

HOCHSCHULE  
University  
of  
Applied Sciences  
ZITTAU/GÖRLITZ

**Stoffwertprogramme für die  
neue Industrie-Formulation  
IAPWS-IF97 von Wasser und  
Wasserdampf**

**FluidHP  
für HP 49**

**Version für Studierende**

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar  
Dr.-Ing. I. Stöcker  
Dipl.-Ing. (FH) T. Hellriegel  
Cand.-Ing. (FH) C. Heinrich

**FB Maschinenwesen**  
**Technische Thermodynamik**

# FluidHP

## Stoffwertfunktionen für Wasser und Wasserdampf

Funktionale Abhängigkeit	Funktionsname in FluidHP	Stoffwert bzw. Funktion	Maßeinheit Funktionswert
$p_s = f(t)$	ps=f(t)	Dampfdruck aus Temperatur	MPa
$t_s = f(p)$	ts=f(p)	Siedetemperatur aus Druck	°C
$v = f(p, t, x)$	v=f(p, t, x)	Spezifisches Volumen	m <sup>3</sup> /kg
$h = f(p, t, x)$	h=f(p, t, x)	Spezifische Enthalpie	kJ/kg
$s = f(p, t, x)$	s=f(p, t, x)	Spezifische Entropie	kJ/(kg·K)
$c_p = f(p, t, x)$	cp=f(p, t, x)	Spezifische isobare Wärmekapazität	kJ/(kg·K)
$\lambda = f(p, t, x)$	λ=f(p, t, x)	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
$\eta = f(p, t, x)$	η=f(p, t, x)	Dynamische Zähigkeit	Pa·s = kg/(m·s)
$t = f(p, h)$	t=f(p, h)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Enthalpie	°C
$x = f(p, h)$	x=f(p, h)	Umkehrfunktion: Dampfanteil aus Druck und Enthalpie	kg/kg
$t = f(p, s)$	t=f(p, s)	Umkehrfunktion: Temperatur aus Druck und Entropie	°C
$x = f(p, s)$	x=f(p, s)	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 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 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 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 p = - 1 oder den gegebenen Wert für p und t = - 1, sowie einen Wert für x zwischen 0 und 1 einzugeben. Wird bei Nassdampf sowohl t als auch p eingegeben, geht das Programm davon aus, dass die beiden Parameter zusammen passen, d. h. die Dampfdruckkurve repräsentieren. Ist dies nicht der Fall, erscheint eine Fehlermeldung.

Nassdampfgebiet:            Temperaturbereich von  $t_t = 0\text{ °C}$  bis  $350\text{ °C}$   
                                  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 und 2 der IF97 (vgl. Bild 1) repräsentieren.

Genauere Angaben zu jeder Funktion und deren Gültigkeitsbereich können der Programmdokumentation entnommen werden.

Des weiteren kann der Gültigkeitsbereich über den Menüpunkt "help" abgerufen werden.

