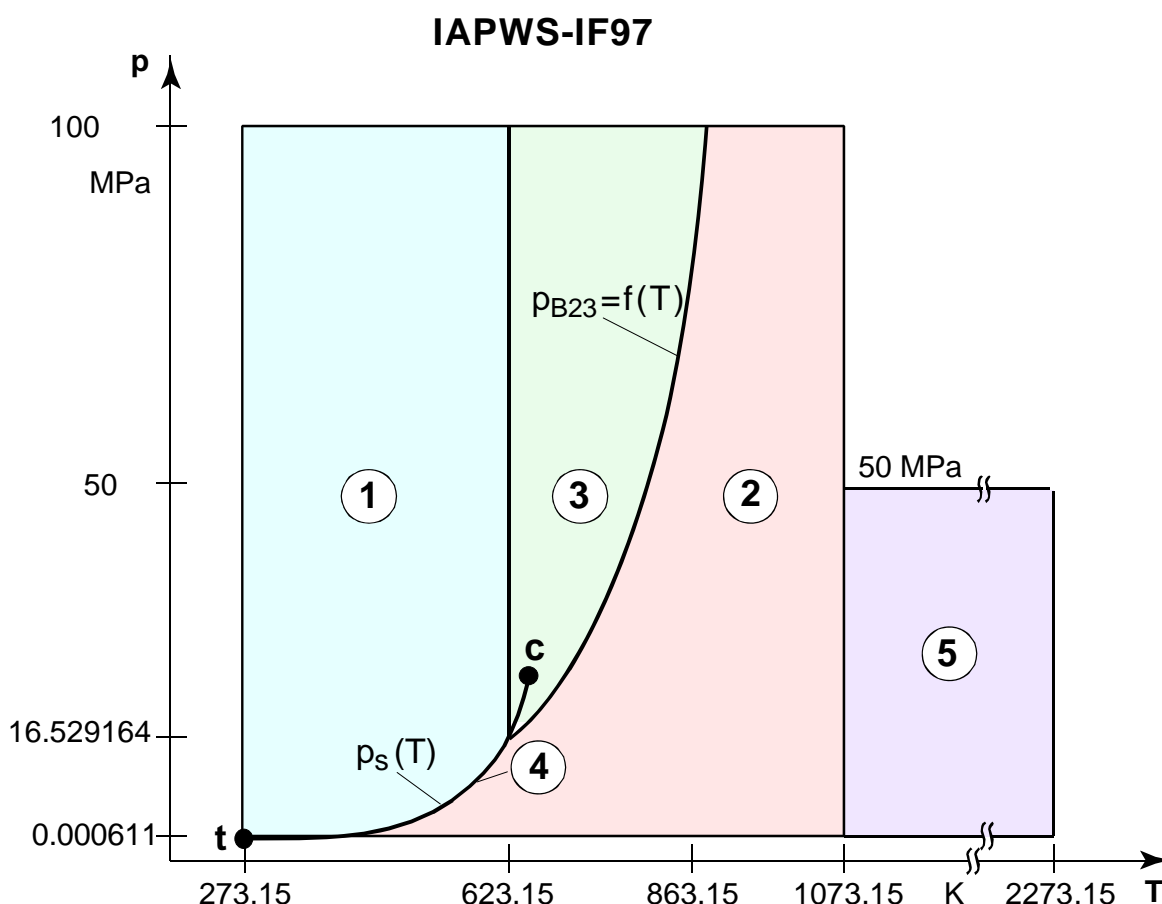


Bild 1 Gesamter Gültigkeitsbereich und Berechnungsbereiche der IF97

Der Zustandsbereich der IF97 erstreckt sich von 273.15 K bis 1073.15 K bei Drücken von 0.000611 bis 100 MPa und bis 2273.15 K bei Drücken bis 50 MPa.

Intern ist der gesamte Gültigkeitsbereich in die Berechnungsbereiche 1 bis 5 unterteilt, in denen die jeweiligen Zustandsgleichungen gelten (vgl. Bild 1). Diese sind im offiziellen Release der IAPWS [5] über die IF97 sowie in [6,7] detailliert beschrieben.

Die Version für Studierende kann in den Bereichen 1 und 2 sowie im Nassdampfgebiet (Bereich 4) verwendet werden. Die Zuweisung zu den Berechnungsgleichungen für die einzelnen Bereiche erfolgt intern anhand der gegebenen Größen.

1.2.2 LibIDGAS für ideale Gase und Gemische nach der VDI-Richtlinie 4670

Die Berechnung der thermodynamischen Zustandsgrößen der Gase und Gemische im Idealgaszustand erfolgt mit Algorithmen von

VDI-Richtlinie 4670 [1]

während die Transportgrößen nach

Brandt [2] und dem VDI-Wärmeatlas [3]

berechnet werden. Wichtige Stoffkonstanten wurden dem Kompendium von

Blanke [4]

entnommen.

Berechenbar sind Gemische aus den folgenden Gasen, im weiteren als Gemischgase bezeichnet:

Gas-Nr.	Gemischgas	
1	Argon	Ar
2	Neon	Ne
3	Stickstoff	N ₂
4	Sauerstoff	O ₂
5	Kohlenmonoxid	CO
6	Kohlendioxid	CO ₂
7	Wasserdampf	H ₂ O
8	Schwefeldioxid	SO ₂
9	Luft (trocken)	
10	Luftstickstoff	

Die Berechnungsprogramme sind im Temperaturbereich von $T = 200 \text{ K}$ bis 2000 K gültig. Der Druckbereich beschränkt sich auf den Bereich, in dem die Gemischgase als ideale Gase betrachtet werden können und erstreckt sich somit von oberhalb 0 MPa bis 1 (3) MPa , maximal 5 MPa . Die Annahme ideales Gas trifft mit guter Näherung bis 1 MPa zu, während darüber bis ca. 5 MPa größere Ungenauigkeiten bei den berechneten Stoffwerten in Kauf genommen werden müssen. Auf die Berechnung des Wirkungsgrades von Gasturbinen wirken sich diese Abweichungen jedoch nur gering aus.

1.2.3 LibFLUFT_FLC für Feuchte Luft

Der Zustandsbereich der LibFLUFT_FLC.dll erstreckt sich von 243.15 K bis 1073.15 K bei Drücken von 0.0006112 bis 2 MPa .

