



Fachbereich
MASCHINENWESEN

Fachgebiet
TECHNISCHE THERMODYNAMIK

**Stoffwertprogramm-bibliothek
für Wasser und Wasserdampf
nach IAPWS-IF97**

**FluidTI
für TI 89, TI 92
und voyage 200**

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar
Dr.-Ing. I. Stöcker
Dr.-Ing. D. Seibt
Dipl.-Ing. (FH) L. Kleemann

Stoffwertprogramme für Wasser und Wasserdampf

FluidTI

Inhalt

1. Berechnungsprogramme für Wasser und Wasserdampf
2. Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliothek
3. Nutzung von FluidTI für die Berechnung Wasser und Wasserdampf
 - 3.1 Installation auf dem TI 89, TI 92, TI 92Plus und TI Voyage 200
 - 3.2 Beispiel: Berechnung von $h = f(p, t, x)$
 - 3.3 De-Installation
4. Programmdokumentation für Wasser und Wasserdampf
5. 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

1. Berechnungsprogramme für Wasser und Wasserdampf

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidTI	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit Funktionswert
$p_s = f(t)$	ps_t_97	Dampfdruck aus Temperatur	MPa
$t_s = f(p)$	ts_p_97	Siedetemperatur aus Druck	°C
$v = f(p, t, x)$	v_ptx_97	Spezifisches Volumen	m ³ /kg
$h = f(p, t, x)$	h_ptx_97	Spezifische Enthalpie	kJ/kg
$s = f(p, t, x)$	s_ptx_97	Spezifische Entropie	kJ/(kg·K)
$c_p = f(p, t, x)$	cp_ptx_97	Spezifische isobare Wärmekapazität	kJ/(kg·K)
$\lambda = f(p, t, x)$	λ_ptx_97	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
$\eta = f(p, t, x)$	eta_ptx_97	Dynamische Zähigkeit	Pa · s = kg/(m·s)
$t = f(p, h)$	t_ph_97	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Enthalpie	°C
$x = f(p, h)$	x_ph_97	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Enthalpie	kg/kg
$t = f(p, s)$	t_ps_97	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie	°C
$x = f(p, s)$	x_ps_97	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Entropie	kg/kg

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

Gültigkeitsbereich: Bereiche 1, 2 und 3 der IF97 einschl. Nassdampf (vgl. Bild 1)

Temperaturbereich: von 0 °C ... 800 °C

Druckbereich: von 0,000611 MPa ... 100 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 keine Eingabe oder der Wert x = - 1 einzugeben. Die Umkehrfunktionen liefern in diesem Fall 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 keinen Wert für p (oder p = - 1) oder den gegebenen Wert für p und keinen Wert für t (oder 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, erscheint eine Fehlermeldung.

Nassdampfgebiet: Temperaturbereich von $t_t = 0$ °C bis $t_c = 373.946$ °C

Druckbereich von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

2. Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliothek

Die Internationale Organisation für die Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf IAPWS hat im September 1997 die neue Industrie-Formulation IAPWS-IF97, 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.

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" .

Der Gültigkeitsbereich der IF97 erstreckt sich von 0 bis 800 °C bei Drücken von 0.000611 bis 100 MPa und bis 2000 °C bei Drücken bis 50 MPa.