## **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",

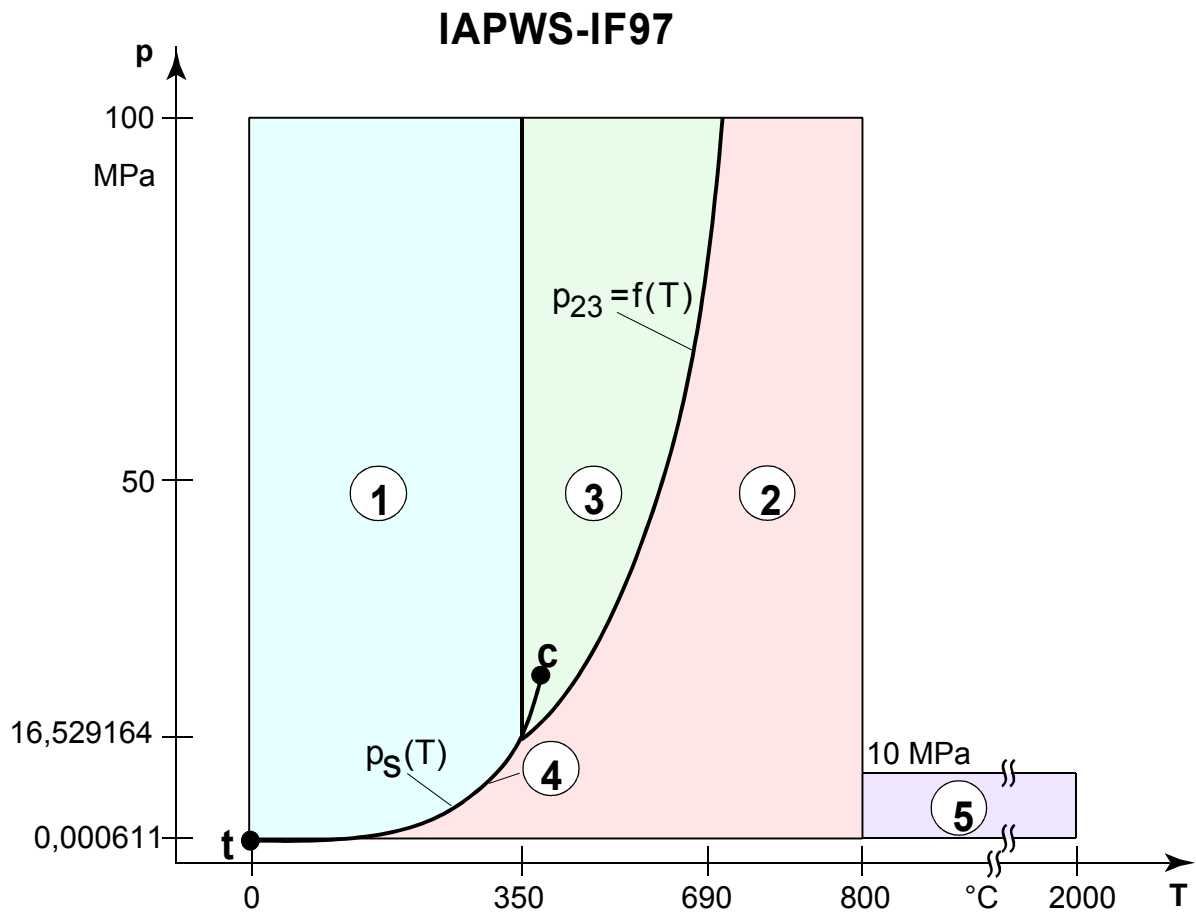
abgekürzt

"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 10 MPa.

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 FluidHP in der vorliegenden Version kann nicht im gesamten Gültigkeitsbereich verwendet werden. Es sind die Bereiche 1 und 2 sowie das Nassdampfgebiet bis 16.529164 MPa verfügbar (vgl. Bild 1). Die Zuweisung zu den Berechnungsgleichungen für die einzelnen Bereiche 1 und 2 erfolgt intern anhand der gegebenen Größen.



**Bild 1** Gesamter Gültigkeitsbereich und Berechnungsbereiche der IF97

# Installation von FluidHP auf dem HP 49

FluidHP wird mit Hilfe eines Link-Programms und dem zugehörigen Link-Kabel vom PC auf den Taschenrechner HP 49 kopiert. Das benötigte Zubehör wird in der Regel beim Kauf mitgeliefert. Ist dies nicht der Fall, können Kabel und Programm beispielsweise bei der Firma Böttcher Datentechnik GmbH <http://www.boettcher-datentechnik.de/> angefordert werden.

Die nachfolgende Beschreibung bezieht sich speziell auf das Link-Programm

*PC Connectivity Kit 3.0*®,

das zuvor zu installieren ist. Bei anderen Link-Programmen müssen die Schritte für die Datenübertragung aus der zugehörigen Anleitung bzw. Online-Hilfe entnommen werden.

Führen Sie die folgenden Anweisungen aus:

