HOCHSCHULE
University
of
Applied Sciences
ZITTAU/GÖRLITZ

FB Maschinenwesen

Technische Thermodynamik

Stoffwertprogramm-Bibliothek für Iso-Butan

LibButan_iso
FluidMAT
für Mathcad®

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar
Dr.-Ing. I. Stöcker
Dipl.-Inf. (FH) I. Jähne
Cand.-Ing. R. Krause

Stoffwertprogramme für Iso-Butan

LibButan_iso
FluidMAT für Mathcad®

Inhalt

0 Lieferumfang

1 Übersicht über Berechnungsprogramme
  1.1 Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliothek
  1.2 Stoffwertfunktionen der Bibliothek "LibButan_iso" für Iso-Butan

2 Nutzung von FluidMAT in Mathcad®
  2.1 Installation von FluidMAT
  2.2 Beispiel: Berechnung der Enthalpie h = f(p,T,x) für Iso-Butan
  2.3 De-Installation von FluidMAT

3 Programmdokumentation

4 Übersicht über weitere Stoffwert-Bibliotheken

5 Literaturverzeichnis

6 Referenzliste

© Hochschule Zittau/Görlitz (FH) - 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: http://thermodynamik.hs-zigr.de

0 Lieferumfang

CD "FluidMAT mit LibButan_iso" mit folgenden Dateien:

FluidMAT_LibButan_iso_Setup.exe	Selbstentpackende Installationsdatei
FluidMAT_LibButan_iso_Doku.pdf	Programmdokumentation

Programmdokumentation als gedrucktes Exemplar bei Versand

1.2 Stoffwertfunktionen der Bibliothek "LibButan_iso" für Iso-Butan

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidMAT	Aufruf Fortran-Programm	Aufruf in DLL LibButan_iso als Parameter	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit berechneter Wert
a = f(p,t,x)	a_ptx_BUTI	APTXBUTI(P,T,X)	C_APTXBUTI(A,P,T,X)	Temperaturleitfähigkeit	m^2/s
c_p = f(p,t,x)	cp_ptx_BUTI	CPPTXBUTI(P,T,X)	C_CPPTXBUTI(CP,P,T,X)	Spezifische isobare Wärmekapazität	kJ/(kg K)
η = f(p,t,x)	eta_ptx_BUTI	ETAPTXBUTI(P,T,X)	C_ETAPTXBUTI(ETA,P,T,X)	Dynamische Zähigkeit	Pa s
h = f(p,t,x)	h_ptx_BUTI	HPTXBUTI(P,T,X)	C_HPTXBUTI(H,P,T,X)	Spezifische Enthalpie	kJ/kg
κ = f(p,t,x)	kappa_ptx_BUTI	KAPTXBUTI(P,T,X)	C_KAPTXBUTI(KAP,P,T,X)	Isentropenexponent	-
λ = f(p,t,x)	lambda_ptx_BUTI	LAMPTXBUTI(P,T,X)	C_LAMPTXBUTI(LAM,P,T,X)	Wärmeleitfähigkeit	W/(m K)
ν = f(p,t,x)	ny_ptx_BUTI	NYPTXBUTI(P,T,X)	C_NYPTXBUTI(NY,P,T,X)	Kinematische Viskosität	m^2/s
p_{mel} = f(t)	pmel_t_BUTI	PMELBUTI(T)	C_PMELBUTI(PMEL,T)	Schmelzdruck aus Temperatur	bar
p_s = f(t)	ps_t_BUTI	PSTBUTI(T)	C_PSTBUTI(PS,T)	Dampfdruck aus Temperatur	bar
Pr = f(p,t,x)	Pr_ptx_BUTI	PRPTXBUTI(P,T,X)	C_PRPTXBUTI(PR,P,T,X)	*Prandtl*-Zahl	-
ρ = f(p,t,x)	rho_ptx_BUTI	ROPTXBUTI(P,T,X)	C_ROPTXBUTI(RHO,P,T,X)	Dichte	kg/m^3
s = f(p,t,x)	s_ptx_BUTI	SPTXBUTI(P,T,X)	C_SPTXBUTI(S,P,T,X)	Spezifische Entropie	kJ/(kg K)
t = f(p,h)	t_ph_BUTI	TPHBUTI(P,H)	C_TPHBUTI(T,P,H)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Enthalpie	°C
t = f(p,s)	t_ps_BUTI	TPSBUTI(P,S)	C_TPSBUTI(T,P,S)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie	°C
t_{mel} = f(p)	tmel_p_BUTI	TMELBUTI(P)	C_TMELBUTI(TMEL,P)	Schmelztemperatur aus Druck	°C
t_s = f(p)	ts_p_BUTI	TSPBUTI(P)	C_TSPBUTI(TS,P)	Siedetemperatur aus Druck	°C
u = f(p,t,x)	u_ptx_BUTI	UPTXBUTI(P,T,X)	C_UPTXBUTI(U,P,T,X)	Spezifische innere Energie	kJ/kg
v = f(p,t,x)	v_ptx_BUTI	VPTXBUTI(P,T,X)	C_VPTXBUTI(V,P,T,X)	Spezifisches Volumen	m^3/kg
w = f(p,t,x)	w_ptx_BUTI	WPTXBUTI(P,T,X)	C_WPTXBUTI(W,P,T,X)	Isentrope Schallgeschwindigkeit	m/s
x = f(p,h)	x_ph_BUTI	XPHBUTI(P,H)	C_XPHBUTI(X,P,H)	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Enthalpie	kg/kg
x = f(p,s)	x_ps_BUTI	XPSBUTI(P,S)	C_XPSBUTI(X,P,S)	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Entropie	kg/kg

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

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von $t_{mel}(p)$ bis 301.85 °C
Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

Bezugszustand

h = 200 kJ/kg und s = 1 kJ/(kg K) bei t = 0 °C auf der Siedelinie (x = 0)

Erläuterung zum Dampfanteil x

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

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

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

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

Nassdampfgebiet: Temperaturbereich von t_t = –159.42 °C bis t_c = 134.66 °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis p_c = 36.29 bar

Hinweis !

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

2 Nutzung von FluidMAT in Mathcad®

Zur komfortablen Stoffwertberechnung in Mathcad 8 Professional und höheren Versionen steht FluidMAT zur Verfügung. Es ermöglicht den direkten Aufruf von Funktionen innerhalb von Mathcad aus der Stoffwert-Bibliothek LibButan_iso für Iso-Butan.

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 "FluidMAT mit LibButan_iso" 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.

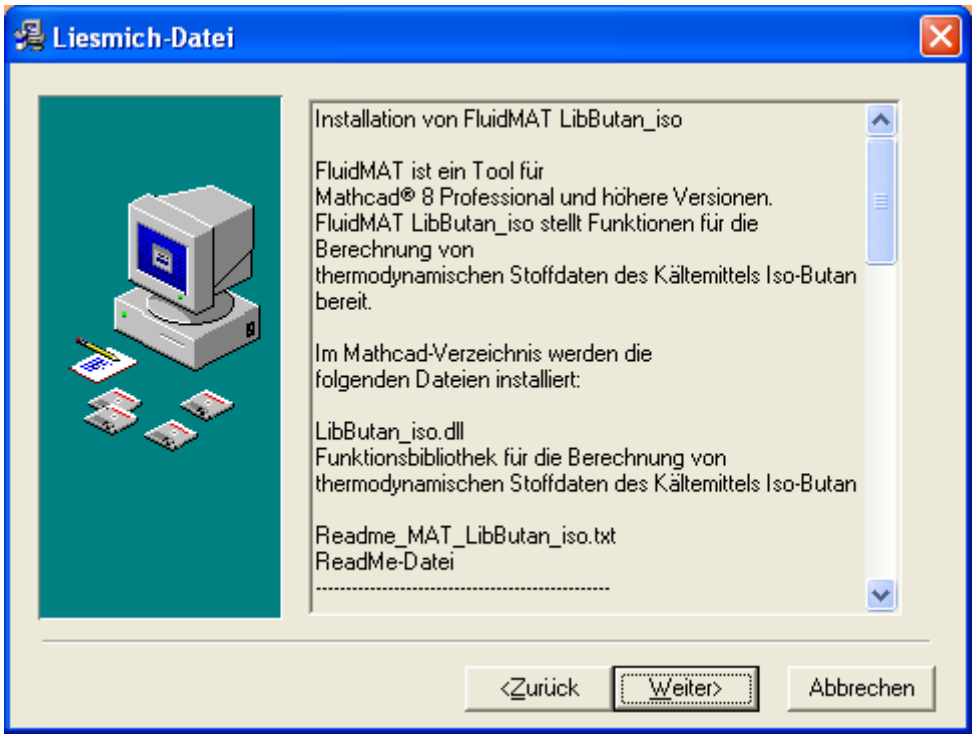
Im folgenden Dialogfenster ist die Taste "Installieren..." und im nächsten die Taste "Weiter>" anzuklicken. Im sich öffnenden Dialogfenster "Installationsprogramm ausführen" erscheint jetzt automatisch unter "Befehlszeile für das Installationsprogramm:"

