KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

Mai 1971

KFK 1403

Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Schneller Brüter

MAPLIB-Funktionen zur Berechnung der Zustandsgrößen von Helium, Luft, Kohlendioxid und Wasser

W. Zimmerer

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Mai 1971 KFK 1403

Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Schneller Brüter

MAPLIB-Funktionen zur Berechnung der Zustandsgrößen von Helium, Luft, Kohlendioxid und Wasser

W. Zimmerer

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe

I n h a l t

Zusammenfassung

Das Stoffdaten-Programmsystem MAPLIB [11] wurde um Stoffdatenfunktionen für die Stoffe

Luft, Helium, Kohlendioxidgas und Wasser (flüssig und dampfförmig)

erweitert. Bezüglich der Benennungen der Stoffe und ihrer Eigenschaften wurden die in [11] festgelegten Konventionen beibehalten. Alle Daten werden im M.K.S.A.K-System geliefert. In allen Funktionen wird der physikalische und mathematische Geltungsbereich geprüft.

Abstract

The following materials have been included in the material property library MAPLIB [11]:

air, helium, carbon dioxide and water (liquid and steam).

The naming conventions as specified in [11] are followed for both the material names and the property names. All data are supplied in the M.K.S.A.K(meter, kilogramme, second, ampére, kelvin) unit system. In all function the physical and mathematical validity range is tested.

Beschreibung des Aufbaues und der Anwendung der Stoffdaten-Funktionen

a) Heliumfunktionen

Als Arbeitsgrundlage für die Erstellung der Gleichungen der einzelnen Stoffeigenschaften wurden [1], [2] und [3] verwendet. Die angegebenen Gleichungen enthielten thermodynamische Beziehungen für die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck bzw.Volumen, die Enthalpie, die Entropie, die Prandtl-Zahl, das spezifische Volumen, die dynamische Zähigkeit und die Wärmeleitfähigkeit. Die Dichte ergab sich aus dem Kehrwert des spez.Volumens; die spezielle Gaskonstante errechnet sich aus universeller Gaskonstante und Molekulargewicht. In obiger Reihenfolge ergaben sich damit folgende Funktionsnamen:

CPHEV, CVHEV, EHHEV, ESHEV, PRHEV,
VØHEV, ZDHEV, WLHEV, RØHEV, RSHEV.

Mit Ausnahme der Funktion RSHEV(DUMMY) und ZDHEV müssen beim Aufruf der übrigen Helium-Funktionen zwei Argumente, Temperatur (T) und Druck(P), angegeben werden; z.B.

X = CPHEV(T,P)

Die dynamische Zähigkeit ist nur von der Temperatur abhängig.

Nach [3] standen Vergleichswerte für die Bereiche 273.15 bis 3273.15 Kelvin und 2.E4* bis 2.E7N/M2 zur Verfügung. Ein Test ergab, daß die Gleichungen bis 1.E5 K und 1.E8N/M2 mathematisch sinnvolle Werte liefern. In den Grenzen von 273.15 bis 1473.15 K und 1.E5 bis 1.E7N/M2 ergab die Testrechnung mit verschiedenen Temperatur- und Druckwerten bei Vergleich mit den Werten in [1] und [3] Abweichungen unter ± 1%. Bis 3273.15 K und 2.E7 N/M2 lagen die Abweichungen unter ±10% . Die Gültigkeitsbereiche sind in Diagramm 1 zu ersehen.

*) Für die Darstellung von Dezimalexponenten wird hier die in Fortran übliche Schreibweise benutzt. Es bedeutet also: $E4=10^4$ etc.

Für die Enthalpie und Entropie standen Vergleichswerte nur aus einem Diagramm in [1] zur Verfügung, wobei Abweichungen bis ± 10% auftraten; in einigen Fällen entstanden durch die graphische Interpolation Ungenauigkeiten bis ± 40%. Die Prüfung des Gültigkeitsbereiches für Temperatur und Druck geschieht durch den Aufruf der MAPLIB-Routine RANGE [11], den jede Funktion enthält und die bei Abweichungen von den Bereichen 1 und 2 eine MAPLIB-ERRØR-MESSAGE erzeugt. Der Bereich1ist durch die Argumente 4 und 5 in der Argumentenliste von RANGE spezifiziert; es werden bei Über- oder Unterschreitung möglicherweise unzuverlässige Werte geliefert. Der Bereich 2 ist durch die Argumente 6 und 7 in der Argumentenliste von RANGE eingegrenzt (vergleiche hierzu die Programmlisten im Anhang). Bei Über- oder Unterschreitung entstehen keine mathematisch und physikalisch sinnvollen Werte und die Funktion liefert den Wert 1.