1. Verbinden Sie den Taschenrechner mit dem PC, indem Sie das Link-Kabel an eine freie serielle Schnittstelle des PC's (COM1 oder COM2) und an den HP 49 anschließen. Beide Geräte sollten dabei ausgeschaltet sein.
2. Um den Taschenrechner für die Datenübertragung vorzubereiten, schalten Sie ihn durch drücken der Taste <ON> ein.
3. Anschließend muss getestet werden, ob genügend freier Speicher im HP 49 zur Verfügung steht:  
Drücken Sie hierfür folgende Tasten nacheinander: <↵> und <FILES>. Es erscheint der FILE MANAGER auf dem Bildschirm. Im "Home" Verzeichnis sollten mindestens 28 KB freier Speicher vorhanden sein. Verlassen Sie das Menü durch Drücken der Taste <ON>.  
Ist weniger als 28 KB Speicher frei, löschen Sie nicht mehr benötigte Programme, Variablen etc., oder führen Sie einen Speicher-Reset durch. Hinweise hierzu finden Sie im Handbuch des Taschenrechners.
4. Starten Sie nun den Server-Modus des HP 49 wie folgt:  
Drücken Sie die Taste <APPS> und wählen Sie anschließend "2. I/O functions.." und bestätigen Sie mit der zu "OK" gehörigen Taste.  
Wählen Sie anschließend "6. Start Server" und bestätigen Sie erneut mit "OK".  
Im Display erscheint die Nachricht: "Awaiting Server Cmd." .
5. Schalten Sie nun den PC ein und starten das Link-Programm *PC Connectivity Kit 3.0*®.  
Im Falle, dass *PC Connectivity Kit 3.0* zum ersten Mal gestartet wird, erscheint das Menü "Communication settings" mit den Standardeinstellungen für den Datentransfer:  
Port: Schnittstelle mit welcher der Taschenrechner verbunden ist  
Typ: ohne Bedeutung  
Translation: Einstellung des Übersetzungsmodus  
Lassen Sie diese Option unverändert auf "Mode 1".  
Checksum: Prüfsumme zur Datenübertragung  
Diese Option muss mit dem Taschenrechner übereinstimmen. Sollten Sie keine Veränderungen im Taschenrechner getätigt haben, lassen Sie auch hier den voreingestellten Wert "Typ 1" bestehen.  
Speed: Übertragungsgeschwindigkeit  
Lassen Sie auch hier den eingestellten Wert von "9600" stehen.  
Nachdem Sie alle Einstellungen vorgenommen haben, klicken Sie auf <OK>.

6. Es werden zeitweilige Informationen über den Verbindungsstatus in einem Menü angezeigt. Nach kurzer Wartezeit erscheint das Fenster "HP Graphing Calculator PC ...". Die obere Hälfte zeigt die Laufwerke des PC und die untere Hälfte den Taschenrechner mit dessen Datenstruktur. Die jeweilige Darstellung der linken sowie rechten Seite ähnelt der des Windows Explorers.  
Konnte keine Verbindung aufgebaut werden, erscheint im unteren linken Fenster die Meldung "not connected". Überprüfen Sie in diesem Fall, ob die Stecker richtig eingesteckt sind und/oder ändern sie im Link-Programm die Übertragungsparameter über den Menüpunkt: "Calculator" und darin "Comm settings..". Entnehmen Sie die hierfür notwendigen Informationen der Online-Hilfe des Link-Programms. Klicken Sie anschließend im unteren rechten Fenster doppelt auf "Doubleclick to try to reconnect". Sind alle Fehler beseitigt, wird die Verbindung nun hergestellt.
7. Um die Programmdateien von FluidEXL auf den HP 49 zu kopieren, klicken Sie im PC-Programm den Menüpunkt "Calculator", darin "Mode" und darin "Binary" an.
8. Legen Sie jetzt die Diskette "FluidHP" in das Laufwerk A ein. Klicken Sie anschließend im oberen Fenster das Laufwerk "A:" an.  
Im rechten oberen Fenster erscheinen die Datei "RUN" sowie der Ordner "FLHP". Markieren Sie zunächst "RUN" und kopieren sie die Datei durch Anklicken von "Edit" und darin von "Copy" in die Windows-Zwischenablage. Klicken Sie jetzt im linken unteren Fenster "HOME" an. Fügen Sie nun durch Anklicken von "Edit" und darin von "Paste" die Datei "RUN" in das Verzeichnis "HOME" des HP 49 ein.
9. Anschließend ist das Verzeichnis "FLHP" innerhalb von "HOME" wie folgt anzulegen. Klicken Sie den Menüpunkt "File" und darin "New Folder" an. Im rechten unteren Fenster erscheint ein neu angelegtes Verzeichnis mit dem vorläufigen Namen "NEW". Ändern Sie diesen in "FLHP".
10. Kopieren Sie, wie im Folgenden beschrieben, den Inhalt des Verzeichnisses "FLHP" der Diskette in das Verzeichnis "FLHP" des HP 49:  
Klicken Sie im oberen Fenster doppelt auf "FLHP". Der Inhalt dieses Verzeichnisses wird angezeigt. Markieren Sie alle aufgeführten Dateien durch Anklicken des Menüpunkts "Edit" und darin von "Select all". Kopieren Sie nun die Dateien durch Anklicken von "Edit" und darin von "Copy" in die Windows-Zwischenablage. Klicken Sie jetzt doppelt auf "FLHP" im zum HP 49 gehörigen rechten unteren Fenster. Fügen Sie die kopierten Dateien durch Anklicken von "Edit" und darin von "Paste" in dieses Verzeichnis ein. Jetzt werden alle Programmdateien auf den Rechner kopiert. Dieser Vorgang kann mehrere Minuten dauern. Ein zeitweilig erscheinendes Fenster informiert über den Status des Kopiervorgangs.