<CD-Laufwerksbuchstabe> :\ FluidMAT_LibButan_iso_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 Fenster "Liesmich-Datei" werden Sie nun 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, beispielsweise

C:\Programme\Mathsoft\Mathcad 2000i Professional

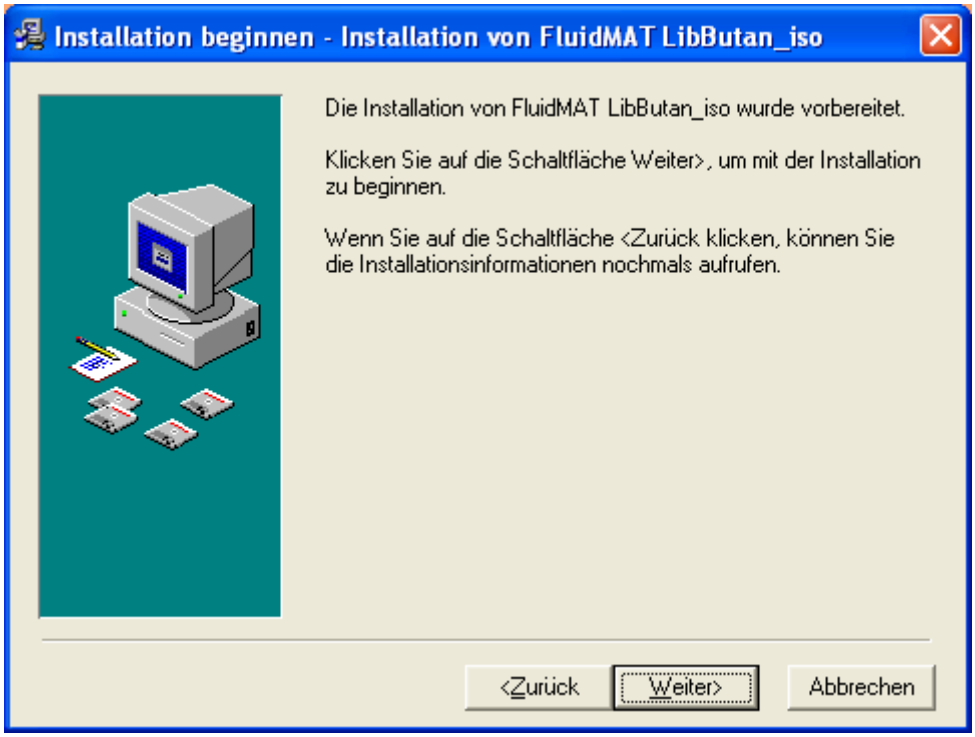
bei Verwendung von Mathcad 2000i Professional mit Standardeinstellungen. Gegebenenfalls kann statt C:\ ein anderer Laufwerksbuchstabe stehen.

Im Normalfall wurde durch das Installationsprogramm der korrekte Pfad für das Mathcad-Verzeichnis ermittelt.

Sollte dies nicht der Fall sein, beispielsweise wenn zwei Versionen von Mathcad auf Ihrem System vorhanden sind, ist wie folgt zu verfahren. Klicken Sie auf die Schaltfläche "Verzeichnis wechseln..." und wählen Sie anschließend das Verzeichnis aus, in dem sich die gewünschte Mathcad-Version befindet. Die richtige Einstellung des Anwenderverzeichnisses von Mathcad ist von entscheidender Bedeutung für die korrekte Installation von FluidMAT.

Ist der richtige Pfad von Mathcad eingetragen, können Sie dieses Fenster mittels "Weiter>" verlassen und die Installation fortsetzen.

Es erscheint das nächste Dialogfenster "Installation beginnen – Installation von FluidMAT für Iso-Butan". Verlassen Sie dieses durch Anklicken von "Weiter>".



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

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

Ab sofort stehen Ihnen die Stoffwertfunktionen für Iso-Butan in Mathcad zur Verfügung.

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

Im Mathcad-Verzeichnis wurden die folgenden Dateien installiert:

LibButan_iso.dll	-	Stoffwertbibliothek für Iso-Butan
ReadmeFluidMAT.txt	-	ReadMe-Datei .

Im Mathcad-Unterverzeichnis \USEREFI wurde die folgende Dateien installiert:

MAT_LibButan_iso.dll	-	Definition der Funktionen für Iso-Butan in Mathcad .

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

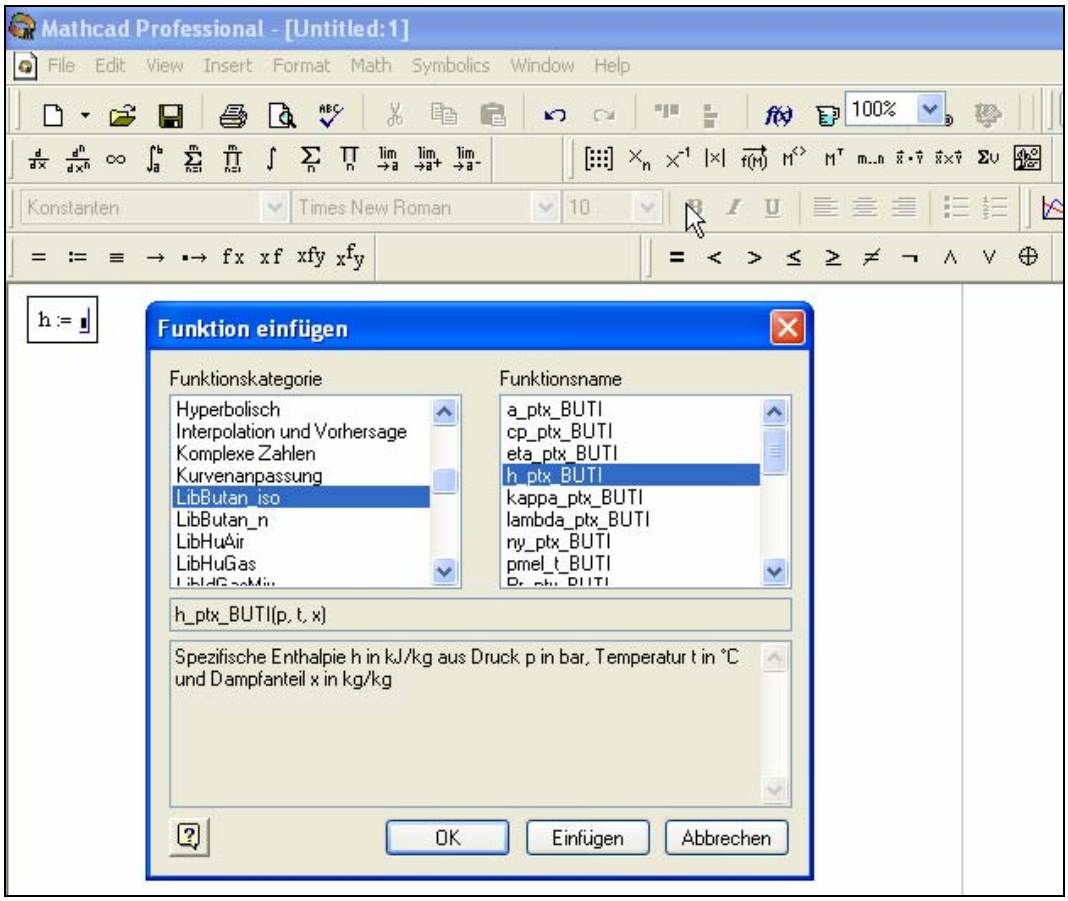
MAT_LibButan_iso.xml - Registrierung der Funktionen im Dialog "Funktion einfügen" für LibButan_iso

2.2 Beispiel: Berechnung der Enthalpie h = f(p,T,x) für Iso-Butan

Berechnet werden soll die spezifische Enthalpie h aus gegebenem Druck p, gegebener Temperatur T und gegebenem Dampfanteil x für Iso-Butan in Mathcad.