Die Berechnung der thermodynamischen Zustandsgrößen der Feuchten Luft erfolgt mit folgenden Algorithmen:

Für Ungesättigte und gesättigte feuchte Luft ($x_w \leq x_{ws}$)

- ideales Gasgemisch aus trockener Luft und Wasserdampf
- v_l nach idealer Gasgleichung
- h_l, s_l nach Modell $c_p = \text{const}$
- λ, η nach Mischungsmodell von *Brandt* [2]

Für Flüssigkeitsnebel ($x_w > x_{ws}$) und $T \geq 273.16 \text{ K}$

- ideales Gemisch aus gesättigter feuchter Luft und Wasserflüssigkeit
- v, h, s der Flüssigkeitströpfchen nach IAPWS-IF97 [5],[6],[7]
- c_p der Flüssigkeitströpfchen als konstanter Wert
- λ, η der Flüssigkeitströpfchen nach IAPWS-85 [8],[9] - Mischung über Volumenanteile

Für Eisnebel ($x_w > x_{ws}$) und $T \leq 273.16 \text{ K}$

- ideales Gemisch aus gesättigter feuchter Luft und Wassereis
- v, c_p der Eiskristalle als konstante Werte
- λ, η der gesättigten feuchten Luft

Für das Zwickelgebiet ($x_w > x_{ws}$) und $T = 273.16 \text{ K}$ (exakt)

- ideales Gemisch gesättigter feuchter Luft, Wasserflüssigkeit und Wassereis

2 Nutzung von FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud in Mathcad®

Zur komfortablen Stoffwertberechnung in Mathcad und höheren Versionen steht FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud zur Verfügung. Es ermöglicht den direkten Aufruf von Funktionen innerhalb von Mathcad aus den Stoffwert-Bibliotheken LibIF97 für Wasser und Wasserdampf, LibIDGAS für ideale Gase und Gemische sowie LibFLUFT_FLC für Feuchte Luft.

2.1 Installation von FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud

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

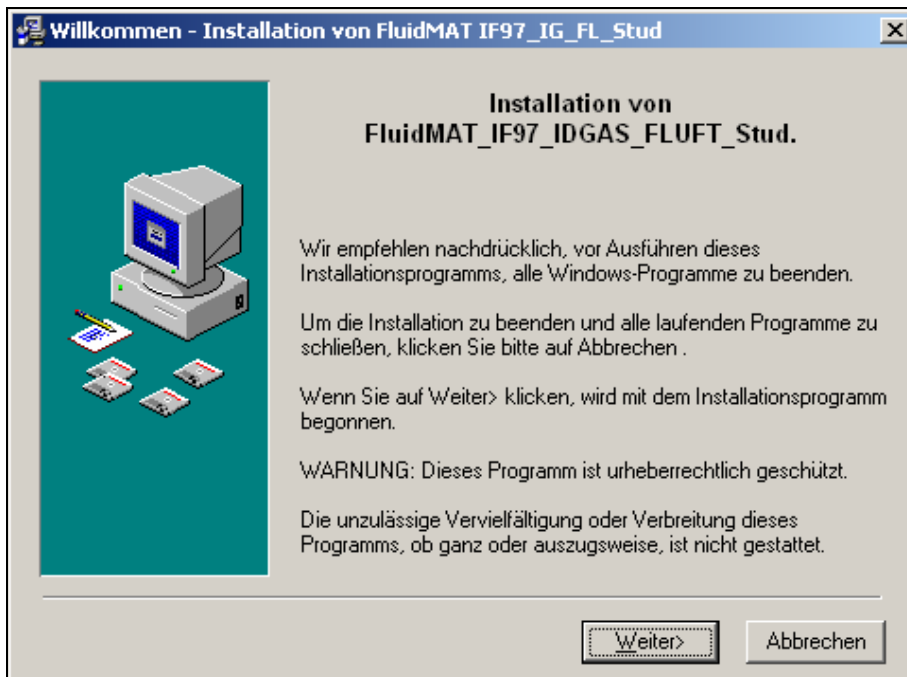
Anschließend ist die CD mit FluidMAT einzulegen.

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:

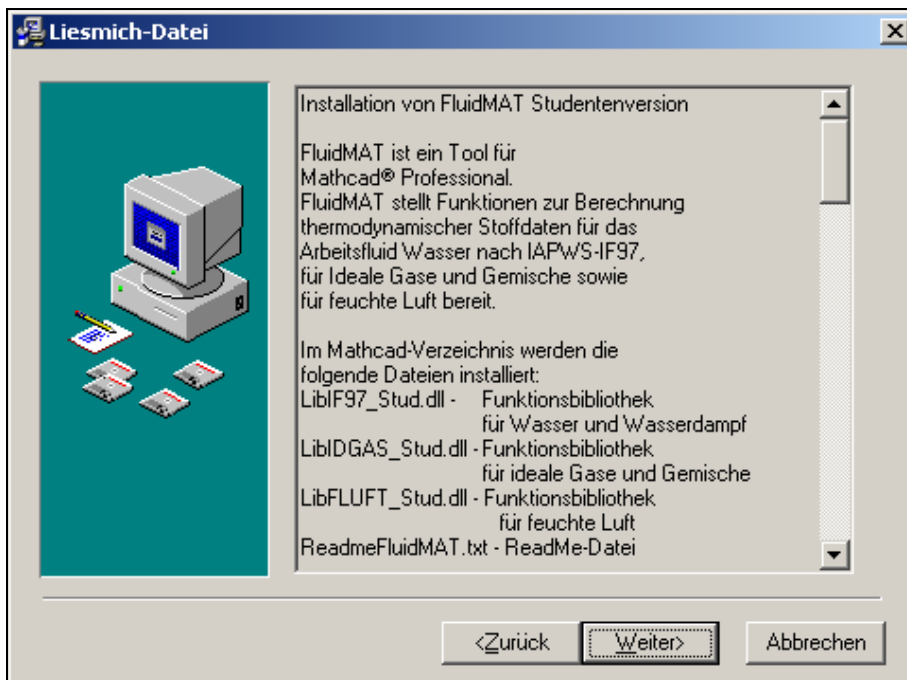
<CD-Laufwerksbuchstabe>:\ FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud_Setup.EXE .

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.