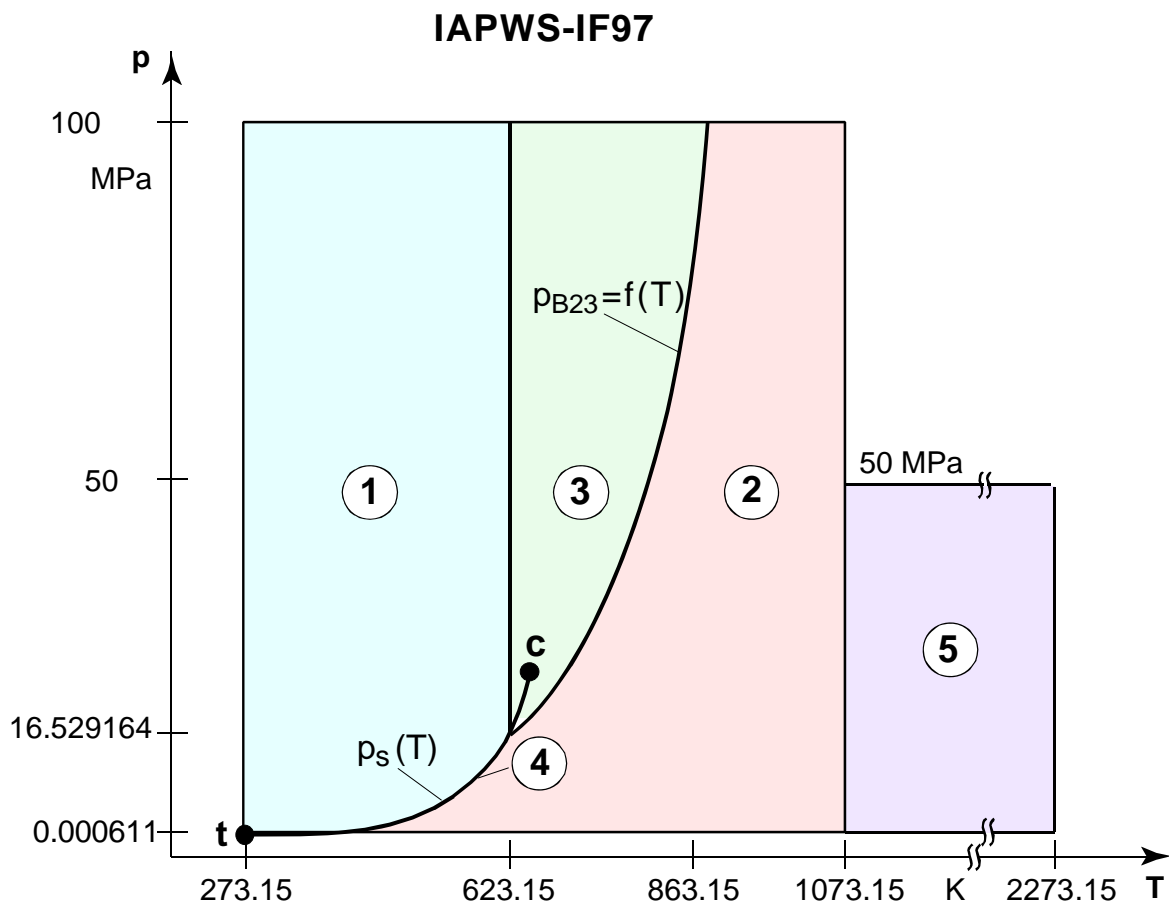


Bild 1 Gesamter Gültigkeitsbereich und Berechnungsbereiche der IF97

Der gesamte Gültigkeitsbereich ist in die Berechnungsbereiche 1 bis 5 unterteilt, in denen die jeweiligen Zustandsgleichungen gelten (vgl. Bild 1). Diese sind im offiziellen Release der IAPWS [1] über die IF97 sowie in [2] und [3] detailliert beschrieben.

Das Programm FluidTI in der Vollversion kann nicht im gesamten Gültigkeitsbereich verwendet werden. Es sind die Bereiche 1, 2, 3 sowie das Nassdampfgebiet bis 22.064 MPa verfügbar (vgl. Bild 1). Die Zuweisung zu den Berechnungsgleichungen für die einzelnen Bereiche erfolgt intern anhand der gegebenen Größen.

3. Nutzung von FluidTI für die Berechnung Wasser und Wasserdampf

3.1 Installation von FluidTI auf dem TI 89, TI 92, TI 92Plus und TI Voyage 200

Das Programm FluidTI wird mit Hilfe eines Link-Programms und dem dazugehörigen Link-Kabel auf den Taschenrechner kopiert.

Die benötigte Software erhält man beim Kauf eines TI-Rechners oder aus dem Internet unter der Adresse <http://www.ti.com/calc/docs/link.htm>. Das erforderliche Link-Kabel kann als Zubehör zum Beispiel bei der Böttcher Datentechnik GmbH <http://www.boettcher-datentechnik.de/> angefordert werden.

Die nachfolgende Beschreibung bezieht sich speziell auf die Link-Programme

TI-Graph-Link® und TI-Connect®,

wobei das jeweilige Programm bereits installiert sein muss. Bei anderen Link-Programmen müssen die Schritte für die Datenübertragung der zugehörigen Anleitung bzw. Online-Hilfe entnommen werden.

1. Legen Sie die CD FluidTI in das CD-Laufwerk des PCs ein. Sie enthält die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Gruppendateien:

TI-Modell	TI 89	TI 92	TI 92 mit Speichererweiterung	TI 92Plus,	TI Voyage 200
Datei	IF97_89.89g	IF97_92.92g	IF97_92E.92g	IF97_92P.9xg	IF97_voyage_200.9xg

2. Der TI-Rechner muss für die Installation und Abarbeitung des Programms FluidTI auf die Sprache Englisch eingestellt sein. Ist dies nicht der Fall, muss die Umstellung der Sprache wie folgt vorgenommen werden:

- Drücken der Taste <MODE>
- Drücken der Taste <F3>
Neben "Language" erscheint die derzeit eingestellte Sprache.
- Öffnen des Menüs "Language" durch nach rechts Drücken des <Cursorblocks>
Es erscheinen alle auf dem TI verfügbaren Sprachen.
- Auswahl der Sprache "English" mit Hilfe des <Cursorblocks>
- Bestätigung der gewählten Sprache mit <ENTER>
- Nochmalige Bestätigung der vorgenommenen Einstellung mit <ENTER>

3. Verbinden Sie den TI-Rechner mit dem PC, indem Sie das Link-Kabel an eine freie serielle Schnittstelle (zumeist COM2 oder USB) des PCs und den Klinkenstecker an den Taschenrechner anschließen.