Folgende Anweisungen sind auszuführen:

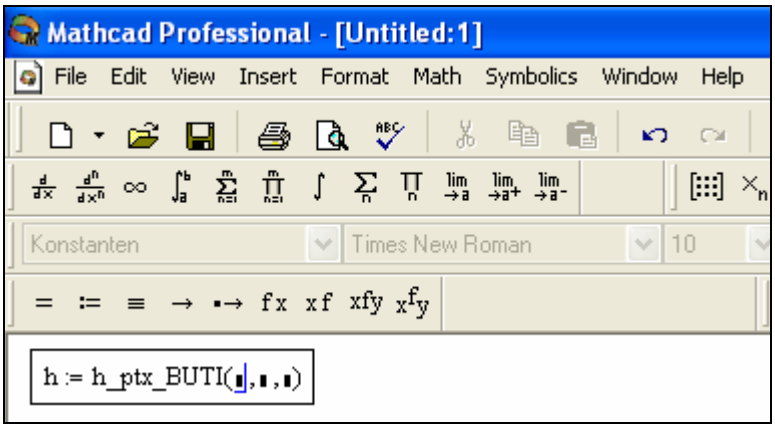
- Starten von Mathcad (falls noch nicht geschehen).
- Schreiben von "h:" in das Arbeitsfenster. Es erscheint **h : =** ■ .
- Anklicken von "Einfügen" in der oberen Menüleiste und darin "Funktion...". Das folgende Dialogfenster erscheint.



- Wählen Sie mit Hilfe des Scroll-Balkens unter Funktionskategorie die Bibliothek "LibButan_iso" aus und klicken sie an.
- Wählen Sie unter Funktionsname nun die Funktion "h_ptx_BUTI" aus und klicken sie an.

  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_BUTI (■ , ■ , ■)** im Arbeitsfenster von Mathcad (vgl. folgendes Bild).



Der Cursor steht beim ersten Operanden.

- Für den ersten Operanden: Eintragen des Wertes für p in bar, mit Punkt als Dezimaltrennzeichen
  (Zustandsbereich von LibButan_iso: von p_t = 2.19 x 10^{-7} bar bis 350 bar)

  z.B. Eintragen des Wertes 100 für den ersten Operanden

- Mit dem Cursor zum zweiten Operanden gehen.
- Für den zweiten Operanden: Eintragen des Wertes für t in °C, mit Punkt als Dezimaltrennzeichen
  (Zustandsbereich von LibButan_iso: von $t_{mel}(p)$ bis 301.85 °C)

  z. B.: Eintragen des Wertes 200 für den zweiten Operanden

- Mit dem Cursor zum dritten Operanden gehen.
- Für den dritten Operanden Eintragen des Wertes für den Dampfanteil x in $kg_{Sattdampf}$ / $kg_{Nassdampf}$, mit Punkt als Dezimaltrennzeichen

  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.
  Deshalb genügt es, entweder den gegebenen Wert für p <u>und</u> T = -1 oder den gegebenen Wert für T <u>und</u> p = -1 <u>sowie</u> einen Wert für x zwischen 0 und 1 einzugeben.

  (Nassdampfgebiet von LibButan_iso: von t_t = –159.42 °C bis t_c = 134.66 °C
  von p_t = 2.19 x 10^{-7} bar bis p_c = 36.29 bar)

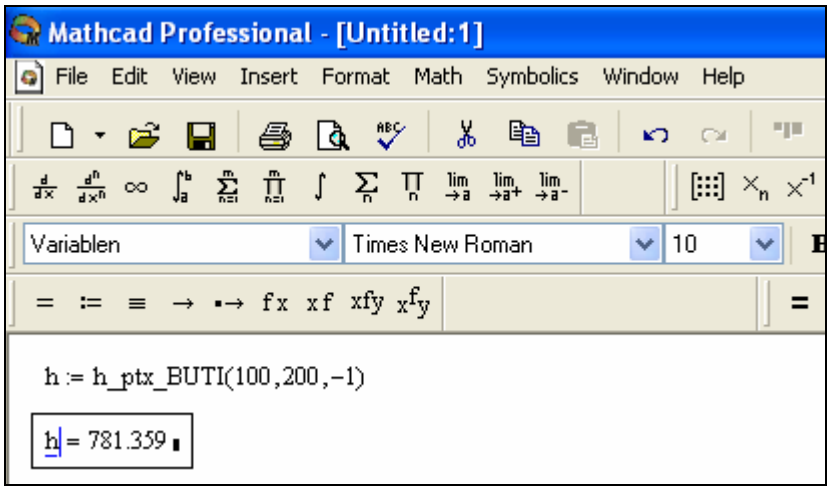
  z. B.: Eintragen des Wertes -1 für den dritten Operanden

- Bestätigung der Eingabe mit Taste "ENTER".
- Nun kann die berechnete Variable h weiter verwendet.

- Um das Ergebnis abzufragen, schreiben Sie im Arbeitsfenster auf die folgende Zeile "h =".

  Es erscheint: h=781.359

  Die Darstellung des Ergebnisses ist dabei von den eingestellten Stellenanzahl und der Anzahl der eingestellten Nachkommastelle abhängig. Für die Ergebnisangabe wurde im folgenden Bild die Anzahl der Dezimalstellen mit 3 und die Exponentialschwelle mit 3 gewählt.



Um FluidMAT aus Mathcad und von der Festplatte zu entfernen, sind die folgenden Anweisungen auszuführen:

- In der unteren Task-Leiste von Windows ist "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 für Wasser und Wasserdampf" 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

Temperaturleitfähigkeit a = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**a_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION APTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_APTXBUTI(A,P,T,X)** REAL*8 A,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

APTXBUTI, **A** bzw. **a_ptx_BUTI** – Temperaturleitfähigkeit $a = \frac{\lambda * v}{c_p}$ in m²/s

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **APTXBUTI = –1000**, **A = –1000** bzw. **a_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: (x = –1)	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder $t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie:	bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19], [21]

Spezifische isobare Wärmekapazität c_p = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**cp_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION CPPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_CPPTXBUTI(CP,P,T,X)** REAL*8 CP,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

CPPTXBUTI, **CP** bzw. **cp_ptx_BUTI** - spezifische isobare Wärmekapazität c_p in kJ/(kg K)

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **CPPTXBUTI = –1000**, **CP = –1000** bzw. **cp_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	$t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie:	bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
	bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und
	$t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19]

Dynamische Zähigkeit η = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**eta_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION ETAPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_ETAPTXBUTI(ETA,P,T,X)** REAL*8 ETA,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

ETAPTXBUTI, **ETA** bzw. **eta_ptx_BUTI** – dynamische Zähigkeit η in Pa s

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **ETAPTXBUTI= –1000**, **ETA = –1000** bzw. **eta_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	$t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie:	bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
	bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und
	$t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19], [20]

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

Name in FluidMAT:	**h_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION HPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_HPTXBUTI(H,P,T,X)** REAL*8 H,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

HPTXBUTI, **H** bzw. **h_ptx_BUTI** - spezifische Enthalpie h in kJ/kg

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **HPTXBUTI = –1000**, **H = –1000** bzw. **h_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1) $t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie: bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und
$t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19]

Isentropenexponent κ = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**kappa_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION KAPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_KAPTXBUTI(KAP,P,T,X)** REAL*8 KAP,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

KAPTXBUTI, **KAP** bzw. **kappa_ptx_BUTI** – Isentropenexponent $\kappa = \frac{w^2}{p*v}$

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von t_t = –159.42 °C bis t_c = 134.66 °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis p_c = 36.29 bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **KAPTXBUTI**, **KAP = –1000** bzw. **kappa_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	$t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie:	bei p = –1000 und $t > t_c$ = 134.66 °C oder $t < t_t$ = –159.42 °C
	bei t = –1000 und $p > p_c$ = 36.29 bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei $p > p_c$ = 36.29 bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und
	$t > t_c$ = 134.66 °C oder $t < t_t$ = –159.42 °C

Literatur: [16], [19]

Wärmeleitfähigkeit λ = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**lambda_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION LAMPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_LAMPTXBUTI(LAM,P,T,X)** REAL*8 LAM,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

LAMPTXBUTI, **LAM** bzw. **lambda_ptx_BUTI** – Wärmeleitfähigkeit λ in W/m K

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **LAMPTXBUTI = –1000**, **LAM = –1000** bzw. **lambda_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1) $t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie: bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und
$t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19], [21]

Kinematische Viskosität ν = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**ny_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION NYPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_NYPTXBUTI(NY,P,T,X)** REAL*8 NY,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

NYPTXBUTI, **NY** bzw. **ny_ptx_BUTI** – Kinematische Viskosität $\nu = \eta * v$ in m^2/s

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C

Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **NYPTXBUTI = –1000**, **NY = –1000** bzw. **ny_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	$t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie:	bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
	bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und
	$t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19], [20]

Schmelzdruck $p_{mel} = f(t)$

Name in FluidMAT:	**pmel_t_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION PMELBUTI(T)** REAL*8 T
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_PMELBUTI(PMEL,T)** REAL*8 PMEL,P,T,X

Eingabewerte

T - Temperatur t in °C

Rückgabewert

PMELBUTI, **PMEL** bzw. **pmel_t_BUTI** – Schmelzdruck p_{mel} in bar

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_t = –159.42 °C bis –127.233 °C

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **PMELBUTI = –1000**, **PMEL = –1000** bzw. **pmel_t_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

