

HOCHSCHULE
University
of
Applied Sciences
ZITTAU/GÖRLITZ

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

FluidCASIO

LibIF97

für

CFX-9850G

CFX-9850GB Plus

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar
Dr.-Ing. I. Stöcker
Cand.-Ing. (FH) St. Hasch

FB Maschinenwesen

Technische Thermodynamik

Stoffwertprogramme für Wasser und Wasserdampf nach dem Industrie-Standard IAPWS-IF97

FluidCASIO LibIF97 für CFX-9850G CFX-9850GB Plus

Inhalt

0. Lieferumfang
1. Berechnungsprogramme für Wasser und Wasserdampf
2. Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliothek
3. Nutzung von FluidCASIO für die Berechnung von Wasser und Wasserdampf
 - 3.1 Installation auf dem Casio CFX-9850G und CFX-9850GB Plus
 - 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 - (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

Diskette "FluidCASIO mit LibIF97 für CFX-9850G und CFX-9850GB Plus" mit folgenden Dateien:

Programmdateien:

BACKTEST.PG	CBACKS1.PG	CBACKS2A.PG	CBACK2B.PG
COEFREG1.PG	COEFREG4.PG	COEFRG2A.PG	COEFRG2B.PG
GAMMA11.PG	GAMMA11A.PG	GAMMA12.PG	GAMMA13.PG
GAMMA1P1.PG	GAMMA1P2.PG	GAMMA1P3.PG	GAMMA1P4.PG
GAMMA1T1.PG	GAMMA1T2.PG	GAMMA1T3.PG	GAMMA21.PG
GAMMA22.PG	GAMMA23.PG	GAMMA24.PG	GAMMA2P1.PG
GAMMA2P2.PG	GAMMA2P3.PG	GAMMA2T1.PG	GAMMA2T2.PG
GAMMA2T3.PG	GAMMA2T4.PG	PS[T].PG	REG1TPS.PG
REG2ATPS.PG	REG2BTPS.PG	REGERROR.PG	REGION1.PG
REGION2.PG	REGTEST.PG	TS[P].PG	WATER-97.PG .

Programmdokumentation

FluidCASIO_CFX-9850G_LibIF97_Doku.pdf

Programmdokumentation als gedrucktes Exemplar (bei Versand)

1. Berechnungsprogramme für Wasser und Wasserdampf

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidCASIO	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit Funktionswert
$p_s = f(t)$	ps(t)	Dampfdruck aus Temperatur	MPa
$t_s = f(p)$	ts(p)	Siedetemperatur aus Druck	°C
$v = f(p, t, x)$	v(p, t, x)	Spezifisches Volumen	m ³ /kg
$h = f(p, t, x)$	h(p, t, x)	Spezifische Enthalpie	kJ/kg
$s = f(p, t, x)$	s(p, t, x)	Spezifische Entropie	kJ/(kg·K)
$t = f(p, s)$	t(p, s)	Temperatur aus Druck und Entropie	°C

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

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

Flüssigkeitsbereich: $p = p_s(t) \dots 100 \text{ MPa}$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

Dampfbereich: $0.000611 \text{ MPa} \dots p = p_s(t)$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0.000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) = p(s = 5.2 \text{ kJ/(kg K)})$ für $350 \text{ °C} \dots 590 \text{ °C}$

$0.000611 \text{ MPa} \dots 100 \text{ MPa}$ für $590 \text{ °C} \dots 800 \text{ °C}$

Erläuterung zum Dampfanteil x und zur Berechnung von Nassdampf

Das Nassdampfgebiet wird von FluidCASIO 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 der Wert - 1 einzugeben.

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

Im Fall Nassdampf genügt es, entweder den gegebenen Wert für t und p = - 1 oder den gegebenen Wert für p und t = - 1 sowie einen Wert für x zwischen 0 und 1 einzugeben. Wird bei Nassdampf sowohl p als auch t eingegeben, geht das Programm davon aus, dass die beiden Parameter zusammen passen, d. h. die Dampfdruckkurve repräsentieren. Ist dies nicht der Fall, erfolgt eine Fehlermeldung.