Falls Sie das Link-Programm TI-Connect® für die Datenübertragung benutzen wollen, folgen Sie dem Abschnitt 5.

4. Datenübertragung mit TI-Graph-Link®

- a) Starten Sie das Programm TI-Graph-Link® auf dem PC.

Klicken Sie auf "Link" in der oberen Menüleiste und darin auf "Senden...".

Suchen Sie im Fenster "Laufwerke:" den Buchstaben Ihres CD-Laufwerkes und klicken ihn an.

Die zum TI-Modell gehörige Gruppdatei erscheint im Fenster "Dateiname:".

Beachten Sie dabei, dass bei dem Modell TI92 zwei Gruppdateien erscheinen.

Klicken Sie gemäß obiger Tabelle die zu Ihrem Modell gehörige Datei an und klicken Sie anschließend auf die Taste "Hinzufügen". Im Fenster "Gewählte Dateien:" wird die Gruppdatei einschl. Laufwerksbuchstaben angezeigt.

Markieren Sie das Kästchen "Ordner beibeha" in dem Sie es anklicken.

Klicken Sie danach auf die Taste "OK".

Damit beginnt die Datenübertragung vom PC zum Taschenrechner. Die kopierten Dateien werden angezeigt. Auf dem TI wird das Verzeichnis FLUIDTI angelegt und die zugehörigen Programmdateien der Gruppdatei hinein kopiert.

- b) Die Ausschrift "Beendet" auf dem PC-Bildschirm muss mit Anklicken der Taste "OK" bestätigt werden. Damit ist die Installation von FluidTI auf dem Taschenrechner abgeschlossen.

Falls das Kopieren nicht funktionierte, gibt es folgende Fehlermöglichkeiten:

- TI war beim Start von TI-Graph-Link® nicht angeschlossen bzw. nicht eingeschaltet
- Der Cursor des TI befand sich nicht in der Befehlszeile
- Es wurde ein falsches Kabel verwendet
- Die Stecker sind nicht richtig gesteckt
- Eine falsche Schnittstelle ist eingestellt (Menüpunkt "Link").

- c) Um das Programm zu starten, wechseln Sie in das Verzeichnis "fluidti", indem Sie <MODE> drücken und im Feld "Current Folder" durch nach rechts Drücken des Cursorblockes, den Eintrag "fluidti" auswählen und mit <ENTER> bestätigen. Im Feld "Current Folder" blinkt nun "fluidti".

Bestätigen Sie nochmals mit <ENTER>. In der linken unteren Bildschirmecke erscheint "FLUIDTI".

Geben Sie jetzt "water()" ein und bestätigen Sie mit <ENTER>.

Verfahren Sie weiter, wie im Abschnitt "3.2 Beispiel: ..." beschrieben.

5. Datenübertragung mit TI-Connect®

- a) Starten Sie das Programm TI-Connect® auf dem PC.

Klicken Sie auf "DeviceExplorer".

In bestimmten Fällen wird das Menü "TI Communication Settings" geöffnet.

Eingetragen sind darin der Name des TI-Rechners, der Kabelname und der für das Kabel verwendete Port. Überprüfen Sie die Richtigkeit und bestätigen Sie durch Anklicken der Taste "OK".

Im folgenden Fenster wird der Verzeichnisbaum mit Programmen des angeschlossenen TI-Rechners angezeigt.

Klicken Sie in der oberen Menüleiste auf "Tools" und darin auf "GroupExplorer". Suchen Sie im Hauptfenster den Buchstaben Ihres CD-Laufwerkes und klicken Sie auf das "+" neben der Laufwerksbezeichnung.

Es erscheinen die Gruppendateien unterhalb der Bezeichnung für das CD-Laufwerk.

Klicken Sie mit der linken Maustaste die zu Ihrem Modell gehörige Datei gemäß obiger Tabelle einmal an.

Klicken Sie anschließend mit der rechten Maustaste darauf, um das zugehörige Kontextmenü zu öffnen. Klicken Sie darin auf "Send To Device".

Es beginnt die Datenübertragung vom PC zum Taschenrechner. Die kopierten Dateien werden auf dem PC-Bildschirm angezeigt.

Auf dem TI-Rechner werden das Verzeichnis FLUIDTI angelegt und die zugehörigen Programmdateien der Gruppendatei hinein kopiert.

Die Installation von FluidTI auf dem TI-Rechner damit abgeschlossen.

b) Falls das Kopieren nicht funktionierte, gibt es folgende Fehlermöglichkeiten:

- TI war beim Start von TI-Connect® nicht angeschlossen bzw. nicht eingeschaltet
- Der Cursor des TI befand sich nicht in der Befehlszeile
- Es wurde ein falsches Kabel verwendet
- Die Stecker sind nicht richtig eingesteckt

c) Um das Programm zu starten, wechseln Sie in das Verzeichnis "fluidti", indem Sie <MODE> drücken und im Feld "Current Folder" durch nach rechts Drücken des Cursorblockes, den Eintrag "fluidti" auswählen und mit <ENTER> bestätigen. Im Feld "Current Folder" blinkt nun "fluidti".