Nach Beendigung des Kopierprozesses sollten Sie den Server-Mode des Taschenrechners verlassen. Drücken Sie hierzu die Taste <ON>.

Sie gelangen zurück in die Befehlsebene des Taschenrechners. Mit der Taste <↵> und anschließend <FILES> können Sie sich über den noch verbliebenen freien Speicher informieren.

Damit ist die Installation von FluidHP auf dem HP 49 abgeschlossen.

Falls das Kopieren nicht funktionierte, gibt es folgende Fehlermöglichkeiten:

- Das Link-Kabel ist nicht korrekt mit dem PC und dem Taschenrechner verbunden.
- Eine falsche serielle Schnittstelle ist eingestellt.

Bei diesen beiden Fehlern bleibt die Meldung des Taschenrechners "Awaiting Server Cmd." beim Versuch des Verbindungsaufbaus stehen.

Weitere Fehlermöglichkeiten sind:

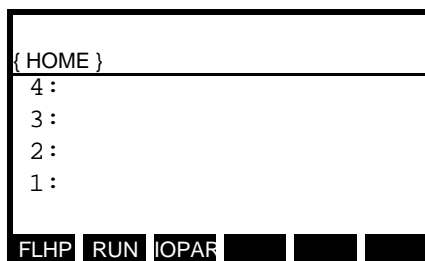
- Der Taschenrechner befindet sich nicht im Server-Modus.
- Der freie Benutzerspeicher des Taschenrechners ist zu gering.
- Die Batterien des Taschenrechners sind verbraucht.

#### **Hinweis:**

Die Datei "RUN" und das Verzeichnis "FLHP" müssen sich nach dem Kopieren im Verzeichnis "HOME\ " des Taschenrechners befinden. Kopieren Sie diese nicht in ein anderes Verzeichnis und ändern Sie weder den Namen der Datei noch des Verzeichnisses.

## **Beispiel: Berechnung von $h = f(p,t,x)$ mit FluidHP**

Um das Programm zu starten, müssen Sie in das Verzeichnis HOME wechseln. Drücken Sie hierzu so oft <↵> und anschließend <UPDIR> bis das Verzeichnis HOME im oberen Teil des Displays angezeigt wird. Drücken Sie nun die Taste <VAR>, damit die Objekte dieses Verzeichnisses am unteren Rand des Displays angezeigt werden. Um das Programm zu starten, drücken Sie die Funktionstaste unter "RUN" (Tasten <F1> bis <F6>) und anschließend die Taste <EXE>.



Sollte "RUN" nicht sichtbar sein, drücken Sie auf <NXT> um die nächsten Objekte anzuzeigen. Wiederholen Sie dies gegebenenfalls so oft wie nötig. Existiert kein Objekt "RUN" installieren Sie FluidHP erneut.

Nach dem Start erscheint das Menü für die Funktionsauswahl von FluidHP.

#### **Hinweis**

Im Menü für die Funktionsauswahl stehen drei zusätzliche Optionen zur Verfügung:

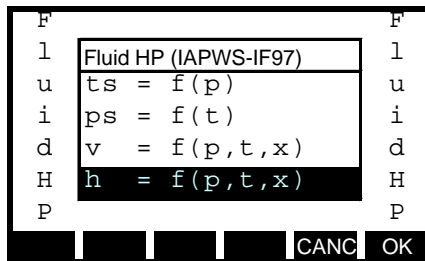
- "reset vars" Alle temporären Variablen für Ein- und Ausgabewerte werden gelöscht. Ihr HP49 'vergisst' alle gespeicherten Werte vorausgehender Berechnungen.
- "help" Kurze Hilfe und Beschreibung der Gültigkeitsgrenzen der Funktionen von FluidHP
- "about" Informationen zum Programm und über die Autoren.

Sie erreichen diese Optionen mit den Cursortasten <▲> und <▼>. Die Bestätigung der Auswahl erfolgt durch die Funktionstaste unter "OK".