Nassdampfgebiet: Temperaturbereich von $t_t = 0 \text{ °C}$ bis 350 °C

Druckbereich von $p_t = 0.000611 \text{ MPa}$ bis $p_s(t = 350 \text{ °C}) = 16.5292 \text{ MPa}$

Hinweis !

Erscheint eine Fehlermeldung, deutet dies darauf hin, dass die Eingabewerte einen Zustandspunkt außerhalb der Bereiche 1 oder 2 der Industrie-Formulation IAPWS-IF97 (vgl. Bild 1) repräsentieren. Genauere Angaben zu jeder Funktion und deren Gültigkeitsbereich können Abschnitt 4 entnommen werden.

2. Gültigkeitsbereich und Struktur der Programm-Bibliothek

Die Internationale Organisation für die Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf IAPWS hat im September 1997 die Industrie-Formulation IAPWS-IF97 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 Standard weltweit verwendet werden.

Bild 1 zeigt den Gültigkeitsbereich des Gleichungssatzes der 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 IAPWS-IF97 erstreckt sich von 0 bis 800 °C bei Drücken von 0,000611 bis 100 MPa und bis 2000 °C bei Drücken bis 10 MPa.

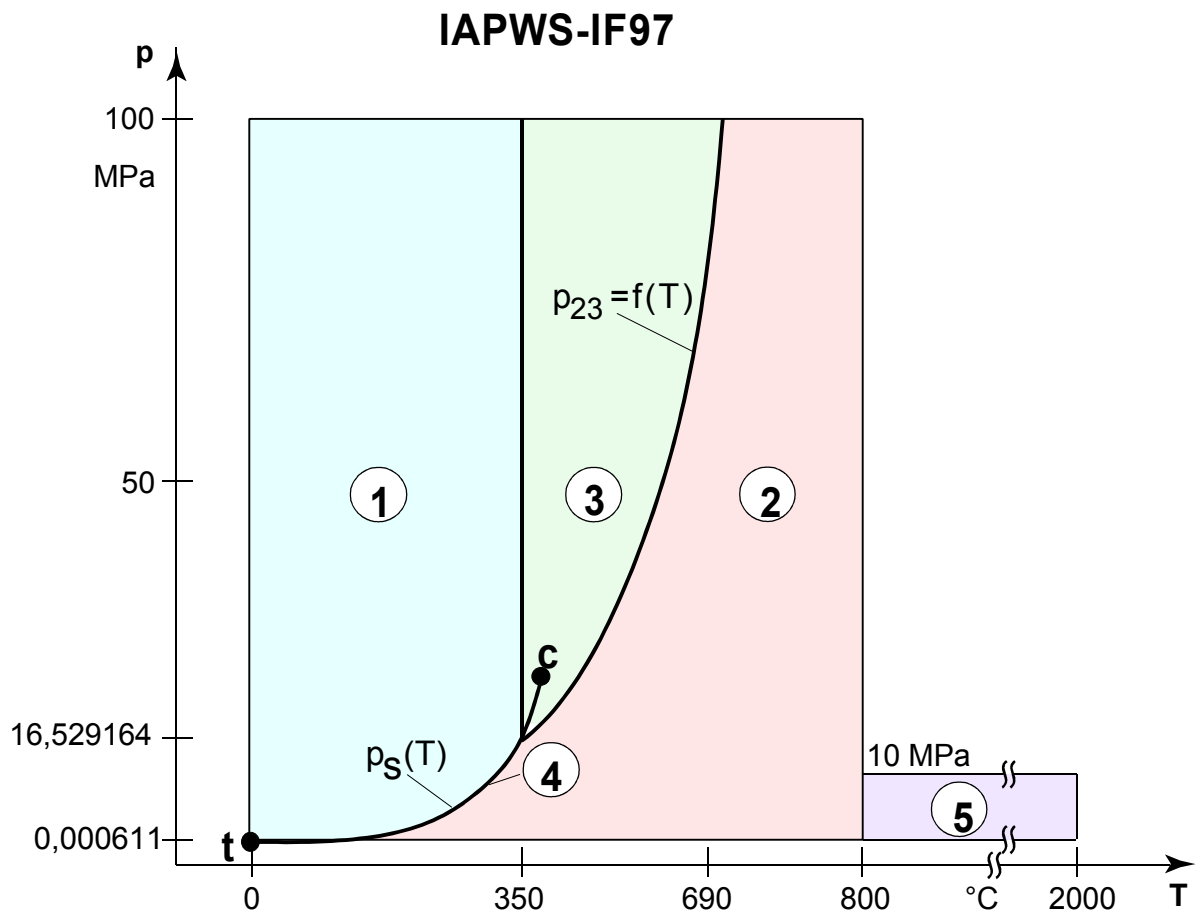


Bild 1 Gesamter Gültigkeitsbereich und Berechnungsbereiche der IF97

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 IAPWS-IF97 sowie in [2] und [3] detailliert beschrieben.

Das Programm FluidCASIO für CFX-9850G beinhaltet die Bereiche 1 und 2 sowie das Nassdampfgebiet bis 350 °C bzw. 16.529164 MPa (vgl. Bild 1).

Die Verzweigung zu den Berechnungsgleichungen der Bereiche 1 und 2 erfolgt intern anhand der gegebenen Größen.

3. Nutzung von FluidCASIO für die Berechnung von Wasser und Wasserdampf

3.1 Installation von FluidCASIO auf dem Casio CFX- 9850G und CFX- 9850GB Plus

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

Die benötigte Software erhält man beim Kauf eines Casio-Rechners. 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 das Link-Programm


FX- Link- Kit Connection Software 4.0[®],


das bereits auf dem PC installiert sein muß. Bei anderen Link-Programmen sind die Schritte für die Datenübertragung der zugehörigen Anleitung bzw. Online-Hilfe zu entnehmen.