Bestätigen Sie nochmals mit <ENTER>. In der linken unteren Bildschirmecke erscheint "FLUIDTI".

Geben Sie jetzt "water()" ein und bestätigen Sie mit <ENTER>.

Verfahren Sie weiter, wie im Abschnitt "3.2 Beispiel: ..." beschrieben.

3.2 Beispiel: Berechnung von $h = f(p, t, x)$

Berechnet werden soll die spezifische Enthalpie h aus gegebenem Druck p , gegebener Temperatur t und gegebenem Dampfanteil x für Wasser und Wasserdampf nach der neuen Industrie-Formulation IAPWS-IF97 [1,2,3].

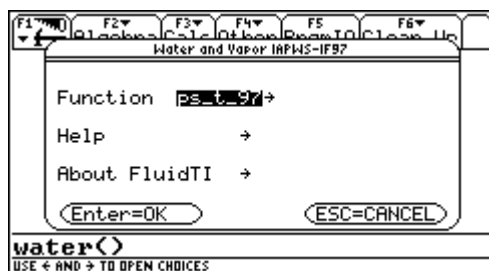
Folgende Anweisungen sind auszuführen:

- Der TI-Rechner muss für die Abarbeitung des Programms FluidTI auf die Sprache Englisch eingestellt sein. Ist dies nicht der Fall, muss die Umstellung der Sprache, wie im Abschnitt "Installation von FluidTI..." beschrieben vorgenommen werden.
- Um das Programm zu starten, wechseln Sie in das Verzeichnis "fluidti", indem Sie <MODE> drücken und im Feld "Current Folder" durch nach rechts Drücken des Cursorblockes, den Eintrag "fluidti" auswählen und mit der Taste <ENTER> bestätigen. Im Feld "Current Folder" blinkt nun "fluidti".

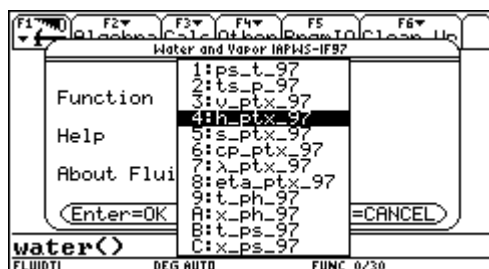
Bestätigen Sie nochmals mit <ENTER>. In der linken unteren Bildschirmcke erscheint "FLUIDTI".

Geben Sie jetzt "water()" ein und bestätigen Sie mit <ENTER>.

- Verlassen Sie den Anfangsbildschirm mit <ENTER>. Es erscheint das Hauptmenü:



Öffnen Sie das Menü mit den berechenbaren Stoffwertfunktionen durch nach rechts Drücken des <Cursorblockes>. Es erscheint das folgende Menü:



- Wählen Sie den Menüpunkt "h_ptx_97" mit Hilfe des Cursorblockes aus und bestätigen Sie die Auswahl mit <ENTER>.

- Die ausgewählte Funktion "h_ptx_97" wird neben "Function" blinkend angezeigt. Bestätigen Sie diese mit <ENTER>. Es erscheint das folgende Menü zur Eingabe der gegebenen Werte:

The screenshot shows a terminal window titled "Input of parameter". Inside, it displays the function "Specific enthalpy h = f(p,t,x)". Below this, there are three input fields: "p [MPa] :", "t [°C] :", and "x [kg/kg] :". At the bottom of the dialog, there are two buttons: "Enter=OK" and "ESC=CANCEL". The "water" logo is in the bottom left corner, and the text "TYPE * [ENTER]=OK AND [ESC]=CANCEL" is at the bottom.

- Geben Sie den Wert für p in MPa in das zugehörige Fenster ein. Beachten Sie dabei den Gültigkeitsbereich der IAPWS-IF97:

$$p = 0.000611 \text{ MPa} \dots 100 \text{ MPa}$$
 → z.B.: Tragen Sie den Wert 10 ein und bewegen Sie mit dem Cursorblock den Cursor in das darunter liegende Eingabefeld
- Geben Sie den Wert für t in °C in das zugehörige Fenster ein. Beachten Sie den Gültigkeitsbereich der IAPWS-IF97:

$$t = 0 \text{ °C} \dots 800 \text{ °C}$$
 → z.B.: Tragen Sie den Wert 400 ein und bewegen Sie mit dem Cursorblock den Cursor in das darunter liegende Eingabefeld.
- Jetzt muss der Wert für den Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf / kg Nassdampf) in das zugehörige Fenster eingegeben werden:

Da das Nassdampfgebiet vom Programm automatisch behandelt wird, sind die folgenden Festlegungen bei der Wertevorgabe zu beachten:

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzter Dampf) liegt, ist entweder das Eingabefenster von x freizulassen oder der Wert $x = -1$ einzutragen.