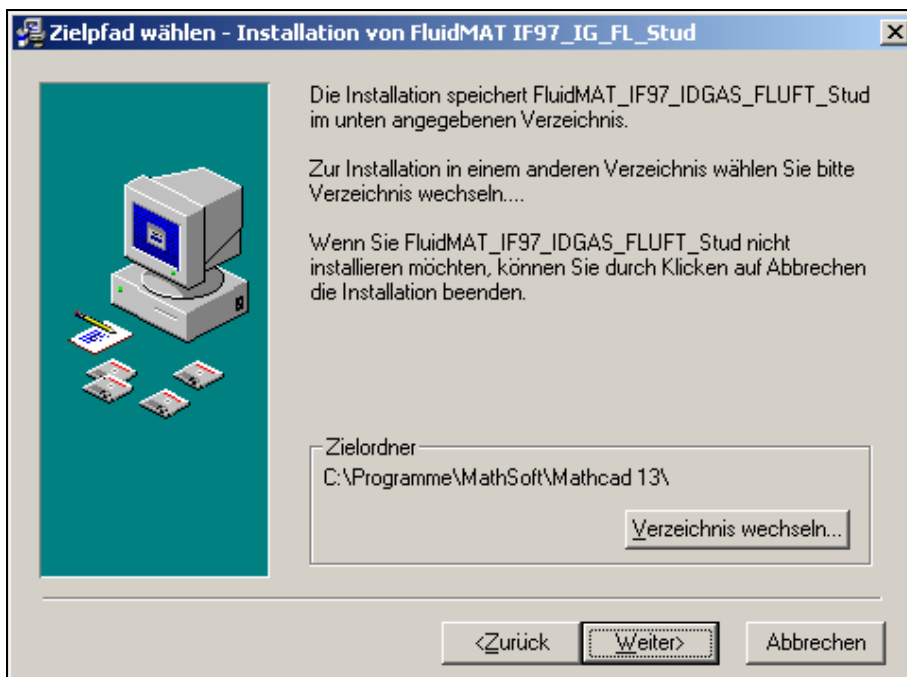
Im folgenden Fenster "Liesmich-Datei" werden Sie über das Produkt FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud informiert. Klicken Sie auf "Weiter>", um dieses Fenster zu verlassen.



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

C:\Programme\Mathsoft\Mathcad 13

für die Installation von FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud angeboten, wobei gegebenenfalls statt C:\ ein anderer Laufwerksbuchstabe stehen kann.



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

Die richtige Einstellung des Anwenderverzeichnisses von Mathcad ist von entscheidender Bedeutung für die korrekte Installation von FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud.

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 IF97_IG_FL_Stud". Dieses verlassen Sie mit "Weiter>".

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:

- LibIF97_Stud.dll - Funktionsbibliothek für Wasser und Wasserdampf
- LibIDGAS_Stud.dll - Funktionsbibliothek für ideale Gase und Gemische
- LibFLUFT_Stud.dll - Funktionsbibliothek für Feuchte Luft
- Readme_FluidMAT.txt - ReadMe-Datei

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

- MAT_LibIF97_Stud.dll - benutzerdefinierte Funktionen für Wasser und Wasserdampf in Mathcad
- MAT_LibIDGAS_Stud.dll - benutzerdefinierte Funktionen für ideale Gase und Gemische in Mathcad
- MAT_LibFLUFT_Stud.dll - benutzerdefinierte Funktionen für Feuchte Luft in Mathcad

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

- MAT_LibFLUFT_Stud.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibFLUFT_FLC für Mathcad Version 11 oder niedriger
- MAT_LibFLUFT_Stud_DE.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibFLUFT_FLC für deutsches Mathcad ab Version 12
- MAT_LibFLUFT_Stud_EN.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibFLUFT_FLC für englisches Mathcad ab Version 12
- MAT_LibIDGAS_Stud.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibIDGAS für Mathcad Version 11 oder niedriger
- MAT_LibIDGAS_Stud_DE.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibIDGAS für deutsches Mathcad ab Version 12

- MAT_LibIDGAS_Stud_EN.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibIDGAS für englisches Mathcad ab Version 12
- MAT_LibIF97_Stud.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibIF97 für Mathcad Version 11 oder niedriger
- MAT_LibIF97_Stud_DE.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibIF97 für deutsches Mathcad ab Version 12
- MAT_LibIF97_Stud_EN.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibIF97 für englisches Mathcad ab Version 12

Ab sofort stehen Ihnen die Stoffwertfunktionen in Mathcad zur Verfügung.

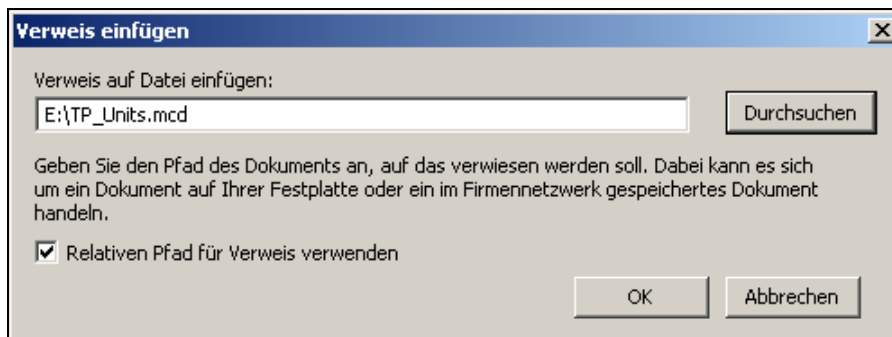
2.2 Beispiel: Berechnung der Enthalpie $h = f(p, T, x)$ für Wasser und Wasserdampf nach der IAPWS-IF97

Berechnet werden soll die spezifische Enthalpie h aus gegebenem Druck p , gegebener Temperatur T und gegebenem Dampfanteil x für Wasser und Wasserdampf nach der Industrie-Formulation IAPWS-IF97 in Mathcad.

Folgende Anweisungen sind auszuführen:

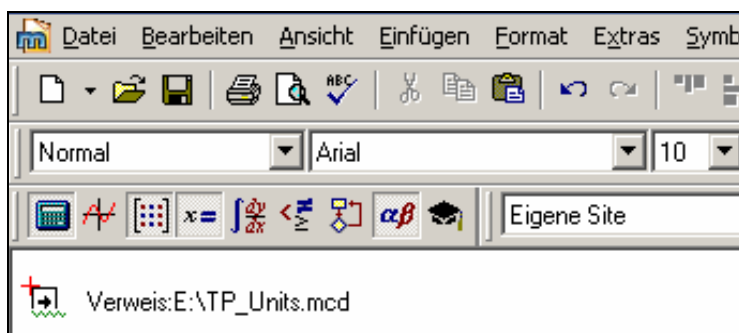
- Starten von Mathcad, falls noch nicht geschehen.
- Für das Lösen der Thermodynamik-Übungsaufgaben werden Einheiten benötigt. Diese befinden sich in der Datei "TP_Units.mcd", die zuvor heruntergeladen wurde. Um diese zusätzlichen Einheiten in Ihrem Mathcad-Arbeitsblatt verfügbar zu machen, muss ein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

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



- Bestätigen Sie mit "OK".