1. Legen Sie die Diskette "FluidCASIO mit LibIF97 für CFX-9850G" in das Diskettenlaufwerk des PC's ein.
2. Starten Sie das Programm FX-Link-Kit indem Sie in der unteren Windows-Taskleiste auf "Start", darin auf "Programme", darin auf "FX-LINK-KIT" und darin nochmals auf "FX-LINK-KIT" klicken.

Es erscheint die Programmoberfläche des Programms
FX- Link- Kit Connection Software 4.0 .

3. Klicken Sie im linken oberen Fenster "A: 3,5-Diskette" an.
Im rechten oberen Fenster werden die Dateien angezeigt, die sich auf der Diskette befinden.
4. Klicken Sie auf den ersten Dateinamen im linken oberen Fenster. Scrollen Sie anschließend bis zur letzten Datei. Halten Sie die "Shift"-Taste  gedrückt und klicken Sie den letzten Dateinamen an.
Jetzt sollten alle Dateien blau markiert sein.


Hinweis: Alle Dateien können auch durch Anklicken der Schaltfläche  oberhalb des oberen rechten Fensters markiert werden.

5. Klicken Sie nun auf die Schaltfläche  über dem Fenster mit den markierten Dateien.
Es werden alle markierten Dateien in das interne Sendeverzeichnis des Programms FX-LINK-KIT kopiert.
Nach dem Kopiervorgang erscheinen die Dateinamen im unteren Sendefenster.
6. Verbinden Sie den Casio-Rechner mit dem PC, indem Sie das Link-Kabel an eine freie serielle Schnittstelle des PC's (COM1 oder COM2) und an den Taschenrechner anschließen.
7. Schalten Sie den Casio-Rechner ein. Wählen Sie mit Hilfe des Cursorblockes den Menüpunkt "LINK" in der unteren Reihe des Menüs und bestätigen mit der Taste <EXE>. Drücken Sie nun auf die Taste <F2>.

Der Casio-Rechner wartet mit der folgenden Anzeige auf den Empfang von Daten:

```
Receiving...
AC:Cancel
```

8. Versehen Sie im unteren Sendefenster des Programms FX-LINK-KIT auf dem PC die letzte Datei "WATER-97.PG" mit einem Häkchen durch anklicken der Markierungsfläche.

Klicken Sie anschließend auf die nach rechts zeigende Sende-Schüssel  in der oberen Symbolleiste von FX-LINK-KIT.