Nur im Falle, dass Nassdampf vorliegt, hat x ein Wert zwischen 0 und 1, der in das Fenster von x einzutragen ist ($x = 0$ bei siedender Flüssigkeit, $x = 1$ bei Sattedampf).

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.

So genügt es, entweder

 - den gegebenen Wert für p und keinen Wert für t (oder $t = -1$)

oder

 - den gegebenen Wert für t und keinen Wert für p (oder $p = -1$)

sowie in beiden Fällen einen Wert für $x = 0 \dots 1$ einzugeben.

Gültigkeitsbereich für Nassdampfgebiet:

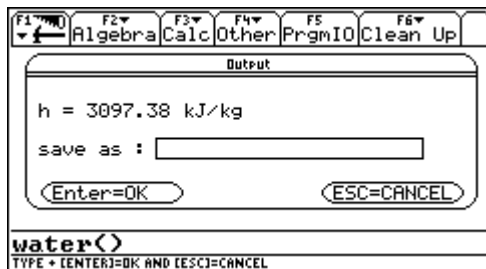
Temperaturbereich von $t_t = 0 \text{ °C}$ bis $t_c = 373.946 \text{ °C}$

Druckbereich von $p_t = 0.000611 \text{ MPa}$ bis $p_c = 22.064 \text{ MPa}$

 → Da im zu berechnenden Beispiel der Wert im Einphasengebiet liegen soll, können Sie das Eingabefeld von x freilassen.
- Bestätigen Sie nun die Eingaben mit <ENTER>.

Während der jetzt erfolgenden Berechnung erscheint das BUSY-Symbol.

- Nach erfolgter Berechnung wird das Ergebnis für h in kJ/kg auf dem Bildschirm angezeigt:

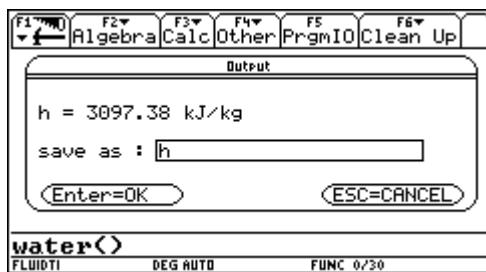


→ Im Beispiel muss der Wert 3097.38 kJ/kg erscheinen.

- Damit ist die Berechnung von $h = f(p, t, x)$ beendet.

Jetzt besteht die Möglichkeit den berechneten Wert für h in eine Variable zu speichern. Mit dieser kann anschließend unabhängig von FluidTI weiter gerechnet werden.

→ z.B.: Geben Sie im Fenster "save as:" den Namen "h" ein und bestätigen Sie diesen durch zweimaliges Betätigen von <ENTER>:



Damit ist der berechnete Wert in der Variablen h gespeichert und steht im Verzeichnis FLUIDTI zur Verfügung.

Hinweis: Der Name der Variablen kann beliebig gewählt werden. Er sollte lediglich nicht mit dem Zeichen ω (Omega) beginnen und nicht den Namen der Systemvariablen (vgl. TI-Handbuch) tragen. Überhaupt sollten im Verzeichnis FLUIDTI benutzte Variable nicht mit dem Zeichen ω beginnen.

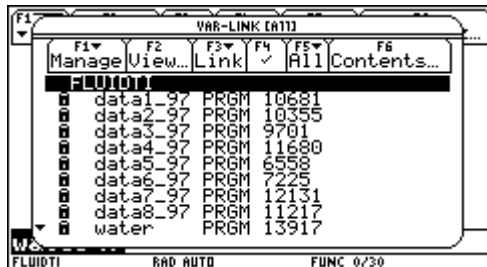
Das Programm befindet nun sich wieder im Hauptmenü.

Beendet wird FluidTI mit der Taste <ESC>.

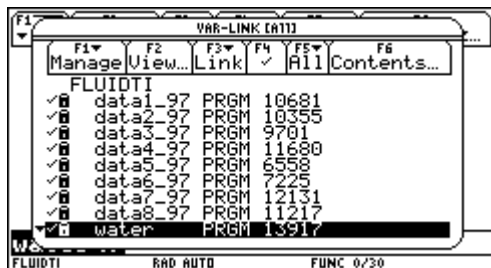
3.3 De-Installation

Die folgenden Schritte sind für die Taschenrechner TI 89, TI 92 und TI 92Plus auszuführen:

1. Öffnen Sie das "Var-Link-Menü" durch Drücken der Taste <2nd> und anschließend der Taste <-> (nicht <->). Es erscheint das folgende Menü:



2. Suchen Sie mit dem Cursor das Verzeichnis FLUIDTI. Die nachfolgend aufgelisteten Dateien gehören zu diesem Verzeichnis. Bewegen Sie den Cursor zur Datei "data1_97" und markieren Sie diese mit der Taste <F4> . Vor der Datei erscheint ein Häkchen.