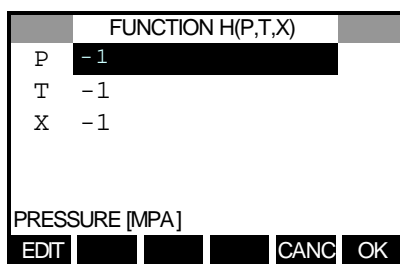
Berechnet werden soll die spezifische Enthalpie  $h$  aus gegebenem Druck  $p$ , gegebener Temperatur  $t$  und gegebenem Dampfanteil  $x$  für Wasser und Wasserdampf nach der neuen Industrie-Formulation IAPWS-IF97 [1,2,3].

Folgende Anweisungen sind auszuführen:

- Nach dem Start von FluidHP erscheint das Menü für die Funktionsauswahl. Wählen Sie mittels der Cursortasten  $\blacktriangle$  und  $\blacktriangledown$  die Funktion " $h = f(p,t,x)$ " aus. Um Ihre Auswahl zu betätigen, drücken Sie auf die Funktionstaste unter "OK".



- Nach einem kurzen Moment öffnet sich das Eingabefenster. Falls Sie FluidHP zum ersten mal starten, ist für  $p$ ,  $t$  und  $x$  jeweils der Wert  $-1$  eingetragen. Zu Beginn ist der Wert hinter " $p$ " markiert und weiter unten erscheint der Hinweis: "pressure [MPa]".



Beachten Sie vor der Eingabe des Druckes den 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  $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

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

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

→ Geben Sie für dieses Beispiel den Wert 10 ein.

Bestätigen Sie anschließend die Eingabe durch drücken der Funktionstaste unter "OK". Jetzt werden die eingegebenen 10 MPa hinter " $p$ " dargestellt und die Markierung springt auf den nächsten Wert.

- Es erscheint der Hinweis: "temperature [°C]". In diesem Feld soll die Temperatur in °C angegeben werden. Beachten Sie auch hier wieder den Gültigkeitsbereich (siehe oben).

→ Geben Sie für  $T$  den Wert 400 ein.

Bestätigen Sie Ihre Eingabe mit der Funktionstaste unter "OK"

- Anschließend ist der Wert für den Dampfanteil  $x$  in (kg gesättigter Dampf / kg Nassdampf) in das zugehörige Feld einzugeben:



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 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  $t = -1$

oder

- den gegebenen Wert für  $t$  und  $p = -1$

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

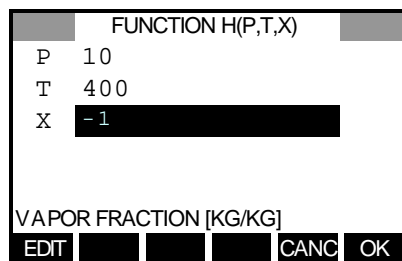
#### **Gültigkeitsbereich für Nassdampfgebiet:**

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

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

→ Da im zu berechnenden Beispiel der Wert im Einphasengebiet liegen soll, können Sie den Wert  $x=-1$  beibehalten.

Das Eingabefenster sollte nun wie folgt aussehen:



#### **Hinweis:**

Sie können die Werte auch in beliebiger Reihenfolge eingeben. Wählen Sie hierzu zuerst mit den Cursortaten  $\blacktriangle$  und  $\blacktriangledown$  das entsprechende Feld aus und geben Sie den entsprechenden Wert ein. Wollen Sie einen Wert wieder löschen, so wählen Sie diesen aus und drücken  $\text{<DEL>}$ . Das folgende Menü lässt Sie wählen, ob nur dieser oder alle Werte gelöscht werden sollen. Bestätigen Sie Ihre Auswahl mit der Funktionstaste unter "OK". Alle gelöschten Werte werden wieder auf  $-1$  gesetzt.

- Haben Sie alle Werte richtig eingegeben, drücken Sie die Funktionstaste unter "OK", um die Berechnung zu starten.
- Solange die Berechnung erfolgt, wird folgende Anzeige ausgegeben:

```
FluidHP  h=f(p,t,x)
-----
is being calculated...

EDIT  [ ]  [ ]  [ ]  CANCEL  OK
```

- Nach erfolgter Berechnung wird das Ergebnis für h in kJ/kg auf dem Bildschirm angezeigt und ein kurzer Piepton ertönt.

```
FluidHP  h=f(p,t,x)
-----
h= 3097.38 kJ/kg

-> vapor region

MENU  [ ]  [ ]  [ ]  STO  EXIT
```

→ Im Beispiel muß der Wert  $h=3097.38 \text{ kJ/kg}$  erscheinen.