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



- Definieren sie nun die Prozessparameter wie folgt:

$$t := 400^{\circ}\text{C}$$

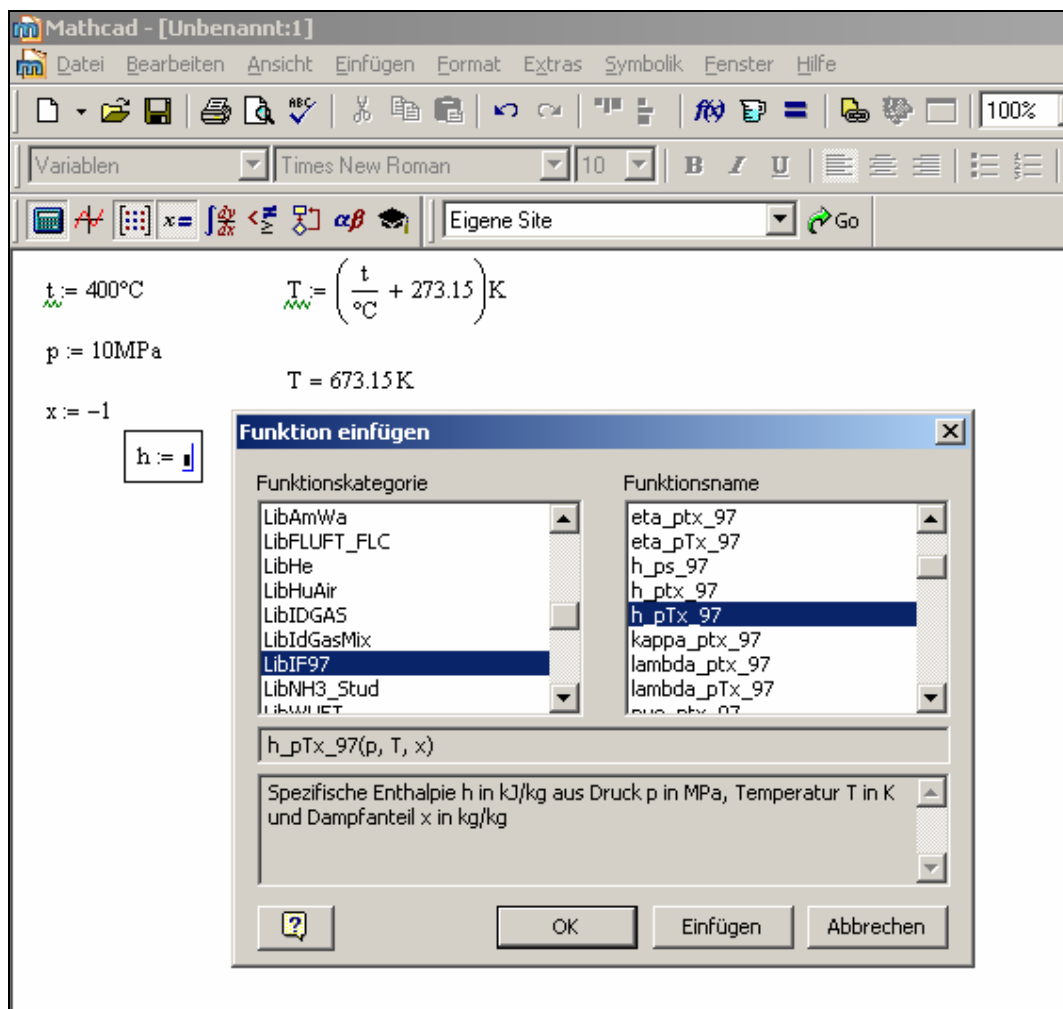
$$T := \left(\frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 273.15 \right) \text{K}$$

$$p := 10 \text{MPa}$$

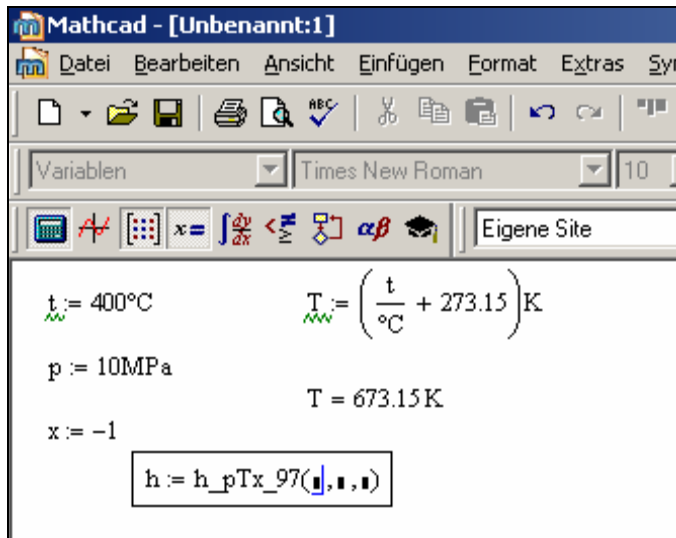
$$T = 673.15 \text{K}$$

$$x := -1$$

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

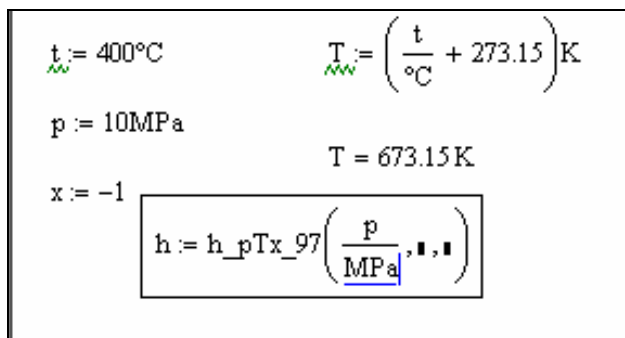


- Mit Hilfe des Scroll-Balkens unter Funktionskategorie die Bibliothek "LibIF97" auswählen und anklicken. Danach unter Funktionsname die Funktion "h_pTx_97" auswählen und anklicken.
- Die Funktionskategorie und der Funktionsname werden invertiert, farblich unterlegt und die Beschreibung der Funktion sowie die Maßeinheiten der Variablen eingeblendet.
- Anklicken der Taste "OK", es erscheint $h := h_pTx_97(\blacksquare, \blacksquare, \blacksquare)$ im Arbeitsfenster von Mathcad (vgl. folgendes Bild).