Wiederholen Sie den Markierungsvorgang für die Dateien "data2_97" bis "data8_97" und "water".

3. Drücken Sie die Taste <F1>. Es erscheint das Menü "Manage". Mit dem Cursor ist "UnLock Variable" auszuwählen und mit <ENTER> zu bestätigen:



4. Nun erfolgt die Löschung indem mit <F1> das Menü "Manage" nochmals geöffnet, die Option "Delete" mit dem Cursor angewählt und mit <ENTER> bestätigt wird. Die folgende Abfrage ist mit nochmals <ENTER> zu bestätigen. Damit ist die De-Installation von FluidTI beendet.
5. Verlassen Sie nun das Var-Link Menü mit <ESC>.

4. Programmdokumentation für Wasser und Wasserdampf

Dampfdruck $p_s = f(t)$

Name in FluidTI: **ps_t_97**

Eingabewerte

t - Temperatur t in °C

Rückgabewert

ps_t_97 - Dampfdruck p_s in MPa

Gültigkeitsbereich

von $t_t = 0$ °C bis $t_c = 373.946$ °C

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte :

$t < 0$ °C oder $t > 373,946$ °C

Literatur: [1], [2], [3], [4], [5]

Siedetemperatur $t_s = f(p)$

Name in FluidTI: **ts_p_97**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

Rückgabewert

ts_p_97 - Siedetemperatur t_s in °C

Gültigkeitsbereich

von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte :

$p < 0.000611$ MPa oder $p > 22.064$ MPa

Literatur: [1], [2], [3], [4], [5]

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

Name in FluidTI: `v_ptx_97`

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

`v_ptx_97` - spezifisches Volumen v in m³/kg

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von 0 °C ... 800 °C

Druckbereich: von 0,000611 MPa ... 100 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung von Nassdampf

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 überhitzten Dampf) liegt, ist für x keine Eingabe zu machen oder der Wert $x = -1$ einzugeben.

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

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, entweder den gegebenen Wert für t und p nicht eingegeben (bzw. - 1) oder den gegebenen Wert für p und t nicht eingegeben (bzw. -1) sowie einen Wert für x zwischen 0 und 1 vorzugeben. 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 als Ergebnis eine Fehlermeldung zurückgegeben.

Nassdampfgebiet: Temperaturbereich von $t_t = 0$ °C bis $t_c = 373.946$ °C

Druckbereich von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

Einphasengebiet:
(x : keine Eingabe
oder -1) $p > 100$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
 $t > 800$ °C oder $t < 0$ °C

Siede- oder Taulinie:
($x = 0$ oder $x = 1$) bei p keine Eingabe (bzw. - 1) und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C oder
bei t keine Eingabe (bzw. - 1) und $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
bei $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa
und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C
bei $|t - t_s(p)| > 0.1$ K

Literatur: [1], [2], [3], [4], [5]

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

Name in FluidTI: **h_ptx_97**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

h_ptx_97 - spezifische Enthalpie h in kJ/kg

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von 0 °C ... 800 °C

Druckbereich: von 0,000611 MPa ... 100 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung von Nassdampf

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 überhitzten Dampf) liegt, ist für x keine Eingabe zu machen oder der Wert $x = -1$ einzugeben.

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

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, entweder den gegebenen Wert für t und p nicht eingegeben (bzw. - 1) oder den gegebenen Wert für p und t nicht eingegeben (bzw. - 1) sowie einen Wert für x zwischen 0 und 1 vorzugeben. 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 als Ergebnis eine Fehlermeldung zurückgegeben.

Nassdampfgebiet: Temperaturbereich von $t_t = 0$ °C bis $t_c = 373.946$ °C

Druckbereich von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

Einphasengebiet:
(x : keine Eingabe oder -1) $p > 100$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder $t > 800$ °C oder $t < 0$ °C

Siede- oder Taulinie:
($x = 0$ oder $x = 1$) bei p keine Eingabe (bzw. - 1) und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C oder bei t keine Eingabe (bzw. - 1) und $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder bei $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C
bei $|t - t_s(p)| > 0.1$ K

Literatur: [1], [2], [3], [4], [5]

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

Name in FluidTI: **s_ptx_97**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

s_ptx_97 - spezifische Entropie s in kJ/kg K

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von 0 °C ... 800 °C

Druckbereich: von 0,000611 MPa ... 100 MPa

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung von Nassdampf

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 überhitzten Dampf) liegt, ist für x keine Eingabe zu machen oder der Wert $x = -1$ einzugeben.

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

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, entweder den gegebenen Wert für t und p nicht eingegebenen (bzw. - 1) oder den gegebenen Wert für p und t nicht eingegeben (bzw. - 1) sowie einen Wert für x zwischen 0 und 1 vorzugeben. 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 als Ergebnis eine Fehlermeldung zurückgegeben.