Es erscheint ein Dialogfenster.

Starten Sie die Übertragung indem Sie auf "Start" klicken.


Die Übertragung ist beendet, wenn auf dem Casio-Rechner die folgende Ausschrift erscheint:

```
Communication
Complete!

Press:[AC]
```

Drücken Sie auf dem Taschenrechner die <AC^{ON}>-Taste und danach wieder <F2>.

9. Versehen Sie jetzt im unteren Sendefenster alle Markierungsflächen außer die vor der letzten Datei "WATER.PG" mit einem Häkchen.

Klicken Sie anschließend wieder auf die rechte "Sende-Schüssel"  in der oberen Symbolleiste und starten Sie die Übertragung durch Anklicken von der Schaltfläche "Start" im erscheinenden Dialogfenster.

Die Übertragung der Daten dauert einige Minuten. Warten Sie bis der Casio-Rechner durch die Ausschrift "Communication complete !" das Ende der Übertragung anzeigt.

Drücken Sie auf dem Taschenrechner die <AC^{ON}>-Taste.

Das Programm FluidCASIO befindet sich jetzt auf Ihrem Taschenrechner und Sie können durch Drücken der Taste <MENU> ins Hauptmenü zurückkehren.

Hinweis:

Falls das Kopieren nicht funktionierte, gibt es folgende Fehlermöglichkeiten:

- Der Taschenrechner war beim Start von FX-Link-Kit[®] nicht angeschlossen.
- Die Stecker sind nicht richtig eingesteckt.
- Eine falsche serielle Schnittstelle ist auf dem PC eingestellt.
Sie erreichen das Einstellungs Menü im Programm FX-LINK-KIT über "Programm" darin "Einstellungen" und darin Karteikarte "Verbindung/Taschenrechner".
- Es wird ein falsches oder defektes Link-Kabel verwendet.

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 nach Einschalten des Casio-Rechners auszuführen:

- Starten Sie das Programm, indem Sie im Hauptmenü mit dem Cursorblock den Menüpunkt "PRGM" anwählen und mit der Taste <EXE> bestätigen.

Wählen Sie mit dem Cursorblock die Programmdatei "WATER-97" aus und bestätigen Sie mit <EXE>.

- Es erscheint das folgende Hauptmenü von FluidCASIO:

```
Water- IF 97
<1>    Ps(t)
<2>    ts(P)
<3>    v(P,t,x)
<4>    h(P,t,x)
<5>    s(P,t,x)
<EXE> continue
```

Durch Drücken von <EXE> werden Ihnen weitere Menüpunkte gezeigt:

```
Water - IF97
<6>    t(P,s)
<8>    wet steam
        help
<9>    about
<EXE> menu besin
<EXIT> exit
```

Um zum ersten Teil des Menüs zurückzukehren, drücken Sie erneut <EXE>.

- Drücken Sie im ersten Menüteil die Taste <4> um die Funktion "h(p,t,x)" auszuwählen. Es erscheint die Eingabeaufforderung für den gegebenen Druck p in MPa:

```
P in MPa?
0.1
-2 → take this value
```

Beachten Sie dabei den Gültigkeitsbereich:

Flüssigkeitsbereich: $p = p_s(t) \dots 100 \text{ MPa}$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$ (Bereich 1 in Bild 1)

Dampfbereich: $0.000611 \text{ MPa} \dots p = p_s(t)$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$ (Bereich 2 in Bild 1)

$0.000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) \approx p(s=5.2 \text{ kJ/kgK})$ für $350 \text{ °C} \dots 590 \text{ °C}$

$0.000611 \text{ MPa} \dots 100 \text{ MPa}$ für $590 \text{ °C} \dots 800 \text{ °C}$.

→ z.B.: Geben Sie den Wert 10 ein und bestätigen Sie mit <EXE>.

Hinweis: Bei der Eingabe von Werten der angegebene aktuelle Wert durch Eingabe von -2 übernommen werden.