$t < t_t$ = –159.42 °C oder t > –127.233 °C

Literatur: [16], [19]

Prandtl-Zahl Pr = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**Pr_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION PRPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_PRPTXBUTI(PR,P,T,X)** REAL*8 PR,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

PRPTXBUTI, **PR** bzw. **Pr_ptx_BUTI** – Prandtl-Zahl $Pr = \frac{\eta * c_p}{\lambda}$

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **PRPTXBUTI = –1000**, **PR = –1000** bzw. **Pr_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	$t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie:	bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
	bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und
	$t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19], [20], [21]

Dampfdruck $p_s = f(t)$

Name in FluidMAT:	**ps_t_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION PSTBUTI(T)** REAL*8 T
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_PSTBUTI(PS,T)** REAL*8 PS,T

Eingabewerte

T - Temperatur t in °C

Rückgabewert

PSTBUTI, **PS** bzw. **ps_t_BUTI** – Dampfdruck p_s in bar

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_t = –159.42 °C bis t_c = 134.66 °C

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **PSTBUTI = –1000**, **PS = –1000** bzw. **ps_t_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

$t < t_t$ = –159.42 °C oder $t > t_c$ = 134.66 °C

Literatur: [16], [19]

Dichte ρ = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**rho_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION ROPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_ROPTXBUTI(RHO,P,T,X)** REAL*8 RHO,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

RHO_PTX_BUTI, **RHO** bzw. **rho_ptx_BUTI** - Dichte ρ in kg/m^3

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **ROPTXBUTI = –1000**, **RHO = –1000** bzw. **rho_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	$t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie:	bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
	bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19]

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

Name in FluidMAT:	**s_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION SPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_SPTXBUTI(S,P,T,X)** REAL*8 S,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

SPTXBUTI, **S** bzw. **s_ptx_BUTI** - spezifische Entropie s in kJ/kg K

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C

Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **SPTXBUTI = –1000**, **S = –1000** bzw. **s_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1) $t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$

Siede- oder Taulinie: bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und
$t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19]

Umkehrfunktion: Temperatur t = f(p,h)

Name in FluidMAT:	**t_ph_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION TPHBUTI(P,H)** REAL*8 P,H
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_TPHBUTI(T,P,H)** REAL*8 T,P,H

Eingabewerte

P - Druck p in bar

H - Spezifische Enthalpie h in kJ/kg

Rückgabewert

TPHBUTI, **T** bzw. **t_ph_BUTI** – Temperatur t in °C

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

Erläuterung zur Berechnung von Nassdampf

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

Nassdampfgebiet: Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **T_PH_BUTI**, **T = –1000** bzw. **t_ph_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	bei Berechnungsergebnis $t > 301.85$ °C, $t < t_t = -159.42$ °C oder $t < t_{mel}(p)$
Siede- oder Taulinie:	bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei Berechnungsergebnis $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19]

Umkehrfunktion: Temperatur t = f(p,s)

Name in FluidMAT:	**t_ps_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION TPSBUTI(P,S)** REAL*8 P,S
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_TPSBUTI(T,P,S)** REAL*8 T,P,S

Eingabewerte

P - Druck p in bar

S - Spezifische Entropie s in kJ/kg K

Rückgabewert

TPSBUTI, **T** bzw. **t_ps_BUTI** – Temperatur t in °C

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

Erläuterung zur Berechnung von Nassdampf

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

Nassdampfgebiet: Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **T_PS_BUTI, T = –1000** bzw. **t_ps_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	bei Berechnungsergebnis $t > 301.85$ °C, $t < t_t = -159.42$ °C oder $t < t_{mel}(p)$
Siede- oder Taulinie:	bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei Berechnungsergebnis $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19]

Siedetemperatur $t_s = f(p)$

Name in FluidMAT:	**ts_p_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION TSPBUTI(P)** REAL*8 P
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_TSPBUTI(TS,P)** REAL*8 TS,P

Eingabewerte

P - Druck p in bar

Rückgabewert

TSPBUTI, **TS** bzw. **ts_p_BUTI** – Siedetemperatur t_s in °C

Gültigkeitsbereich

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **TSPBUTI = –1000**, **TS = –1000** bzw. **ts_p_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

$p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder $p > p_c = 36.29$ bar

Literatur: [16], [19]

Schmelztemperatur $t_{mel} = f(p)$

Name in FluidMAT:	**tmel_p_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION TMELBUTI(P)** REAL*8 P
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_TMELBUTI(TMEL,P)** REAL*8 TMEL,P

Eingabewerte

P - Druck p in bar

Rückgabewert

TMELBUTI, **TMEL** bzw. **tmel_p_BUTI** – Schmelztemperatur t_{mel} in °C

Gültigkeitsbereich

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **TMELBUTI = –1000**, **TMEL = –1000** bzw. **tmel_p_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

$p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder $p > p_c = 36.29$ bar

Literatur: [16], [19]

Spezifische innere Energie u = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**u_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION UPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_UPTXBUTI(H,P,T,X)** REAL*8 H,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

UPTXBUTI, **H** bzw. **u_ptx_BUTI** – spezifische innere Energie u in kJ/kg

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **UPTXBUTI = –1000**, **H = –1000** bzw. **u_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	$t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie:	bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
	bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19]

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

Name in FluidMAT:	**v_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION VPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_VPTXBUTI(V,P,T,X)** REAL*8 V,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

VPTXBUTI, **V** bzw. **v_ptx_BUTI** - spezifisches Volumen v in m^3/kg

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C
Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **VPTXBUTI = –1000**, **V = –1000** bzw. **v_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1) $t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie: bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und
$t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19]

Schallgeschwindigkeit w = f(p,t,x)

Name in FluidMAT:	**w_ptx_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION WPTXBUTI(P,T,X)** REAL*8 P,T,X
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_WPTXBUTI(W,P,T,X)** REAL*8 W,P,T,X

Eingabewerte

P - Druck p in bar

T - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

WPTXBUTI, **W** bzw. **w_ptx_BUTI** – Schallgeschwindigkeit w in m/s

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

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

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

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

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

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

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = -159.42$ °C bis $t_c = 134.66$ °C

Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **WPTXBUTI = –1000** bzw. **w_ptx_BUTI = –1000** für Eingabewerte:

Einphasengebiet:	$p > 350$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
(x = –1)	$t > 301.85$ °C oder $t < t_{mel}$
Siede- oder Taulinie:	bei $p = -1000$ und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C
	bei $t = -1000$ und $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar oder
	bei $p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar und $t > t_c = 134.66$ °C oder $t < t_t = -159.42$ °C

Literatur: [16], [19]

Umkehrfunktion: Dampfanteil x = f(p,h)

Name in FluidMAT:	**x_ph_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION XPHBUTI(P,H)** REAL*8 P,H
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_XPHBUTI(T,P,H)** REAL*8 X,P,H

Eingabewerte

P - Druck p in bar

H - Spezifische Enthalpie h in kJ/kg

Rückgabewert

XPHBUTI, **X** bzw. **x_ph_BUTI** – Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf/kg Nassdampf)

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

Erläuterung zur Berechnung von Nassdampf

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

Nassdampfgebiet: Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **X_PH_BUTI**, **X = –1** bzw. **x_ph_BUTI = –1** für Eingabewerte:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet liegt
$p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar

Literatur: [16], [19]

Umkehrfunktion: Dampfanteil x = f(p,s)

Name in FluidMAT:	**x_ps_BUTI**
Unterprogramm mit Funktionswert: für Aufruf aus Fortran	**REAL*8 FUNCTION XPSBUTI(P,S)** REAL*8 P,S
Unterprogramm mit Parameter: für Aufruf aus DLL	**INTEGER*4 FUNCTION C_XPSBUTI(X,P,S)** REAL*8 X,P,S

Eingabewerte

P - Druck p in bar

S - Spezifische Entropie s in kJ/kg K

Rückgabewert

XPSBUTI, **X** bzw. **x_ps_BUTI** – Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf/kg Nassdampf)

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

Erläuterung zur Berechnung von Nassdampf

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

Nassdampfgebiet: Druckbereich von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis $p_c = 36.29$ bar

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **X_PS_BUTI, X = –1** bzw. **x_ps_BUTI = –1** für Eingabewerte:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet liegt
$p > p_c = 36.29$ bar oder $p < p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar

Literatur: [16], [19]

4 Übersicht über Stoffwert-Bibliotheken

Das Fachgebiet Technische Thermodynamik der Hochschule Zittau/Görlitz (FH) bietet Stoffwert-Berechnungsbibliotheken als

- DLL-XLA-Bibliotheken für MS-Excel
- DLL-Bibliotheken für Mathcad
- DLL-Bibliotheken für weitere Windows-Anwendungen
- Quellmodule
- Stoffdaten-Auskunftsprogramme (elektronische Wasserdampftafel)

für folgende Arbeitsfluide an :