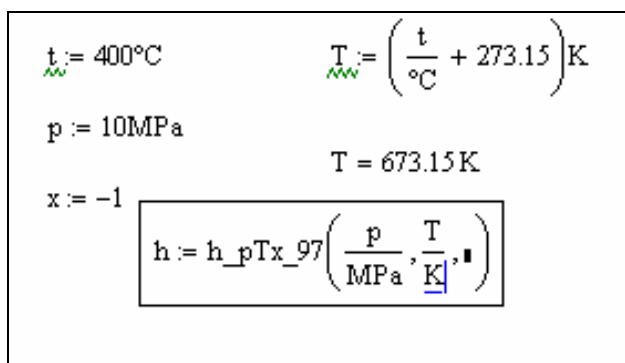
Eintragen der Parameter

- Der Cursor steht beim ersten Operanden.
- Für den ersten Operanden:
- Eintragen der jeweiligen Parameterbezeichnung (in diesem Falle p), und durch die Einheit dividieren, da FluidMat nur ohne Einheiten rechnet.



(Zustandsbereich der IF97: $p = 0.000611 \dots 100$ MPa).

- Mit dem Cursor zum zweiten Operanden gehen.
- Für den zweiten Operanden: Eintragen des Parameters für T und durch die Einheit dividieren



(Zustandsbereich der IF97: 273.15 K ... 2273.15 K für $p \leq 10$ MPa
273.15 K ... 1073.15 K für $10 \text{ MPa} < p \leq 100$ MPa)

- Mit dem Cursor zum dritten Operanden gehen.

- Für den dritten Operanden Eintragen des Wertes für den Dampfanteil x in $\text{kg}_{\text{Sattdampf}} / \text{kg}_{\text{Nassdampf}}$

$$\begin{array}{l}
 \underline{t} := 400^\circ\text{C} \qquad \underline{T} := \left(\frac{t}{^\circ\text{C}} + 273.15 \right) \text{K} \\
 p := 10 \text{MPa} \\
 x := -1 \\
 \boxed{h := h_{pTx_97} \left(\frac{p}{\text{MPa}}, \frac{T}{\text{K}}, x \right)}
 \end{array}$$

Da das Nassdampfgebiet von den Funktionen automatisch behandelt wird, sind die folgenden Festlegungen bei der Eingabe zu beachten:

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

Nur im Falle, dass Nassdampf vorliegt, hat x einen Wert zwischen 0 und 1 (den Wert $x = 0$ bei siedender Flüssigkeit, den Wert $x = 1$ bei Sattdampf).

Die Berechnung im Nassdampfgebiet kann ausgehend von (p,x) oder (T,x) oder (p,T,x) erfolgen, wobei im letzten Fall das Programm davon ausgeht, dass p und T zur Dampfdruckkurve gehören. Ist dies nicht der Fall, erhält die berechnete Größe den Wert -1 als Ergebnis.

So genügt es, entweder den gegebenen Wert für p und $T = -1$ oder den gegebenen Wert für T und $p = -1$ sowie einen Wert für x zwischen 0 und 1 einzugeben.

(Nassdampfgebiet der IF97: $T_t = 273.15 \text{ K} \dots T_c = 647.096 \text{ K}$

$p_t = 0.000611 \text{ MPa} \dots p_c = 22.064 \text{ MPa}$)

Nun wird der Berechnung die Richtige Einheit zugeordnet

- dazu betätigt man solange die Leertaste bis die Komplette Formel blau unterstrichen ist (Rechenbereich). Vgl. Bild

$$\begin{array}{l}
 \underline{t} := 400^\circ\text{C} \qquad \underline{T} := \left(\frac{t}{^\circ\text{C}} + 273.15 \right) \text{K} \\
 p := 10 \text{MPa} \\
 x := -1 \\
 \boxed{h := h_{pTx_97} \left(\frac{p}{\text{MPa}}, \frac{T}{\text{K}}, x \right)}
 \end{array}$$

- jetzt schreibt man hinter die Klammer ein Multiplikationszeichen und schreibt in das freiwerdende Kästchen die Einheit. siehe Bild

$$\begin{aligned}
 t &:= 400^{\circ}\text{C} & T &:= \left(\frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 273.15 \right) \text{K} \\
 p &:= 10 \text{MPa} & T &= 673.15 \text{K} \\
 x &:= -1 \\
 h &:= h_{pTx_97} \left(\frac{p}{\text{MPa}}, \frac{T}{\text{K}}, x \right) \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}
 \end{aligned}$$

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 das Ergebnis, welchem aber noch die richtige Einheit zugeordnet werden muss. (siehe Bild)

$$\begin{aligned}
 t &:= 400^{\circ}\text{C} & T &:= \left(\frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 273.15 \right) \text{K} \\
 p &:= 10 \text{MPa} & T &= 673.15 \text{K} \\
 x &:= -1 \\
 h &:= h_{pTx_97} \left(\frac{p}{\text{MPa}}, \frac{T}{\text{K}}, x \right) \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 h &= 3.097 \times 10^6 \cdot \text{Sv}
 \end{aligned}$$

- Dazu klickt man in das freie Kästchen und ordnet die Richtige Einheit zu.
- Die Darstellung des Ergebnisses ist dabei von der eingestellten Stellenanzahl und der Anzahl der eingestellten Nachkommastelle abhängig. (siehe Bild)

Mathcad - [bsp1_mit_einheiten.xmcd]

Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Symbolik

Konstanten Times New Roman 10

Eigene Site

$$\begin{aligned}
 t &:= 400^{\circ}\text{C} & T &:= \left(\frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 273.15 \right) \text{K} \\
 p &:= 10 \text{MPa} & T &= 673.15 \text{K} \\
 x &:= -1 \\
 h &:= h_{pTx_97} \left(\frac{p}{\text{MPa}}, \frac{T}{\text{K}}, x \right) \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 h &= 3097.375 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}
 \end{aligned}$$