Es erscheint das Eingabefenster für die Temperatur t in °C:

```
t in °C?
100
-2 ⇒ take this value
```

Beachten Sie dabei den Gültigkeitsbereich:

Flüssigkeitsbereich: $t=0$ °C ... 350 °C für $p=p_s(t)$... 100 MPa (Bereich 1 in Bild1)

Dampfbereich: 0 °C ... 350 °C für 0.000611 MPa ... $p=p_s(t)$ (Bereich 2 in Bild 1)

350 °C ... 590 °C für 0.000611 MPa ... $p_{23}(t) \approx p(s=5.2 \text{ kJ/kgK})$

590 °C ... 800 °C für 0.000611 MPa ... 100 MPa .

→ z.B.: Geben Sie den Wert 400 ein und bestätigen Sie mit <EXE>.

Es erscheint das Eingabefenster für den Dampfanteil x
in (kg gesättigter Dampf / kg Nassdampf):

```
x in kg/kg?
-1
-2 ⇒ take this value
```

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

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

- Deshalb genügt es, entweder
den gegebenen Wert für p und -1 für t
oder

den gegebenen Wert für t und -1 für p

sowie in beiden Fällen einen Wert für x zwischen 0 und 1 einzugeben.

Gültigkeitsbereich für Nassdampfgebiet:

Temperaturbereich von $t_t = 0$ °C bis 350 °C

Druckbereich von $p_t = 0.000611$ MPa bis $p_s(t=350 \text{ °C}) = 16.5292$ MPa

→ Da im Beispiel der zu berechnende Zustandspunkt im Einphasengebiet liegt, ist der Wert -1 für x einzugeben. Da dieser bereits vom Programm angeboten wird, kann er durch die Eingabe von -2 übernommen werden.

Geben Sie -2 ein und bestätigen Sie mit <EXE>.

- Während der jetzt erfolgenden Berechnung erscheint die folgende Anzeige:

```
FluidCasio is workins
```

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

```
Steam region  
h in kJ/kg  
3097.375272  
  
<EXE> ↗ main menu  
<EXIT> ↗ exit
```

→ Im Beispiel muss der Wert 3097.375272 erscheinen.

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

Hinweis: Den berechnete Wert wird in der Variable "Γ" (Gamma) gespeichert. Diese kann anschließend unabhängig von FluidCASIO weiter benutzt werden.

Beachten Sie, dass die Variable "Γ" bei einer erneuten Rechnung mit FluidCASIO mit dem nächsten Ergebnis überschrieben wird.

Jetzt haben Sie die Möglichkeit mit <EXE> in das Hauptmenü zur Berechnung einer weiteren Funktion zurückzukehren oder mit <EXIT> FluidCASIO zu beenden.

→ Drücken Sie <EXIT> um die Beispielrechnung zu beenden.

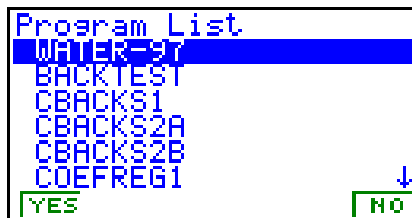
3.3 De-Installation

Die folgenden Schritte sind auf dem Casio-Rechner auszuführen:

1. Wählen Sie im Hauptmenü "PRGM" mit Hilfe der Cursorstasten aus und bestätigen mit <EXE>. Es erscheinen alle auf dem Casio-Rechner gespeicherten Programme (vgl. folgendes Bild)



2. Suchen Sie mit dem Cursor die Datei "WATER-97". Drücken Sie nun die <F4>-Taste um die Datei zu löschen und bestätigen mit <F1>.