Wasser und Wasserdampf nach IAPWS-IF97

- Industrie-Standard IAPWS-IF97 , verbindlich seit September 1997 [1,2,3,4]
- Funktionen in Tabelle 4-1

Wasser und Wasserdampf nach IFC-67

- bis September 1997 verbindlicher Industrie-Standard IFC-67 [12]
- Funktionen analog zu IAPWS-IF97 (vgl. Tabelle 4-1)

Verbrennungsgasgemische als ideales Gasgemisch nach VDI-Richtlinie 4670

- Industrie-Standard VDI-Richtlinie 4670 [14]
- Funktionen in Tabelle 4-2

Verbrennungsgasgemische als reales Gemisch realer Fluide

- Funktionen in analog Tabelle 4-2

Feuchte Luft als ideales Gasgemisch nach VDI-Richtlinie 4670

- Industrie-Standard VDI-Richtlinie 4670 [14]
- Funktionen in Tabelle 4-3

Feuchte Luft als ideales Gemisch realer Fluide nach *Lemmon et al.* und IAPWS-IF97

- NIST-Standard nach *Lemmon et al.* [15] für trockene Luft und Industrie-Standard IAPWS-IF97 [1,2,3,4] für Wasser und Wasserdampf
- Funktionen in Tabelle 4-4 .

n-Butan

- Thermodynamische Eigenschaften nach Bücker [16]
- Viskosität nach Vogel, Küchenmeister und Bich [17]
- Wärmeleitfähigkeit nach Perkins, Ramires, Nieto de Castro und Cusco [18]
- Funktionen in Tabelle 4-5

Iso-Butan

- Thermodynamische Eigenschaften nach Bücker [16]
- Viskosität nach Vogel, Küchenmeister und Bich [20]
- Wärmeleitfähigkeit nach Perkins [21]
- Funktionen in Tabelle 4-6

Tabelle 4-1 Wasser und Wasserdampf nach IAPWS-IF97

Funktionsname	Stoffwert	Funktionale Abhängigkeit	Maßeinheit Ergebnis
a_ptx_97	Temperaturleitfähigkeit	a = f(p,t,x)	m^2/s
cp_ptx_97	Spezifische isobare Wärmekapazität	c_p = f(p,t,x)	kJ/kg · K
cv_ptx_97	Spezifische isochore Wärmekapazität	c_v = f(p,t,x)	kJ/kg · K
e_ptx_tu_97	Spezifische Exergie	e = f(p,t,x,t_U)	kJ/kg
eta_ptx_97	Dynamische Zähigkeit	η = f(p,t,x)	Pa · s = kg/m · s
h_ps_97	Umkehrfunktion: Enthalpie aus Druck und Entropie	h = f(p,s)	kJ/kg
h_ptx_97	Spezifische Enthalpie	h = f(p,t,x)	kJ/kg
kappa_ptx_97	Isentropenexponent	κ = f(p,t,x)	-
lambda_ptx_97	Wärmeleitfähigkeit	λ = f(p,t,x)	W/m · K
nue_ptx_97	Kinematische Viskosität	ν = f(p,t,x)	m^2/s
p_hs_97	Umkehrfunktion: Druck aus Enthalpie und Entropie	p = f(h,s)	bar
Pr_ptx_97	*Prandtl*-Zahl	Pr = f(p,t,x)	-
ps_t_97	Dampfdruck aus Temperatur	p_s = f(t)	bar
rho_ptx_97	Dichte	ρ = f(p,t,x)	kg/m^3
s_ph_97	Umkehrfunktion: Entropie aus Druck und Enthalpie	s = f(p,h)	kJ/kg · K
s_ptx_97	Spezifische Entropie	s = f(p,t,x)	kJ/kg · K
sigma_p_97	Oberflächenspannung aus Druck	σ = f(p)	mN/m = mPa · m
sigma_t_97	Oberflächenspannung aus Temperatur	σ = f(t)	mN/m = mPa · m
t_hs_97	Umkehrfunktion: Temperatur aus Enthalpie und Entropie	t = f(h,s)	°C
t_ph_97	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Enthalpie	t = f(p,h)	°C
t_ps_97	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie	t = f(p,s)	°C
ts_p_97	Siedetemperatur aus Druck	t_s = f(p)	°C
u_ptx_97	Spezifische innere Energie	u = f(p,t,x)	kJ/kg

Funktionsname	Stoffwert	Funktionale Abhängigkeit	Maßeinheit Ergebnis
v_ph_97	Umkehrfunktion: Spezifisches Volumen aus Druck und Enthalpie	v = f(p,h)	m^3/kg
v_ps_97	Umkehrfunktion: Spezifisches Volumen aus Druck und Entropie	v = f(p,s)	m^3/kg
v_ptx_97	Spezifisches Volumen	v = f(p,t,x)	m^3/kg
w_ptx_97	Isentrope Schallgeschwindigkeit	w = f(p,t,x)	m/s
x_hs_97	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Enthalpie und Entropie	x = f(h,s)	kg/kg
x_ph_97	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Enthalpie	x = f(p,h)	kg/kg
x_ps_97	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Entropie	x = f(p,s)	kg/kg

Maßeinheiten: t in °C
p in bar
x in kg gesättigter Dampf / kg Naßdampf

Gültigkeitsbereich der IF97

Temperaturbereich: t von 0 °C bis 800 °C
Druckbereich: p von 0,00611 bar bis 1000 bar
Hochtemperaturgebiet: t bis 2000 °C bei Drücken p bis 100 bar

Tabelle 4-2 Verbrennungsgasgemische nach VDI- Richtlinie 4670

Funktions-name	Stoffwert	Funktionale Abhängigkeit	Maßeinheit Ergebnis
a_pt_ig	Temperaturleitfähigkeit des Gemisches	$a = f(p,t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	m^2/s
cp_t_ig	Spezifische isobare Wärmekapazität des Gemisches	$c_p = f(t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	kJ/kg · K
cv_t_ig	Spezifische isochore Wärmekapazität des Gemisches	$c_v = f(t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	kJ/kg · K
eta_t_ig	Dynamische Zähigkeit des Gemisches	$\eta = f(t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	Pa · s = kg/m · s
h_t_ig	Spezifische Enthalpie des Gemisches	$h = f(t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	kJ/kg
kappa_t_ig	Isentropenexponent des Gemisches	$\kappa = f(t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	-
lambda_t_ig	Wärmeleitfähigkeit des Gemisches	$\lambda = f(t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	W/m · K
M_ig	Molare Masse des Gemisches	$M = f(\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	kg/kmol
nue_pt_ig	Kinematische Viskosität des Gemisches	$\nu = f(p,t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	m^2/s
p_ts_ig	Umkehrfunktion: Gesamtdruck aus Temperatur und Entropie des Gemisches	$p = f(t,s,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	bar
p_tv_ig	Umkehrfunktion: Gesamtdruck aus Temperatur und spezif. Volumen des Gemisches	$p = f(t,v,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	bar
Pr_pt_ig	*Prandtl*-Zahl des Gemisches	$Pr = f(p,t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	-
psi_igas_xsi_ig	Molanteil des Gemischgases i aus den Masseanteilen aller Gemischgase	$\psi_i = f(i,\xi_1...\xi_{10})$	kmol/kmol
R_ig	Spezifische Gaskonstante des Gemisches	$R = f(\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	kJ/kg · K
rho_pt_ig	Dichte des Gemisches	$\rho = f(p,t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	kg/m^3
s_pt_ig	Spezifische Entropie des Gemisches	$s = f(p,t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	kJ/kg · K
t_h_ig	Umkehrfunktion: Temperatur aus Enthalpie des Gemisches	$t = f(h,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	°C
t_ps_ig	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie des Gemisches	$t = f(p,s,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	°C
t_pv_ig	Umkehrfunktion: Temperatur aus Gesamtdruck und spezif. Volumen des Gemisches	$t = f(p,v,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	°C
u_t_ig	Spezifische innere Energie des Gemisches	$u = f(t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	kJ/kg
v_pt_ig	Spezifisches Volumen des Gemisches	$v = f(p,t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	m^3/kg
w_t_ig	Isentrope Schallgeschwindigkeit des Gemisches	$w = f(t,\xi_1...\xi_{10}$ oder $\psi_1...\psi_{10})$	m/s
xsi_igas_psi_ig	Masseanteil des Gemischgases i aus den Molanteilen aller Gemischgase	$\xi_i = f(i,\psi_1...\psi_{10})$	kg/kg

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_2O
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: 98,775 % N_2, 0,040 % CO_2, 1,677 % Ar, 0,002 % Ne

Maßeinheiten:

Formelzeichen	Bezeichnung	Maßeinheit
t	Temperatur	°C
p	Gesamtdruck	bar
ξ_1 ... ξ_{10}	Masseanteile der Gemischgase	kg/kg
ψ_1... ψ_{10}	Molanteile bzw. Volumenanteile der Gemischgase	kmol/kmol
art	Eingabeparameter: art = 1 für Eingabe der Zusammensetzung in Masseanteilen ξ_1, ... ξ_{10} art = 0 für Eingabe der Zusammensetzung in Molanteilen ψ_1, ... ψ_{10}	
zu1 ... zu10 für art =1	Zusammensetzung als Masseanteile ξ_1... ξ_{10}	kg/kg
zu1 ... zu10 für art =0	Zusammensetzung als Molanteile ψ_1 ... ψ_{10}	kmol/kmol

Gültigkeitsbereich der Programme:

Temperaturbereich:	t = - 73,15 °C ... 2226,85 °C
Druck:	p = 0,01 mbar ... 50 bar
Spezifisches Volumen:	v = 5,1 m^3/kg ... 2,9 10^9 m^3/kg
Spezifische Enthalpie:	h = - 136 kJ/kg ... 5550 kJ/kg
Spezifische Entropie:	s = 2,8 KJ/kg K ... 20,7 KJ/kg K

Tabelle 4-3 Feuchte Luft nach der VDI- Richtlinie 4670

Funktionsname	Stoffwert	Funktionale Abhängigkeit	Maßeinheit Ergebnis
a_ptxw_FLT	Temperaturleitfähigkeit	$a = f(p, t, x_w)$	m^2/s
cp_ptxw_FLT	Spezifische isobare Wärmekapazität	$c_p = f(p, t, x_w)$	$kJ/(kg \cdot K)$
Eta_ptxw_FLT	Dynamische Zähigkeit	$\eta = f(p, t, x_w)$	$Pa \cdot s$
hl_ptxw_FLT	Luftmasse-spezifische Enthalpie	$h_l = f(p, t, x_w)$	kJ/kg
Lambda_ptxw_FLT	Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(p, t, x_w)$	$W/(m \cdot K)$
Ny_ptxw_FLT	Kinematische Viskosität	$\nu = f(p, t, x_w)$	m^2/s
pd_ptxw_FLT	Wasserdampfpartialdruck	$p_d = f(p, t, x_w)$	bar
pds_pt_FLT	Sättigungsdampfdruck von Wasser	$p_{ds} = f(p, t)$	bar
Phi_ptxw_FLT	Relative Feuchte	$\varphi = f(p, t, x_w)$	%
pl_ptxw_FLT	Luftpartialdruck	$p_l = f(p, t, x_w)$	bar
Pr_ptxw_FLT	PRANDTL-Zahl	$Pr = f(p, t, x_w)$	-
Psil_xw_FLT	Molanteil - Luft	$\psi_l = f(x_w)$	kmol/kmol
Psiw_xw_FLT	Molanteil - Wasser	$\psi_w = f(x_w)$	kmol/kmol
Rho_ptxw_FLT	Dichte	$\rho = f(p, t, x_w)$	kg/m^3
sl_ptxw_FLT	Luftmasse-spezifische Entropie	$s_l = f(p, t, x_w)$	$kJ/(kg \cdot K)$
t_phlxw_FLT	Umkehrfunktion: Temperatur aus Luftmasse-spezifischer Enthalpie und Wassergehalt	$t = f(p, h_l, x_w)$	°C
t_pslxw_FLT	Umkehrfunktion: Temperatur aus Luftmasse-spezifischer Entropie und Wassergehalt	$t = f(p, s_l, x_w)$	°C
tf_ptxw_FLT	Feuchtkugeltemperatur	$t_f = f(p, t, x_w)$	°C
tTau_ptxw_FLT	Taupunkttemperatur	$t_\tau = f(p, t, x_w)$	°C
ul_ptxw_FLT	Luftmasse-spezifische innere Energie	$u_l = f(p, t, x_w)$	kJ/kg
vl_ptxw_FLT	Luftmasse-spezifisches Volumen	$v_l = f(p, t, x_w)$	m^3/kg
Xil_xw_FLT	Masseanteil – Luft	$\xi_l = f(x_w)$	kg/kg
Xiw_xw_FLT	Masseanteil – Wasser	$\xi_w = f(x_w)$	kg/kg

Funktionsname	Stoffwert	Funktionale Abhängigkeit	Maßeinheit Ergebnis
xw_ptPhi_FLT	Wassergehalt aus Temperatur und relativer Feuchte	$x_w = f(p, t, \varphi)$	g/kg
xw_ptpd_FLT	Wassergehalt aus Wasserdampfpartialdruck	$x_w = f(p, t, p_d)$	g/kg
xw_ptTau_FLT	Wassergehalt aus Taupunkttemperatur	$x_w = f(p, t_\tau)$	g/kg
xw_pttf_FLT	Wassergehalt aus Temperatur und Feuchtkugeltemperatur	$x_w = f(p, t, t_f)$	g/kg
xw_ptvl_FLT	Umkehrfunktion: Wassergehalt aus Temperatur und Luftmasse-spezifischem Volumen	$x_w = f(p, t, v_l)$	g/kg
xws_pt_FLT	Sättigungswassergehalt	$x_{ws} = f(p, t)$	g/kg

Zusammensetzung der trockenen Luft (nach VDI 4670 [14]):

Stoff		Molanteile
Stickstoff	N_2	0,781109
Sauerstoff	O_2	0,209548
Argon	Ar	0,009343

Parameter

p - Gesamtdruck (Luftdruck) in bar

t - Temperatur in °C

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

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

Gültigkeitsbereich

Temperatur t = - 30 °C ... 1726,85 °C

Gesamtdruck p = 0,006112 bar ... 20 (50) bar

<u>Tabelle 4-4</u> Feuchte Luft als reales Gemisch nach *Lemmon et al.* und IAPWS-IF97

Funktionsname	Stoffwert	Funktionale Abhängigkeit	Maßeinheit Ergebnis
a_ptxw_FLR	Temperaturleitfähigkeit	$a = f(p, t, x_w)$	m^2/s
cp_ptxw_FLR	Spezifische isobare Wärmekapazität	$c_p = f(p, t, x_w)$	$kJ/(kg \cdot K)$
Eta_ptxw_FLR	Dynamische Zähigkeit	$\eta = f(p, t, x_w)$	$Pa \cdot s$
hl_ptxw_FLR	Luftmasse-spezifische Enthalpie	$h_l = f(p, t, x_w)$	kJ/kg_{Luft}
Lambda_ptxw_FLR	Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(p, t, x_w)$	$W/(m \cdot K)$
Ny_ptxw_FLR	Kinematische Viskosität	$\nu = f(p, t, x_w)$	m^2/s
pd_ptxw_FLR	Wasserdampfpartialdruck	$p_d = f(p, t, x_w)$	bar
pds_pt_FLR	Sättigungsdampfdruck von Wasser	$p_{ds} = f(p, t)$	bar
Phi_ptxw_FLR	Relative Feuchte	$\varphi = f(p, t, x_w)$	%
pl_ptxw_FLR	Luftpartialdruck	$p_l = f(p, t, x_w)$	bar
Pr_ptxw_FLR	PRANDTL-Zahl	$Pr = f(p, t, x_w)$	-
Psil_xw_FLR	Molanteil - Luft	$\psi_l = f(x_w)$	kmol/kmol
Psiw_xw_FLR	Molanteil - Wasser	$\psi_w = f(x_w)$	kmol/kmol
Rho_ptxw_FLR	Dichte	$\rho = f(p, t, x_w)$	kg/m^3
sl_ptxw_FLR	Luftmasse-spezifische Entropie	$s_l = f(p, t, x_w)$	$kJ/(kg_{Luft}\ K)$
t_phlxw_FLR	Umkehrfunktion: Temperatur aus Luftmasse-spezifischer Enthalpie und Wassergehalt	$t = f(p, h_l, x_w)$	°C
t_pslxw_FLR	Umkehrfunktion: Temperatur aus Luftmasse-spezifischer Entropie und Wassergehalt	$t = f(p, s_l, x_w)$	°C
tf_ptxw_FLR	Feuchtkugeltemperatur	$t_f = f(p, t, x_w)$	°C
tTau_pxw_FLR	Taupunkttemperatur	$t_\tau = f(p, x_w)$	°C
ul_ptxw_FLR	Luftmasse-spezifische innere Energie	$u_l = f(p, t, x_w)$	kJ/kg_{Luft}
vl_ptxw_FLR	Luftmasse-spezifisches Volumen	$v_l = f(p, t, x_w)$	m^3/kg_{Luft}
Xil_xw_FLR	Masseanteil – Luft	$\xi_l = f(x_w)$	kg/kg
Xiw_xw_FLR	Masseanteil – Wasser	$\xi_w = f(x_w)$	kg/kg
xw_ptPhi_FLR	Wassergehalt aus Temperatur und relativer Feuchte	$x_w = f(p, t, \varphi)$	g/kg_{Luft}
xw_ptpd_FLR	Wassergehalt aus Wasserdampfpartialdruck	$x_w = f(p, t, p_d)$	g/kg_{Luft}