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

Jetzt gibt es drei Auswahlmöglichkeiten:

1. Beenden des Programms FluidHP und Übertragung des Ergebnisses der Berechnung in den Stack in "Ebene 1:" durch Drücken der Funktionstaste unter "STO".  
Dort kann es nun gespeichert oder anderweitig verwendet werden.
2. Beenden des Programms FluidHP, ohne das Ergebnis in den Stack zu übertragen durch Drücken der Funktionstaste unter "EXIT".
3. Rückkehr zum Funktionsauswahlmenü durch Drücken der Funktionstaste unter "MENU".  
Hier können Sie weitere Berechnungen durchführen, oder nähere Informationen über das Programm erhalten.

### Hinweise

- Drücken Sie während der Anzeige des Ergebnisses auf keine anderen Tasten als die oben beschriebenen. Sie gelangen sonst zum Stack. Im Hintergrund bleibt das Programm aber aktiv, was Benutzerspeicher belegt und zu weiteren Problemen führen kann. Sie erkennen diesen Zustand Ihres HP 49 daran, das am oberen Rand des Displays "HALT" erscheint. Drücken Sie in diesem Fall  $\leftarrow$  und anschließend  $\rightarrow$  um das Programm fortzusetzen.
- Speichern Sie keine Variablen, Programme etc. im Verzeichnis "FLHP". Löschen Sie dort auch keine Variablen oder Programme.

## De-Installation von FluidHP vom HP49

Um das Programm zu deinstallieren, muss das Verzeichnis "FLHP", alle darin enthaltenen Dateien und die Startdatei "RUN" gelöscht werden.

Führen Sie folgende Arbeitsschritte aus:

1. Beenden aller laufender Programme
2. Wechseln zum Verzeichnis "HOME" durch Drücken von <↵> und anschließend <UPDIR>, gegebenenfalls mehrmals wiederholen bis das Stammverzeichnis "HOME" erreicht ist
3. Öffnen des Filemanagers mittels der Tasten <↵> und <FILES>
4. Öffnen des Verzeichnis "HOME\FLHP": Auswahl von "FLHP" mittels Cursortasten <▲> und <▼> und bestätigen mit <ENTER>
5. Markieren aller Dateien in diesem Verzeichnis durch Drücken von <ENTER>. Die markierten Dateien werden numeriert.
6. Löschen der markierten Dateien durch <NXT> und Drücken der Funktionstaste "PURG"
7. Öffnen des Verzeichnisses "HOME" durch <↵> und <UPDIR>, Auswahl von "FLHP" mittels Cursortasten <▲> und <▼> und Markieren mit <ENTER>
8. Auswahl von "RUN:" mittels Cursortasten <▲> und <▼> und markieren mittels <ENTER>
9. Löschen der markierten Objekte durch drücken der Funktionstaste "PURG"
10. Beenden des Filemanagers mit <ON>.

#### **Hinweis**

- Bedenken Sie, daß alle gelöschten Daten unwiederbringlich verloren gehen. Löschen Sie deshalb nie unbedacht und legen Sie sich zuvor von allen wichtigen Programmen, Variablen etc. Sicherheitskopien auf dem PC an.
- Informieren Sie sich gegebenenfalls über die Verwendung des Variablenbrowsers im Handbuch Ihres HP49.

# Programmdokumentation

## Dampfdruck $p_s = f(t)$

Name in FluidHP:  $ps=f(t)$

### Eingabewerte

$t$  - Temperatur  $t$  in  $^{\circ}\text{C}$

### Rückgabewert

$ps$  - Dampfdruck  $p_s$  in MPa

### Gültigkeitsbereich

von  $t_t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $t = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$

### Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

$t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  oder  $t > 350\text{ }^{\circ}\text{C}$

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

## Siedetemperatur $t_s = f(p)$

Name in FluidHP:  $ts=f(p)$

### Eingabewerte

$p$  - Druck  $p$  in MPa

### Rückgabewert

$ts$  - Siedetemperatur  $t_s$  in °C

### Gültigkeitsbereich

von  $p_t = 0.000611$  MPa bis  $p = 16.5292$  MPa

### Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

$p < 0.000611$  MPa oder  $p > 16.5292$  MPa

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

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

Name in FluidHP:  $v=f(p,t,x)$

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**t** - Temperatur t in °C

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

### Rückgabewert

**v** - spezifisches Volumen v in m<sup>3</sup>/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  $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) = p(s=5,2 \text{ kJ/(kg K)})$  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  $x = -1$  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  $p = -1$  oder den gegebenen Wert für p und  $t = -1$ , 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  $t_f = 0 \text{ °C}$  bis  $t = 350 \text{ °C}$