Nassdampfgebiet: Temperaturbereich von $t_t = 0$ °C bis $t_c = 373.946$ °C

Druckbereich von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

Einphasengebiet:
(x : keine Eingabe
oder -1) $p > 100$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
 $t > 800$ °C oder $t < 0$ °C

Siede- oder Taulinie:
($x = 0$ oder $x = 1$) bei p keine Eingabe (bzw. - 1) und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C oder
bei t keine Eingabe (bzw. - 1) und $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
bei $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa
und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C
bei $|t - t_s(p)| > 0.1$ K

Literatur: [1], [2], [3], [4], [5]

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

Name in FluidTI: **cp_ptx_97**

Eingabewerte

- p** - Druck p in MPa
- t** - Temperatur t in °C
- x** - Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)

Rückgabewert

cp_ptx_97 - spezifische isobare Wärmekapazität c_p in kJ/kg K

Gültigkeitsbereich

- Temperaturbereich: von 0 °C ... 800 °C
- Druckbereich: von 0,000611 MPa ... 100 MPa

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

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

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzten Dampf) liegt, ist für x keine Eingabe zu machen oder der Wert $x = -1$ einzugeben.

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

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei siedender Flüssigkeit oder gesättigtem Dampf, entweder den gegebenen Wert für t und p nicht eingegeben (bzw. - 1 gesetzt) oder den gegebenen Wert für p und t nicht eingegeben (bzw. - 1 gesetzt) sowie den Wert für x ($x = 0$ oder $x = 1$) vorzugeben. Wird bei 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 als Ergebnis eine Fehlermeldung zurückgegeben.

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = 0$ °C bis $t_c = 373.946$ °C
Druckbereich von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

Einphasengebiet:
(x : keine Eingabe oder -1) $p > 100$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder $t > 800$ °C oder $t < 0$ °C

Siede- oder Taulinie:
($x = 0$ oder $x = 1$) bei p keine Eingabe (bzw. - 1) und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C oder bei t keine Eingabe (bzw. - 1) und $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder bei $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C
bei $|t - t_s(p)| > 0.1$ K

Literatur: [1], [2], [3], [4], [5]

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

Name in FluidTI λ_ptx_97

Eingabewerte

- p** - Druck p in MPa
- t** - Temperatur t in °C
- x** - Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)

Rückgabewert

λ_ptx_97 - Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m K)

Gültigkeitsbereich

- Temperaturbereich: von 0 °C ... 800 °C
- Druckbereich: von 0,000611 MPa ... 100 MPa

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

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

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzten Dampf) liegt, ist für x keine Eingabe zu machen oder der Wert $x = -1$ einzugeben.

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

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei siedender Flüssigkeit oder gesättigtem Dampf, entweder den gegebenen Wert für t und p nicht eingegeben (bzw. - 1) oder den gegebenen Wert für p und t nicht eingegeben (bzw. - 1) sowie den Wert für x ($x = 0$ oder $x = 1$) vorzugeben. Wird bei 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 als Ergebnis eine Fehlermeldung zurückgegeben.

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = 0$ °C bis $t_c = 373.946$ °C
 Druckbereich von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

Einphasengebiet: $p > 100$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
 (x : keine Eingabe $t > 800$ °C oder $t < 0$ °C
 oder -1)

Siede- oder Taulinie: bei p keine Eingabe (bzw. - 1) und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C oder
 ($x = 0$ oder $x = 1$) bei t keine Eingabe (bzw. - 1) und $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
 bei $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa
 und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C
 bei $|t - t_s(p)| > 0.1$ K

Literatur: [6], Interne Berechnung von ρ bzw. v nach: [1], [2], [3], [4], [5]

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

Name in FluidTI: `eta_ptx_97`

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

`eta_ptx_97` - dynamische Zähigkeit η in Pa·s

Gültigkeitsbereich

Temperaturbereich: von 0 °C ... 800 °C

Druckbereich: von 0,000611 MPa ... 100 MPa

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

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

Falls der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet (Flüssigkeit oder überhitzten Dampf) liegt, ist für x keine Eingabe zu machen oder der Wert $x = -1$ einzugeben.

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

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei siedender Flüssigkeit oder gesättigtem Dampf, entweder den gegebenen Wert für t und p nicht eingegeben (bzw. - 1) oder den gegebenen Wert für p und t nicht eingegeben (bzw. - 1) sowie den Wert für x ($x = 0$ oder $x = 1$) vorzugeben. Wird bei 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 als Ergebnis eine Fehlermeldung zurückgegeben.