Wiederholen Sie den Löschvorgang für die Dateien

BACKTEST	CBACKS1	CBACKS2A	CBACK2B
COEFREG1	COEFREG4	COEFRG2A	COEFRG2B
GAMMA11	GAMMA11A	GAMMA12	GAMMA13
GAMMA1P1	GAMMA1P2	GAMMA1P3	GAMMA1P4
GAMMA1T1	GAMMA1T2	GAMMA1T3	GAMMA21
GAMMA22	GAMMA23	GAMMA24	GAMMA2P1
GAMMA2P2	GAMMA2P3	GAMMA2T1	GAMMA2T2
GAMMA2T3	GAMMA2T4	PS[T]	REG1TPS
REG2ATPS	REG2BTPS	REGERROR	REGION1
REGION2	REGTEST	TS[P]	

3. Drücken Sie die Taste <MENU> um in das Hauptmenü zurückzukehren. Wählen Sie mit Hilfe des Cursorblockes "MAT" aus und bestätigen mit <EXE> Bewegen Sie den Cursor auf die Matrix "Mat Z" (vgl. folgendes Bild)



Drücken Sie <F1> um die Matrix zu löschen und bestätigen mit <F1>.

4. Mit der Taste <MENU> kehren Sie wieder in das Hauptmenü zurück. Damit ist die De-Installation von FluidCASIO abgeschlossen.

4. Programmdokumentation für Wasser und Wasserdampf

Dampfdruck $p_s = f(t)$

Name in FluidCASIO: ps(t)

Eingabewerte

t - Temperatur t in °C

Rückgabewert

ps(t) - Dampfdruck p_s in MPa

Gültigkeitsbereich

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

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldung "Out of Range!" für Eingabewerte :

t < 0 °C oder t > 373.946 °C

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

Siedetemperatur $t_s = f(p)$

Name in FluidCASIO: $ts(p)$

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

Rückgabewert

$ts(p)$ - Siedetemperatur t_s in °C

Gültigkeitsbereich

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

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldung "Out of Range!" 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 FluidCASIO: $v(p, t, x)$

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

$v(p, t, x)$ - spezifisches Volumen v in m^3/kg

Gültigkeitsbereich

Flüssigkeitsbereich: $p = p_s(t) \dots 100 \text{ MPa}$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

Dampfbereich: $0,000611 \text{ MPa} \dots p = p_s(t)$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) \approx p(s=5,2 \text{ kJ}/(\text{kg K}))$ für $350 \text{ °C} \dots 590 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots 100 \text{ MPa}$ für $590 \text{ °C} \dots 800 \text{ °C}$

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 die Eingabe -1 zu machen.

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 -1 für p einzugeben oder den gegebenen Wert für p und -1 für t einzugeben (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 $t_t = 0 \text{ °C}$ bis $t = 350 \text{ °C}$

Druckbereich von $p_t = 0.000611 \text{ MPa}$ bis $p = 16.5292 \text{ MPa}$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldung "Out of Range!" für Eingabewerte :

Einphasengebiet: die eingegebenen Parameter liegen außerhalb des oben aufgeführten Gültigkeitsbereiches
($x = -1$)

Nassdampfgebiet: bei $p = -1$ und $t > 350 \text{ °C}$ oder $t < 0 \text{ °C}$ oder
($0 \leq x \leq 1$) bei $t = -1$ und $p > 16.5292 \text{ MPa}$ oder $p < 0.000611 \text{ MPa}$ oder
bei $p > 16.5292 \text{ MPa}$ oder $p < 0.000611 \text{ MPa}$
und $t > 350 \text{ °C}$ oder $t < 0 \text{ °C}$
bei $|t - t_s(p)| > 0.1 \text{ K}$

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

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

Name in FluidCASIO: $h(p,t,x)$

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

$h(p,t,x)$ - spezifische Enthalpie h in kJ/kg

Gültigkeitsbereich

Flüssigkeitsbereich: $p = p_s(t) \dots 100 \text{ MPa}$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

Dampfbereich: $0,000611 \text{ MPa} \dots p = p_s(t)$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) \approx p(s=5,2 \text{ kJ/(kg K)})$ für $350 \text{ °C} \dots 590 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots 100 \text{ MPa}$ für $590 \text{ °C} \dots 800 \text{ °C}$

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 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 -1 für p einzugeben oder den gegebenen Wert für p und -1 für t einzugeben 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 $t_t = 0 \text{ °C}$ bis $t = 350 \text{ °C}$

Druckbereich von $p_t = 0.000611 \text{ MPa}$ bis $p_s(t=350 \text{ °C}) = 16.5292 \text{ MPa}$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldung "Out of Range!" für Eingabewerte :