2.3 Beispiel: Berechnung der Enthalpie $h = f(T, \xi_1 \dots \xi_{10})$ für ein Gasgemisch nach der VDI-Richtlinie 4670

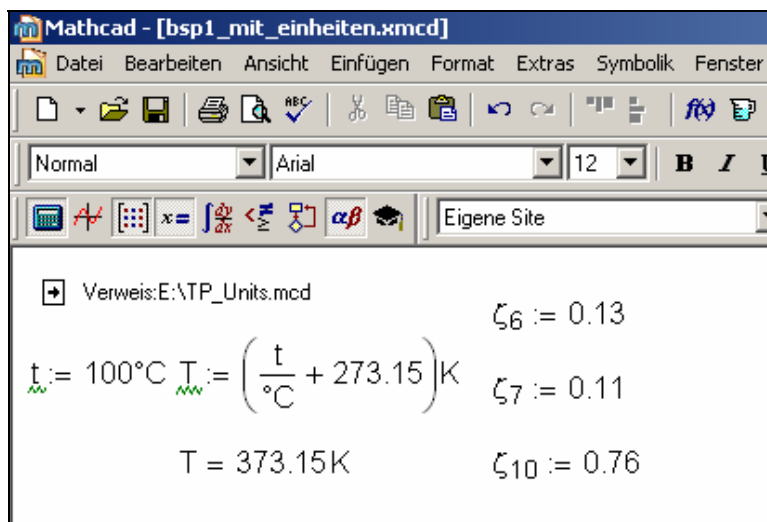
Berechnet werden soll die spezifische Enthalpie h eines Verbrennungsgases aus gegebener Temperatur $T = 373.15 \text{ K}$ und einer gegebenen Gemischzusammensetzung aus folgenden Masseanteilen ξ :

13 % Kohlendioxid, 11% Wasserdampf und 76 % Luftstickstoff .

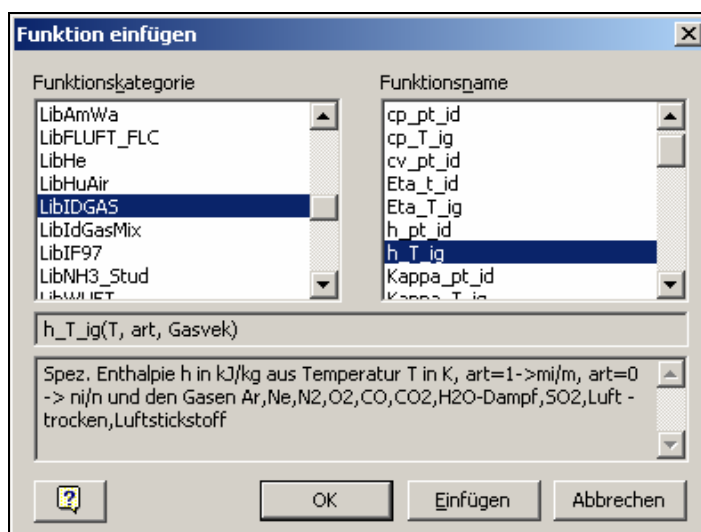
Gemäß Tabelle "Gemischgase:" im Abschnitt 1.1.2 stellt Kohlendioxid in der Programm-bibliothek LibIDGAS das Gas Nr. 6, Wasserdampf das Gas Nr. 7 und Luftstickstoff das Gas Nr. 10 dar. Somit ergeben sich die Masseanteile

$\xi_6 = 13\%$, $\xi_7 = 11\%$, $\xi_{10} = 76\%$.

- Auf einem neuen Arbeitsblatt wird analog zu dem Punkt 2.2 ein Verweis eingefügt, und die Parameter definiert (siehe Bild)



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



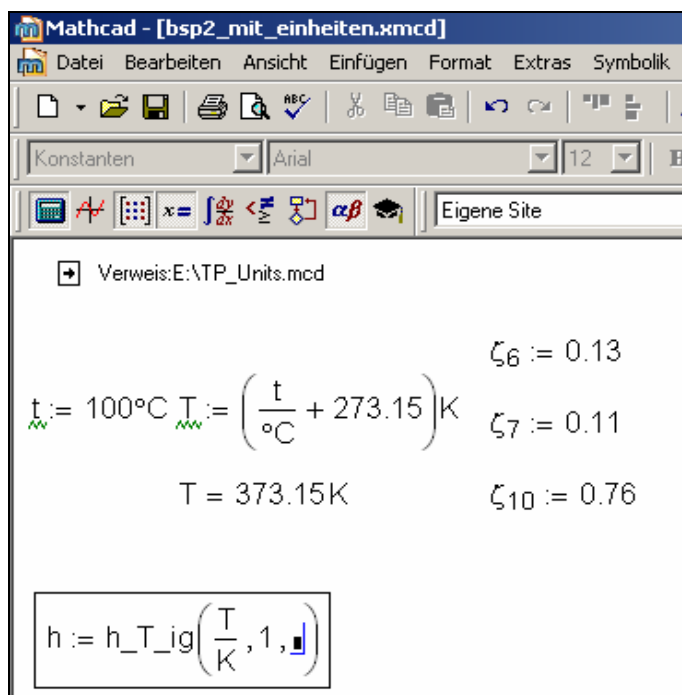
- Mit Hilfe des Scroll-Balkens unter Funktionskategorie die Bibliothek "LibIDGAS" auswählen und anklicken. Danach unter Funktionsname die Funktion "h_T_ig" auswählen und anklicken.

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 $h := h_T_ig(\blacksquare, \blacksquare, \blacksquare)$ im Arbeitsfenster von Mathcad (vgl. folgendes Bild).
- Der Cursor steht beim ersten Operanden.
- Für den ersten Operanden: Eintragen von T
 - Hierfür schreib man die Parameterbezeichnung (in diese Falle T) und dividiert durch die Einheit (Zustandsbereich: $T = 200 \text{ K} \dots 2000 \text{ K}$).
 - Eingabe von "T/K"
- Mit dem Cursor zum zweiten Operanden gehen.
- Für den zweiten Operanden: Eintragen des Kennzeichens "art" in Abhängigkeit davon, ob die Eingabe der Gemischzusammensetzung in Masseanteile oder in Molanteile, d. h. Volumenanteile erfolgen soll

art = 1 für Eingabe von Masseanteilen $\xi_1 \dots \xi_{10}$

art = 0 für Eingabe von Molanteilen, d. h. Volumenanteilen $\psi_1 \dots \psi_{10}$ (siehe Bild)



- Mit dem Cursor zum dritten Operanden gehen.
 - Für den dritten Operanden: Eintragen der Werte für die Masseanteile $\xi_1 \dots \xi_{10}$
Gemischgase in eine Matrix mit 10 Zeilen und einer Spalte (mit Punkt als Dezimaltrennzeichen). Die 10 Zeilen repräsentieren die Gemischgase in der Reihenfolge der Tabelle "Gemischgase" im Abschnitt 1.1.2 der Programmdokumentation.
- Für das Erzeugen der Matrix wählen Sie in der Mathcad Menüleiste "Einfügen" und danach "Matrix" aus. Im sich öffnenden Fenster geben Sie 10 für "Zeilen:" und 1 für "Spalten:" ein (vgl. folgendes Bild).