Funktionsname	Stoffwert	Funktionale Abhängigkeit	Maßeinheit Ergebnis
xw_ptTau_FLR	Wassergehalt aus Taupunkttemperatur	$x_w = f(p, t_\tau)$	g/kg_{Luft}
xw_pttf_FLR	Wassergehalt aus Temperatur und Feuchtkugeltemperatur	$x_w = f(p, t, t_f)$	g/kg_{Luft}
xw_ptvl_FLR	Umkehrfunktion: Wassergehalt aus Temperatur und Luftmasse-spezifischem Volumen	$x_w = f(p, t, v_l)$	g/kg_{Luft}
xws_pt_FLR	Sättigungswassergehalt	$x_{ws} = f(p, t)$	g/kg_{Luft}

Zusammensetzung der trockenen Luft (nach *Lemmon* et al. [16], [17]) :

Stoff		Molanteil
Stickstoff	N_2	0,7812
Sauerstoff	O_2	0,2096
Argon	Ar	0,0092

Parameter

p - Gesamtdruck in bar

t - Temperatur in °C

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

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

Gültigkeitsbereich

Temperatur t = - 30 °C ... 1726,85 °C

Gesamtdruck p = 6,112 mbar ... 165,29 bar

Tabelle 4-5 n-Butan nach Bücker

Funktionsname	Stoffwert	Funktionale Abhängigkeit	Maßeinheit Ergebnis
a_ptx_BUTN	Temperaturleitfähigkeit	a = f(p,t,x)	m^2/s
cp_ptx_BUTN	Spezifische isobare Wärmekapazität	c_p = f(p,t,x)	kJ/(kg K)
eta_ptx_BUTN	Dynamische Zähigkeit	η = f(p,t,x)	Pa s
h_ptx_BUTN	Spezifische Enthalpie	h = f(p,t,x)	kJ/kg
kappa_ptx_BUTN	Isentropenexponent	κ = f(p,t,x)	-
lambda_ptx_BUTN	Wärmeleitfähigkeit	λ = f(p,t,x)	W/(m K)
ny_ptx_BUTN	Kinematische Viskosität	ν = f(p,t,x)	m^2/s
ps_t_BUTN	Dampfdruck aus Temperatur	p_s = f(t)	bar
pmel_t_BUTN	Schmelzdruck aus Temperatur	p_{mel} = f(t)	bar
Pr_ptx_BUTN	*Prandtl*-Zahl	Pr = f(p,t,x)	-
rho_ptx_BUTN	Dichte	ρ = f(p,t,x)	kg/m^3
s_ptx_BUTN	Spezifische Entropie	s = f(p,t,x)	kJ/(kg K)
t_ph_BUTN	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Enthalpie	t = f(p,h)	°C
t_ps_BUTN	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie	t = f(p,s)	°C
ts_p_BUTN	Siedetemperatur aus Druck	t_s = f(p)	°C
tmel_p_BUTN	Schmelztemperatur aus Druck	t_{mel} = f(p)	°C
u_ptx_BUTN	Spezifische innere Energie	u = f(p,t,x)	kJ/kg
v_ptx_BUTN	Spezifisches Volumen	v = f(p,t,x)	m^3/kg
w_ptx_BUTN	Schallgeschwindigkeit	w = f(p,t,x)	m/s
x_ph_BUTN	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Enthalpie	x = f(p,h)	kg/kg
x_ps_BUTN	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Entropie	x = f(p,s)	kg/kg

Parameter

p - Druck in bar
t - Temperatur in °C
x - Dampfanteil kg trockengesättigter Dampf / kg Nassdampf

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 6.53 \times 10^{-6}$ bar bis 690 bar

Tabelle 4-6 Iso-Butan nach Bücker

Funktionsname	Stoffwert	Funktionale Abhängigkeit	Maßeinheit Ergebnis
a_ptx_BUTI	Temperaturleitfähigkeit	a = f(p,t,x)	m^2/s
cp_ptx_BUTI	Spezifische isobare Wärmekapazität	c_p = f(p,t,x)	kJ/(kg K)
eta_ptx_BUTI	Dynamische Zähigkeit	η = f(p,t,x)	Pa s
h_ptx_BUTI	Spezifische Enthalpie	h = f(p,t,x)	kJ/kg
kappa_ptx_BUTI	Isentropenexponent	κ = f(p,t,x)	-
lambda_ptx_BUTI	Wärmeleitfähigkeit	λ = f(p,t,x)	W/(m K)
ny_ptx_BUTI	Kinematische Viskosität	ν = f(p,t,x)	m^2/s
ps_t_BUTI	Dampfdruck aus Temperatur	p_s = f(t)	bar
pmel_t_BUTI	Schmelzdruck aus Temperatur	p_{mel} = f(t)	bar
Pr_ptx_BUTI	*Prandtl*-Zahl	Pr = f(p,t,x)	-
rho_ptx_BUTI	Dichte	ρ = f(p,t,x)	kg/m^3
s_ptx_BUTI	Spezifische Entropie	s = f(p,t,x)	kJ/(kg K)
t_ph_BUTI	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Enthalpie	t = f(p,h)	°C
t_ps_BUTI	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie	t = f(p,s)	°C
ts_p_BUTI	Siedetemperatur aus Druck	t_s = f(p)	°C
tmel_p_BUTI	Schmelztemperatur aus Druck	t_{mel} = f(p)	°C
u_ptx_BUTI	Spezifische innere Energie	u = f(p,t,x)	kJ/kg
v_ptx_BUTI	Spezifisches Volumen	v = f(p,t,x)	m^3/kg
w_ptx_BUTI	Schallgeschwindigkeit	w = f(p,t,x)	m/s
x_ph_BUTI	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Enthalpie	x = f(p,h)	kg/kg
x_ps_BUTI	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Entropie	x = f(p,s)	kg/kg

Parameter

p - Druck in bar
t - Temperatur in °C
x - Dampfanteil kg trockengesättigter Dampf / kg Nassdampf

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von t_{mel} bis 301.85 °C

Druckbereich: von $p_t = 2.19 \times 10^{-7}$ bar bis 350 bar

5 Literaturverzeichnis

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

[2] Wagner, W.; Kruse, A.:
Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf.
Springer-Verlag, Berlin (1998)

[3] Wagner, W.; Cooper, J.R.; Dittmann, A.; Kijima, J.; Kretzschmar, H.-J.; Kruse, A.; Mareš, R.; Oguchi, K.; Sato, H.; Stöcker, I.; Šifner, O.; Takaishi, Y.; Tanishita, I.; Trübenbach, J.; Willkommen, Th.:
The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam.
ASME Journal of Eng. for Gas Turbines and Power 122 (2000) Nr. 1, S. 150-182

[4] Kretzschmar, H.-J.; Stöcker, I.; Klinger, J.; Dittmann, A.:
Calculation of Thermodynamic Derivatives for Water and Steam Using the New Industrial Formulation IAPWS-IF97.
in: Steam, Water and Hydrothermal Systems: Physics and Chemistry Meeting the Needs of Industry, Proceedings of the 13th International Conference on the Properties of Water and Steam, Eds. P.G. Hill et al., NRC Press, Ottawa, 2000

[5] Kretzschmar, H.-J.:
Mollier h,s-Diagramm.
Springer-Verlag, Berlin (1998)

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

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

[8] IAPWS Release on Surface Tension of Ordinary Water Substance 1994.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1994)

[9] Kretzschmar, H.-J.; Stöcker, I.; Willkommen, Th.; Trübenbach, J.; Dittmann, A.:
Supplementary Equations $v(p,T)$ for the Critical Region to the New Industrial Formulation IAPWS-IF97 for Water and Steam.
in: Steam, Water and Hydrothermal Systems: Physics and Chemistry Meeting the Needs of Industry, Proceedings of the 13th International Conference on the Properties of Water and Steam, Eds. P.G. Hill et al., NRC Press, Ottawa, 2000

[10] Kretzschmar, H.-J.; Cooper, J.R.; Dittmann, A.; Friend, D.G.; Gallagher, J.; Knobloch, K.; Mareš, R.; Miyagawa, K.; Stöcker, I.; Trübenbach, J.; Willkommen, Th.:
Supplementary Backward Equations for Pressure as a Function of Enthalpy and Entropy p(h,s) to the Industrial Formulation IAPWS-IF97 for Water and Steam.
ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power - in Vorbereitung

[11] Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1995)

[12] Grigull, U.:
Properties of Water and Steam in SI Units.
Springer-Verlag, Berlin (1989)