Siede- und Taulinie: Temperaturbereich von $t_t = 0$ °C bis $t_c = 373.946$ °C
Druckbereich von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

Einphasengebiet:
(x : keine Eingabe oder -1)
 $p > 100$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
 $t > 800$ °C oder $t < 0$ °C

Siede- oder Taulinie:
($x = 0$ oder $x = 1$)
bei p keine Eingabe (bzw. - 1) und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C oder
bei t keine Eingabe (bzw. - 1) und $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
bei $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa
und $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C
bei $|t - t_s(p)| > 0.1$ K

Literatur: [7], Interne Berechnung von ρ bzw. v nach: [1], [2], [3], [4], [5]

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

Name in FluidTI: **t_ph_97**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

h - Spezifische Enthalpie h in kJ/kg

Rückgabewert

t_ph_97 - Temperatur t in °C

Gültigkeitsbereich

Druckbereich: von 0,000611 MPa bis 100 MPa

Enthalpiebereich: gemäß Temperaturen von 0 °C bis 800 °C

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 $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen erscheinen:

Einphasengebiet: $p > 100$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
bei Berechnungsergebnis $t > 800$ °C oder $t < 0$ °C

Nassdampfgebiet: $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
bei Berechnungsergebnis $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C

Literatur: [1], [2], [3], [4], [5]

Umkehrfunktion: Dampfanteil $x = f(p,h)$ Name in FluidTI: **x_ph_97****Eingabewerte****p** - Druck p in MPa**h** - Spezifische Enthalpie h in kJ/kg**Rückgabewert****x_ph_97** - Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)**Gültigkeitsbereich**

Druckbereich: von 0,000611 MPa bis 100 MPa

Enthalpiebereich: gemäß Temperaturen von 0 °C bis 800 °C

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 $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa**Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten**Ergebnis **x_ph_97 = -1** für Eingabewerte:

falls zu berechnender Zustandspunkt im Einphasengebiet liegt:

 $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa**Literatur:** [1], [2], [3], [4], [5]

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

Name in FluidTI: **t_ps_97**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

s - Spezifische Entropie s in kJ/kg K

Rückgabewert

t_ps_97 - Temperatur t in °C

Gültigkeitsbereich

Druckbereich: von 0,000611 MPa bis 100 MPa

Entropiebereich: gemäß Temperaturen von 0 °C bis 800 °C

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 $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen erscheinen:

Einphasengebiet: $p > 100$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
bei Berechnungsergebnis $t > 800$ °C oder $t < 0$ °C

Nassdampfgebiet: $p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa oder
bei Berechnungsergebnis $t > 373.946$ °C oder $t < 0$ °C

Literatur: [1], [2], [3], [4], [5]

Umkehrfunktion: Dampfanteil $x = f(p,s)$

Name in FluidTI: **x_ps_97**

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

s - Spezifische Entropie s in kJ/kg K

Rückgabewert

x_ps_97 - Dampfanteil x in (kg gesättigter Dampf)/(kg Nassdampf)

Gültigkeitsbereich

Druckbereich: von 0,000611 MPa bis 100 MPa

Entropiebereich: gemäß Temperaturen von 0 °C bis 800 °C

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 $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_c = 22.064$ MPa

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis **x_ps_97 = -1** für Eingabewerte:

falls zu berechnender Zustandspunkt im Einphasengebiet liegt:

$p > 22.064$ MPa oder $p < 0.000611$ MPa

Literatur: [1], [2], [3], [4], [5]

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.; 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 Gasturbine and Power - in Vorbereitung
- [4] Wagner, W.; Rukes, B.:
IAPWS-IF97: Die neue Industrie-Formulation.
BWK 50 (1998) Nr. 3, S. 42-97
- [5] Kretzschmar, H.-J.:
Mollier h,s-Diagramm.
Springer-Verlag, Berlin (1998)
- [6] Revised Release on the IAPS Formulation 1985 for the Thermal Conductivity of Ordinary Water Substance.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1997)
- [7] Revised Release on the IAPS Formulation 1985 for the Viscosity of Ordinary Water Substance.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1997)
- [8] IAPWS Release on Surface Tension of Ordinary Water Substance 1994.
IAPWS Sekretariat, Dooley, B., EPRI, Palo Alto CA, (1994)
- [9] Willkommen, Th.; Trübenbach, J.; Kretzschmar, H.-J.; Dittmann, A.:
Gleichungen $v = v(p,T)$ - Iterationsstartwertgleichungen zur IAPWS-IF97 für das kritische Zustandsgebiet von Wasser und Wasserdampf.
BWK 50 (1998) - Vorbereitung
- [10] Trübenbach, J.; Willkommen, Th.; Kretzschmar, H.-J.; Dittmann, A.:
Gleichungen für die Umkehrfunktion $p = p(h,s)$ zur IAPWS-IF97 von Wasser und Wasserdampf.
BWK 50 (1998) - eingereicht
- [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] Baehr, H.D.; Diederichsen, Ch.:
Berechnungsgleichungen für Enthalpie und Entropie der Komponenten von Luft und
Verbrennungsgasen.
BWK 40 (1988) Nr. 1/2, S. 30-33
- [15] Brandt, F.:
Wärmeübertragung in Dampferzeugern und Wärmetauschern.
FDBR-Fachbuchreihe, Bd. 2, Vulkan Verlag Essen (1985)