Mathcad - [bsp2_mit_einheiten.xmcd]

Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Symbolik Fenster Hilfe

Konstanten Arial 12 B I U

Eigene Site Go

Verweis: E:\TP_Units.mcd

$$t_w := 100^\circ\text{C} \quad T_w := \left(\frac{t}{^\circ\text{C}} + 273.15 \right) \text{K}$$

$$T = 373.15 \text{K}$$

$$\zeta_6 := 0.13$$

$$\zeta_7 := 0.11$$

$$\zeta_{10} := 0.76$$

h := h_T_ig $\left(\frac{T}{\text{K}}, 1, \right)$

Matrix einfügen

Zeilen: 10 OK

Spalten: 1 Einfügen

Löschen

Abbrechen

Bestätigen Sie Ihre Eingabe mit "OK".

Im nächsten Schritt werden die 10 Zeilen der Matrix mit den Parametern ξ_1 bis ξ_{10} des Gemischgases ausgefüllt. Dabei werden unbekannte Werte mit einer 0 gekennzeichnet.

Der Cursor steht in Zeile 1. Im folgenden Bild sind die weiteren Eingaben dargestellt.

$$h_w := h_T_ig \left[\frac{T}{\text{K}}, 1, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \zeta_6 \\ \zeta_7 \\ 0 \\ 0 \\ \zeta_{10} \end{pmatrix} \right] \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Argon
Neon
Stickstoff
Sauerstoff
Kohlenmonoxid
Kohlendioxid
Wasserdampf
Schwefeldioxid
Luft – trocken
Luftstickstoff

ξ_1 für Argon	z. B.: Eintragen des Wertes 0 in Zeile 1 der Matrix
ξ_2 für Neon	z. B.: Eintragen des Wertes 0 in Zeile 2 der Matrix
ξ_3 für Stickstoff	z. B.: Eintragen des Wertes 0 in Zeile 3 der Matrix
ξ_4 für Sauerstoff	z. B.: Eintragen des Wertes 0 in Zeile 4 der Matrix
ξ_5 für Kohlenmonoxid	z. B.: Eintragen des Wertes 0 in Zeile 5 der Matrix
ξ_6 für Kohlendioxid	z. B.: Eintragen des Parameters ξ_6 in Zeile 6 der Matrix
ξ_7 für Wasserdampf	z. B.: Eintragen des Parameters ξ_7 in Zeile 7 der Matrix
ξ_8 für Schwefeldioxid	z. B.: Eintragen des Wertes 0 in Zeile 8 der Matrix
ξ_9 für Luft - trocken	z. B.: Eintragen des Wertes 0 in Zeile 9 der Matrix
ξ_{10} für Luftstickstoff	z. B.: Eintragen des Parameters ξ_{10} in Zeile 10 der Matrix

- Bestätigung der Eingabe mit Taste "ENTER".

Nun wird der Berechnung die Richtige Einheit zugeordnet. Dazu betätigt man solange die Leertaste bis die Komplette Formel blau unterstrichen ist (Rechenbereich), und schreibt dann die Einheit dahinter.

- 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. Und ordnet dem Ergebnis die richtige Einheit zu.

$$h := h_{T_ig} \begin{bmatrix} T \\ K, 1, \\ \xi_6 \\ \xi_7 \\ 0 \\ 0 \\ \xi_{10} \end{bmatrix} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h = 385.398 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

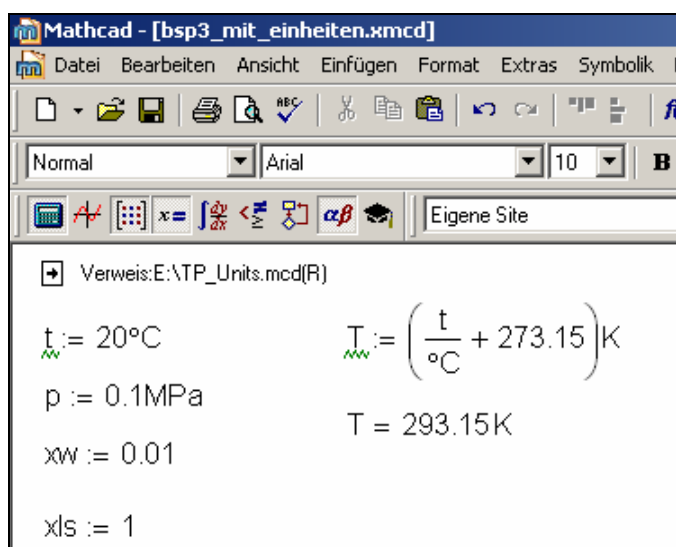
Die Darstellung des Ergebnisses ist dabei von der eingestellten Stellenanzahl und der Anzahl der eingestellten Nachkommastelle abhängig.

2.4 Beispiel: Berechnung der luftspezifischen Enthalpie $h_l = f(p, T, x_W, x_{ls})$ für Feuchte Luft

Berechnet werden soll die luftspezifische Enthalpie h_l aus gegebenem Gesamtdruck p , gegebener Temperatur T und gegebener absoluter Feuchte (Wassergehalt) x_W für feuchte Luft $c_p = \text{const}$. Die für die Beschreibung des Zwickelgebietes vorgesehene Größe x_{ls} muss nicht eingegeben werden, da eine Temperatur ungleich 273.16 K vorgegeben wird.