[13] Kretzschmar, H.-J.:
Zur Aufbereitung und Darbietung thermophysikalischer Stoffdaten für die Energietechnik.
Habilitation, TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen (1990)

[14] VDI Richtlinie 4670
Thermodynamische Stoffwerte von feuchter Luft und Verbrennungsgasen.
VDI-Handbuch Energietechnik (2000)

[15] Lemmon, E. W.; Jacobsen, R. T; Penoncello, S. G.; Friend, D. G.:
Thermodynamic Properties of Air and Mixtures of Nitrogen, Argon and Oxygen from 60 to 2000 K at Pressures to 2000 MPa.
Journal of Physical Chemical Reference Data 29 (2000) Nr. 3, S. 331-385

[16] Bücker, D.:
Neue Fundamentalgleichungen als Referenz für die thermodynamischen Zustandsgrößen von Ethan, n-Butan und Isobutan
Fortschritt-Berichte VDI Reihe 6 Energietechnik, Nr. 499, Düsseldorf (2003)

[17] Vogel, E.; Küchenmeister, C.; Bich, E.:
Viscosity correlation for n-butane in the fluid region
High Temp. - High Pressures, 31,(1999) Nr.2, S. 173-186

[18] Perkins, R. A.; Ramires, M. L. V.; Nieto de Castro, C. A.; Cusco, L.:
Measurement and Correlation of the Thermal Conductivity of Butane from 135 K to 600 K at Pressures to 70 Mpa
J. Chem. Eng. Data, 47, (2002) Nr. 5, S. 1263-1271

[19] Krause, R.:
Diplomarbeit: Berechnung der thermodynamischen Stoffeigenschaften von Propan, Iso-Butan und n-Butan in energietechnischen Prozessmodellierungen
Hochschule Zittau/Görlitz, 2005

[20] Vogel, E.; Küchenmeister, C.; Bich, E.:
Viscosity Correlation for Isobutane over Wide Ranges of the Fluid Region
International Journal of Thermophysics, 21,(2000) Nr.2, S. 343-356

[21] Perkins, R. A.:
Measurement and Correlation of the Thermal Conductivity of Isobutane from 114 K to 600 K at Pressures to 70 Mpa
J. Chem. Eng. Data, 47, (2002) Nr. 5, S. 1272-1279

6 Referenzliste

Stand: März 2004

Folgende Unternehmen und Institutionen nutzen die DLL-XLA-Stoffwertbibliotheken und/oder das Stoffdaten-Dialogprogramm:

TU Cottbus	Mai 1998, Juli 1999
CADIS Informationssysteme, Stuttgart (Generallizenz für Programm KPRO)	Mai 1998
M&M Turbinentechnik, Bielefeld	Juni 1998, Januar 2000, Januar 2001, September 2001
B+H Ingenieursoftware, Stuttgart	August 1998
VEAG, Berlin (Konzern-Lizenzen)	September 1998, März 2000, Dezember 2001, Dezember 2002
RWE Energie, Neurath	Oktober 1998
FH Wilhelmshaven	Oktober 1998
BASF Ludwigshafen (Konzern-Lizenz)	November 1998
Energieversorgung Offenbach	November 1998
Bayernwerk München	Januar 1999
DREWAG Dresden (Unternehmenslizenz)	Februar 1999, Mai 2002
KEMA IEV Dresden	März 1999
FH Regensburg	April 1999
Fichtner Energieconsult, Stuttgart (Unternehmenslizenz)	Juni 1999
TU Graz, Institut für Wärmetechnik	November 1999
Ingenieurbüro Ostendorf, Gummersbach	Dezember 1999, Mai 2003
SOFBID Zwingenberg (Generallizenz für Programm EBSILON)	Januar 2000, Juni 2002, Mai 2003
AG KKK - PGW Turbo, Leipzig	Januar 2000
PREUSSAG NOELL, Würzburg	Januar 2000, März 2001
IBR Ingenieurbüro Reis, Nittendorf-Undorf	Februar 2000
KRUPP-UHDE, Dortmund (Unternehmenslizenz)	März 2000
UMAG W. UDE, Husum	März 2000
Ingenieurbüro Thinius, Erkrath	April 2000
SaarEnergie, Saarbrücken	Mai 2000, August 2000, Mai 2001, November 2003
DVO Datenverarbeitungs-Service, Oberhausen	Mai 2000
FH Aachen	Juni 2000

VAUP Prozessautomation, Landau	August 2000
Knürr-Lommatec, Lommatzsch	September 2000
AVACON AG, Helmstedt	Oktober 2000
Compania Electrica, Bogota, Columbien	Oktober 2000
G.U.N.T. Gerätebau, Barsbüttel (Generallizenz Lehrversuchstände)	November 2000, Dezember 2002
Steinhaus Informationssysteme, Datteln (Generallizenz für Prozessdatensoftware)	Dezember 2000
ALSTOM Power, Baden, Schweiz (Konzernlizenzen)	Januar 2001, Juni 2001 Dezember 2001, Mai 2002 Januar 2003, Juli 2003
KW2 B. V., Amersfoot, Niederlande	Januar 2001, November 2001
Eco Design, Saitamaken, Japan	Januar 2001
MVV Energie, Mannheim	Februar 2001
TU Dresden, Institut für Energiemaschinen und Maschinenlabor	Februar 2001
Münstermann GmbH, Telgte-Westbevern	Mai 2001, Juni 2003
Siemens AG, I&S IS, Karlsruhe (Generallizenz für Informationssystem WinIS)	August 2001, Februar 2002
Neusiedler AG, Ulmerfeld, Österreich	September 2001
h s energieanlagen, Freising	September 2001
Electrowatt-EKONO, Zürich, Schweiz	September 2001, September 2003
IPM, Zittau (Generallizenz)	Oktober 2001
eta Energieberatung, Pfaffenhofen	November 2001, August, 2003
Hamilton Medical AG, Rhäzüns, Schweiz	Januar 2002
Fachhochschule Bochum, Institut für Thermo- und Fluiddynamik	Januar 2002
SAAS, Possendorf/Dresden	Februar 2002
FZR Forschungszentrum Rossendorf/Dresden	März 2002, September 2003
CompAir, Simmern	März 2002
GKS Gemeinschaftskraftwerk, Schweinfurt	April 2002
InfraServ, Gendorf	Mai 2002
SoftSolutions, Mühlhausen (Unternehmenslizenz)	Mai 2002
Ingenieurbüro Kleemann, Dresden	Juni 2002

Caliqua AG, Basel (Unternehmenslizenz)	Juli 2002
PCK Raffinerie, Schwedt (Konzernlizenz)	Juli 2002
Ingenieurbüro Fischer-Uhrig, Berlin	August 2002
Stadtwerke Duisburg	August 2002
Stadtwerke Hannover	September 2002, November 2003
Siemens AG, Power Generation, Görlitz	Oktober 2002
Energieversorgung Halle (Unternehmenslizenz)	Oktober 2002, Dezember 2003
Bayer AG, Leverkusen	November 2002
Dillinger Hütte, Dillingen	November 2002
Papierfabrik Utzenstorf AG, Schweiz	Januar 2003
MAB Anlagenbau, Wien, Österreich	Januar 2003
Wulff Energiesysteme, Husum	Januar 2003
Technip Benelux BV, Zoetermeer, Niederlande	Januar 2003
VER Dresden	Februar 2003
Rietschle Energieplaner, Winterthur, Schweiz	Februar 2003
DLR Leupholdhausen	April 2003
FH Emden, Fachbereich Technik	Mai 2003
Petterssson+Ahrends, Ober-Mörlen	Mai 2003
TÜV Nord, Hamburg	Juni 2003, Januar 2004
Universität Cali, Kolumbien	Juli 2003
Atlas-Stord, Rodovre, Dänemark	August 2003
ENERKO, Aldenhoven	August 2003
Steag RKB, Leuna	August 2003
exergie, Dresden	September 2003
AWTEC, Zürich	September 2003
Energie AG, Timelkam, Österreich	September 2003
LG, Annaberg-Buchholz	Oktober 2003
EnviCon & Plant Engineering, Nürnberg	November 2003
Visteon, Kerpen	November 2003, März 2004
VEO Vulkan Energiewirtschaft Oderbrücke Eisenhüttenstadt	November 2003
Fraunhofer Gesellschaft, München	Dezember 2003
FH Erfurt, FB Versorgungstechnik, Erfurt	Dezember 2003

SorTech, Freiburg	Dezember 2003
Mainova AG, Frankfurt	Dezember 2003
Vattenfall Europe (Konzernlizenz)	Januar 2004
Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik	Februar 2004
MAN B&W Dieses A/S, Copenhagen	Februar 2004
Siemens AG, Power Generation, Erlangen	Februar 2004
Fachhochschule Ulm	März 2004.