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

### Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen 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 FluidHP:  $h=f(p,t,x)$

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**t** - Temperatur t in °C

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

### Rückgabewert

**h** - 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  $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) = p(s=5,2 \text{ kJ/(kg K)})$  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  $x = -1$  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 Sattedampf) einzugeben.

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, 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 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  $t_l = 0 \text{ °C}$  bis  $t = 350 \text{ °C}$

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

### Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

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

Nassdampfgebiet:  
( $0 \leq x \leq 1$ ) bei  $p = -1$  und  $t > 350 \text{ °C}$  oder  $t < 0 \text{ °C}$  oder  
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 FluidHP:  $s=f(p,t,x)$

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**t** - Temperatur t in °C

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

### Rückgabewert

**s** - 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  $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) = p(s=5,2 \text{ kJ/(kg K)})$  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  $x = -1$  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  $p = -1$  oder den gegebenen Wert für p und t  $= -1$ , 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

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

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

Nassdampfgebiet:  
( $0 \leq x \leq 1$ ) bei  $p = -1$  und  $t > 350 \text{ °C}$  oder  $t < 0 \text{ °C}$  oder  
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 isobare Wärmekapazität $c_p = f(p, t, x)$

Name in FluidHP:  $cp=f(p,t,x)$

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**t** - Temperatur t in °C

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

### Rückgabewert

**cp** - spezifische isobare Wärmekapazität  $c_p$  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  $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) = p(s=5,2 \text{ kJ/(kg K)})$  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  $x = -1$  einzugeben.

Im Falle, dass der zu berechnende Zustandspunkt im Nassdampfgebiet vorliegt, ist für x der Wert  $x = 0$  bei siedender Flüssigkeit oder  $x = 1$  bei Sattdampf einzugeben. Alle anderen Nassdampfzustände sind nicht ermittelbar.

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, entweder den gegebenen Wert für t und  $p = -1$  oder den gegebenen Wert für p und  $t = -1$ , sowie einen Wert  $x = 0$  oder  $x = 1$  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

Fehlermeldungen 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  
( $x = 0$  ;  $x = 1$ ) 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  $|t - t_s(p)| > 0.1 \text{ K}$   
bei  $0 < x < 1$

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

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

Name in FluidHP

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

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**t** - Temperatur t in °C

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

### Rückgabewert

$\lambda$  - Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  in W/(m 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  $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) = p(s=5,2 \text{ kJ/(kg K)})$  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  $x = -1$  einzugeben.

Im Falle, dass der zu berechnende Zustandspunkt im Nassdampfgebiet vorliegt, ist für x der Wert  $x = 0$  bei siedender Flüssigkeit oder  $x = 1$  bei Sattdampf einzugeben. Alle anderen Nassdampfzustände sind nicht ermittelbar.

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, entweder den gegebenen Wert für t und  $p = -1$  oder den gegebenen Wert für p und  $t = -1$ , sowie einen Wert  $x = 0$  oder  $x = 1$  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  $t_f = 0 \text{ °C}$  bis  $t = 350 \text{ °C}$

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

### Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

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

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

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

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

Name in FluidHP:  $\eta = f(p,t,x)$

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**t** - Temperatur t in °C

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

### Rückgabewert

$\eta$  - dynamische Zähigkeit  $\eta$  in mPa s

### 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  $0 \text{ °C} \dots 350 \text{ °C}$

$0,000611 \text{ MPa} \dots p_{23}(t) = p(s=5,2 \text{ kJ/(kg K)})$  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  $x = -1$  einzugeben.

Im Falle, dass der zu berechnende Zustandspunkt im Nassdampfgebiet vorliegt, ist für x der Wert  $x = 0$  bei siedender Flüssigkeit oder  $x = 1$  bei Sattdampf einzugeben. Alle anderen Nassdampfzustände sind nicht ermittelbar.