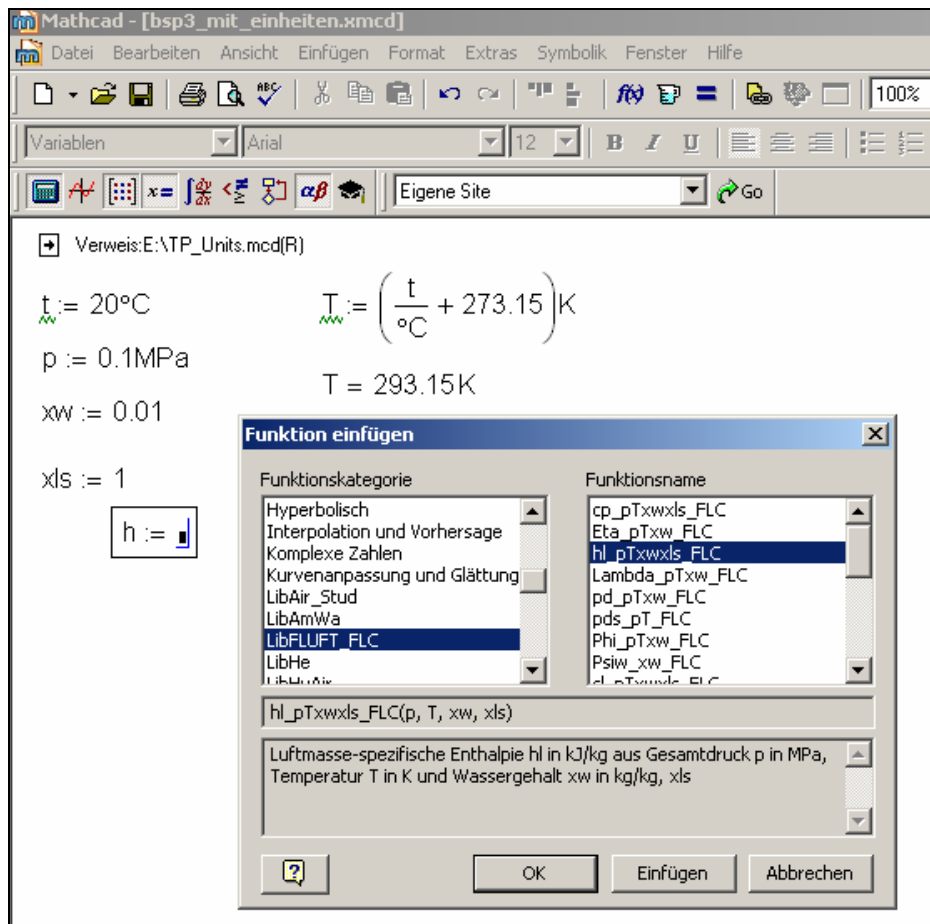
Folgende Anweisungen sind auszuführen:

- Starten von Mathcad, falls noch nicht geschehen.
- Auf einem neuen Arbeitsblatt wird analog zu dem Punkt 2.2 ein Verweis eingefügt, und die Parameter definiert (siehe Bild)



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 "LibFLUFT_FLC" auswählen und anklicken. Danach unter Funktionsname die Funktion "hl_pTxxwxs_FLC" 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 $h := hl_pTxxwxs_FLC$ (■, ■, ■, ■) im Arbeitsfenster von Mathcad (vgl. folgendes Bild).

Eintragen der Parameter

- Der Cursor steht beim ersten Operanden.
- Für den ersten Operanden: Eintragen des Parameters für p in MPa, dividiert durch die Maßeinheit.
(Zustandsbereich: $p = 0.0006112 \text{ MPa} \dots 2 \text{ MPa}$)
- Mit dem Cursor zum zweiten Operanden gehen.
- Für den zweiten Operanden: Eintragen des Parameters für T in K, dividiert durch die Maßeinheit.
(Zustandsbereich: $T = 243.15 \text{ K} \dots 1073.15 \text{ K}$)
- Mit dem Cursor zum dritten Operanden gehen.
- Für den dritten Operanden Eintragen des Parameters für x_w in kg Wasser / kg trockene Luft
- Mit dem Cursor zum vierten Operanden gehen.

- Für den vierten Operanden Eintragen des Wertes für x_{ls} in kg Flüssigkeitströpfchen / kg Flüssigkeitströpfchen plus Eiskristalle - mit Punkt als Dezimaltrennzeichen. Im Beispiel liegt der Zustandspunkt nicht bei einer exakten Temperatur von 273.16 K. Daher kann ein beliebiger Wert für x_{ls} eingegeben werden.
- Der Berechnung muss nun noch eine Maßeinheit zugeordnet werden. Dazu betätigt man die Leertaste solange bis die komplette Formel blau unterstrichen ist (Rechenbereich), und schreibt dann die Maßeinheit. siehe Bild

$$h := hl_{pT}xwxls_FLC\left(\frac{p}{\text{MPa}}, \frac{T}{\text{K}}, xw, xls\right) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- 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 das Ergebnis, welchem aber noch eine Maßeinheit zugeordnet werden muss. Die Darstellung des Ergebnisses ist dabei von der eingestellten Stellenanzahl und der Anzahl der eingestellten Nachkommastelle abhängig.

Mathcad - [bsp3_mit_einheiten.xmcd]

Verweis:E:\TP_Units.mcd(R)

$t := 20^{\circ}\text{C}$ $T := \left(\frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 273.15\right)\text{K}$

$p := 0.1\text{MPa}$ $T = 293.15\text{K}$

$xw := 0.01$

$xls := 1$

$h := hl_{pT}xwxls_FLC\left(\frac{p}{\text{MPa}}, \frac{T}{\text{K}}, xw, xls\right) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$h = 45.581 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

2.5 De-Installation von FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud

Um FluidMAT_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud 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_IF97_IDGAS_FLUFT_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_IF97_IDGAS_FLUFT_Stud beendet.

3 Literaturverzeichnis

- [1] VDI Richtlinie 4670 u. Thermodynamische Stoffwerte von feuchter Luft und Verbrennungsgasen
- [2] Brandt, F.:
Wärmeübertragung in Dampferzeugern und Wärmetauschern.
FDBR-Fachbuchreihe, Bd. 2, Vulkan Verlag Essen (1985)
- [3] VDI-Wärmeatlas, 7. Auflage.
VDI-Verlag, Düsseldorf (1995)
- [4] Blanke, W.:
Thermophysikalische Stoffgrößen.
Springer-Verlag, Berlin (1989)
- [5] 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)
- [6] Wagner, W.; Kruse, A.:
Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf.
Springer-Verlag, Berlin (1998)
- [7] Wagner, W.; Cooper, J.R.; Dittmann, A.; Kijima, J.; Kretschmar, H.-J.; Kruse, A.; Mares, R.; Oguchi, K.; Sato, H.; Stöcker, I.; Sifner, 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 Gasturbines and Power 122 (2000) Nr. 1, S. 150-182
- [8] Revised Release on the IAPS Formulation 1985 for the Thermal Conductivity of Ordinary Water Substance.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1997)
- [9] Revised Release on the IAPS Formulation 1985 for the Viscosity of Ordinary Water Substance.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1997)
- [10] IAPWS Release on Surface Tension of Ordinary Water Substance 1994.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1994)
- [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] Kretschmar, H.-J.:
Zur Aufbereitung und Darbietung thermophysikalischer Stoffdaten für die Energietechnik.
Habilitation, TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen (1990)