Einphasengebiet: die eingegebenen Parameter liegen außerhalb des oben aufgeführten Gültigkeitsbereiches
($x = -1$)

Nassdampfgebiet: bei $p = -1$ und $t > 350 \text{ °C}$ oder $t < 0 \text{ °C}$ oder
($0 \leq x \leq 1$) bei $t = -1$ und $p > 16.5292 \text{ MPa}$ oder $p < 0.000611 \text{ MPa}$ oder
bei $p > 16.5292 \text{ MPa}$ oder $p < 0.000611 \text{ MPa}$
und $t > 350 \text{ °C}$ oder $t < 0 \text{ °C}$
bei $|t - t_s(p)| > 0.1 \text{ K}$

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

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

Name in FluidCASIO: $s(p,t,x)$

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

t - Temperatur t in °C

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

Rückgabewert

$s(p,t,x)$ - spezifische Entropie s in kJ/kg K

Gültigkeitsbereich

Flüssigkeitsbereich: $p = p_s(t) \dots 100 \text{ MPa}$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

Dampfbereich: $0,000611 \text{ MPa} \dots p = p_s(t)$ für $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) \approx p(s=5,2 \text{ kJ/(kg K)})$ für $350 \text{ °C} \dots 590 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots 100 \text{ MPa}$ für $590 \text{ °C} \dots 800 \text{ °C}$

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 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 -1 für p einzugeben oder den gegebenen Wert für p und -1 für t einzugeben 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 $t_t = 0 \text{ °C}$ bis $t = 350 \text{ °C}$

Druckbereich von $p_t = 0.000611 \text{ MPa}$ bis $p_s(t=350 \text{ °C}) = 16.5292 \text{ MPa}$

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldung "Out of Range!" für Eingabewerte :

Einphasengebiet: die eingegebenen Parameter liegen außerhalb des oben aufgeführten Gültigkeitsbereiches
($x = -1$)

Nassdampfgebiet: bei $p = -1$ und $t > 350 \text{ °C}$ oder $t < 0 \text{ °C}$ oder
($0 \leq x \leq 1$) bei $t = -1$ und $p > 16.5292 \text{ MPa}$ oder $p < 0.000611 \text{ MPa}$ oder
bei $p > 16.5292 \text{ MPa}$ oder $p < 0.000611 \text{ MPa}$
und $t > 350 \text{ °C}$ oder $t < 0 \text{ °C}$
bei $|t - t_s(p)| > 0.1 \text{ K}$

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

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

Name in FluidCASIO: $t(p,s)$

Eingabewerte

p - Druck p in MPa

s - Spezifische Entropie s in kJ/kg K

Rückgabewert

$t(p,s)$ - Temperatur t in °C

Gültigkeitsbereich

Flüssigkeitsbereich: IF97 Bereich 1 (vgl. Bild 1)

Dampfbereich: IF97 Bereich 2 für $s \geq 5,58$ kJ/(kgK) (vgl. Bild 1)

Nassdampfgebiet: $p = 0.000611 \dots 16.5292$ MPa

Erläuterung zur Berechnung von Nassdampf

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

Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldung "Out of Range!" für Eingabewerte :

Flüssigkeitsbereich: bei Werten p und s ausserhalb Bereich 1 der IF97 (Bild 1)

Dampfbereich: bei Werten p und s ausserhalb des Bereiches 2 der IF97 wobei $s < 5,85$ kJ/(kgK)

Nassdampfgebiet: bei Werten $p > 16.5292$ 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.; 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.
Journal of Eng. for Gas Turbines and Power 122 (2000) Nr. 1, S. 150-182
- [3] Wagner, W.; Kruse, A.:
Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf.
Springer-Verlag, Berlin (1998)
- [4] Kretzschmar, H.-J.:
Mollier h,s-Diagramm.
Springer-Verlag, Berlin (1998)
- [5] Kretzschmar, H.-J.; Cooper, J.R.; Dittmann, A.; Friend, D.G.; Knobloch, K.; Mareš, R.; 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.
Journal of Eng. for Gas Turbines and Power - in Vorbereitung