Bezüglich Druck und Temperatur genügt es bei Nassdampf, entweder den gegebenen Wert für t und  $p = -1$  oder den gegebenen Wert für p und  $t = -1$ , sowie einen Wert  $x = 0$  oder  $x = 1$  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  $t_f = 0 \text{ °C}$  bis  $t = 350 \text{ °C}$

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

### Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen für Eingabewerte:

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

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

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

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

Name in FluidHP:  $t=f(p,h)$

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**h** - Spezifische Enthalpie h in kJ/kg

### Rückgabewert

**t** - Temperatur t in °C

### Gültigkeitsbereich

Flüssigkeitsbereich: IF97 Bereich 1 (vgl. Bild 1)

Dampfbereich: IF97 Bereich 2 (vgl. Bild 1)

Nassdampfgebiet:  $p = 0,000611 \dots 16.5292 \text{ MPa}$  und  $h'(p) \leq h \leq h''(p)$

### 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.

### Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Fehlermeldungen erscheinen :

Flüssigkeitsbereich: bei Werten p und h außerhalb Bereich 1 der IF97 (Bild 1)

Dampfbereich: bei Werten p und h außerhalb des Bereiches 2 der IF97 (Bild 1)

Nassdampfgebiet: bei Werten  $p > 16.5292 \text{ MPa}$  oder  $p < 0.000611 \text{ MPa}$

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

## Umkehrfunktion: Dampfanteil $x = f(p,h)$

Name in FluidHP:  $x=f(p,h)$

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**h** - Spezifische Enthalpie h in kJ/kg

### Rückgabewert

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

### Gültigkeitsbereich

Flüssigkeitsbereich: IF97 Bereich 1 (vgl. Bild 1)

Dampfbereich: IF97 Bereich 2 (vgl. Bild 1)

Nassdampfgebiet:  $p=0,000611 \dots 16.5292$  MPa und  $h'(p) \leq h \leq h''(p)$

### 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.

### Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis  $x = -1$  für Eingabewerte:

falls zu berechnender Zustandspunkt im Einphasengebiet liegt:

$p > 16.5292$  MPa oder  $p < 0.000611$  MPa oder bei Werten  $h < h'(p)$  oder  $h > h''(p)$

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

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

Name in FluidHP:  $t=f(p,s)$

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**s** - Spezifische Entropie s in kJ/kg K

### Rückgabewert

**t** - Temperatur t in °C

### Gültigkeitsbereich

Flüssigkeitsbereich: IF97 Bereich 1 (vgl. Bild 1)

Dampfbereich: IF97 Bereich 2 (vgl. Bild 1)

Nassdampfgebiet:  $p=0,000611 \dots 16.5292$  MPa und  $s'(p) \leq s \leq s''(p)$

### 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

Fehlermeldungen erscheinen:

Flüssigkeitsbereich: bei Werten p und h außerhalb Bereich 1 der IF97 (Bild 1)

Dampfbereich: bei Werten p und h außerhalb des Bereiches 2 der IF97 (Bild 1)

Nassdampfgebiet: bei Werten  $p > 16.5292$  MPa oder  $p < 0.000611$  MPa

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

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

Name in FluidHP:  $x=f(p,s)$

### Eingabewerte

**p** - Druck p in MPa

**s** - Spezifische Entropie s in kJ/kg K

### Rückgabewert

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

### Gültigkeitsbereich

Flüssigkeitsbereich: IF97 Bereich 1 (vgl. Bild 1)

Dampfbereich: IF97 Bereich 2 (vgl. Bild 1)

Nassdampfgebiet:  $p=0,000611 \dots 16.5292$  MPa und  $s'(p) \leq s \leq s''(p)$

### 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.

### Reaktion bei fehlerhaften Eingabewerten

Ergebnis  $x = -1$  für Eingabewerte:

falls zu berechnender Zustandspunkt im Einphasengebiet liegt:

$p > 16.5292$  MPa oder  $p < 0.000611$  MPa oder bei Werten  $s < s'(p)$  oder  $s > s''(p)$

**Literatur:** [1], [2], [3], [4], [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.  
Journal of Engineering 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 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] 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.; Knobloch, K.; Mareš, R.; Stöcker, I.; Trübenbach, J.; Willkommen, Th.:  
Supplementary Backward Equations for pressure as function of enthalpy and entropy to the Industrial Formulation IAPWS-IF97 for Water and Steam.  
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.
- [15] Brandt, F.:  
Wärmeübertragung in Dampferzeugern und Wärmetauschern.  
FDBR-Fachbuchreihe, Bd. 2, Vulkan Verlag Essen (1985)