Zur Verdeutlichung sind die Helium-Funktionen im Anhang zusammengestellt, wie sie in der MAPLIB-Programm-Bibliothek integriert sind.

b) Luftfunktionen

Für die Umstellung und Erweiterung der teilweise vorhandenen Stoffdaten-Funktionen auf die MAPLIB-Programm-Bibliothek wurde die Literatur [4], [5] und [6] verwendet. An Hand der gegebenen Gleichungen konnten Funktionen für die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck bzw. Volumen, die Enthalpie, die Entropie, die Prandtl-Zahl, die Dichte, das spezifische Volumen, die Wärmeleitfähigkeit und die dynamische Zähigkeit erstellt werden. Diese sind unter folgenden Namen in MAPLIB integriert:

CPAIRV, CVAIRV, EHAIRV, ESAIRV, PRAIRV,
RØAIRV, VØAIRV, WLAIRV, ZDAIRV

Sämtliche Funktionen benötigen beim Aufruf Temperatur (T) und Druck (P) in der Argumentenliste;

z.B.: X = WLAIRV(T,P)

Vergleichswerte konnten aus [5] für die spezifischen Wärmekapazitäten, die Enthalpie, die Entropie und das spezifische Volumen im Bereich von 223.15 bis 1523.15 K und 1.E4 bis 4.E8 N/M2 entnommen werden. Dabei ergaben sich in den Grenzen von 223.15 bis 1273.15 K und 1.E5 bis 1.E7 N/M2 Abweichungen bis zu ± 1%. Im Bereich von 273.15 bis 1073.15 K und 1.E7 bis 4.E8 N/M2 lagen die Abweichungen unter ± 20%. Der gesamte Gültigkeitsbereich ist in Diagramm 2 dargestellt.
Vergleichswerte für die Wärmeleitfähigkeit und dynamische Zähigkeit von Luft waren [6] zu entnehmen. Die Gültigkeitsbereiche der Gleichungen waren wie folgt definiert:

Wärmeleitfähigkeit 1.E-60 bis 1.013E5 N/M2 und
273.15 bis 1373.15 K
1.E-60 bis 4.052E6N/M2 und
300 bis 700. K

Dynamische Zähigkeit 1.E-60 bis 1-013E5 N/M2 und
300. bis 1300.K

1.E-60 bis 4.052E6 N/M2 und
300. bis 700. K

Die maximalen Abweichungen von den Werten nach [6] betragen bei der Wärmeleitfähigkeit sowie dynamischen Zähigkeit in den genannten Bereichen ± 1 %.

Für die übrigen Funktionen gelten folgende Gültigkeitsbereiche:

CPAIRV	303. - 674. K	und	1.E4-4.E6N/M2		
CVAIRV	223.15 - 673.15 K	und	1.E5 - 5.E7 N/M2		
EHAIRV	"	"	"	"	"
ESAIRV	"	"	"	"	"
PRAIRV	303. - 674. K	und	1.E4 - 4.E6 N/M2		
RØAIRV	"	"	"	"	"
VØAIRV	"	"	"	"	"

Die Programmlisten für die Luftfunktionen sind im Anhang zu ersehen.

c) CØ2 - Funktionen

Bei der Umstellung der CØ2-Stoffwerte-Funktionen auf die MAPLIB-Konventionen wurde die Literatur [6] und [7] zu Hilfe genommen. Folgende Funktionen stehen zur Verfügung und sind mit den entsprechenden Namen und Argumenten aufzurufen:

Spezif.Wärmekapazität b. konst. Druck	CPØ2V(T,P)
" " " " Volumen	CVCØ2V(T,P)
Enthalpie	EHCØ2V(T,P)
Entropie	ESCØ2V(T,P)
Prandtl-Zahl	PRCØ2V(T,P)
Dichte	RØCØ2V(T,P)
Spezielle Gaskonstante	RSCØ2V(DUMMY)
Spezif.Volumen	VØCØ2V(T,P)
Sattdampfdruck	VPCØ2V(T)
Sattdampftemperatur	VTCØ2V(P)
Wärmeleitfähigkeit	WLCØ2V(T,P)
Dynamische Zähigkeit	ZDCØ2V(T,P)

T = Temperatur
P = Druck

Die Systemroutine VERCØ2 wird von den einzelnen Funktionen aufgerufen und prüft den Gültigkeitsbereich entlang einer Treppenkurve, wie sie in Diagramm 3 dargestellt ist. Als Gültigkeitsbereiche waren bei [7] angegeben:

273.15 bis 1073.15 K und 1. bis 1.5E7 N/M2

(vergleiche auch Diagramm 4 im Anhang).
Von den genanten Bereichen bestehen Abweichungen bei VPCØ2V mit

216.5 K = T = 304.3K für physikalische Gültigkeit
50.K = T = 600.K für mathematische Gültigkeit

und bei VTCØ2V mit

5.28E5 = p = 7.54E6 für physikalische Gültigkeit
1.E5 = p = 7.8E6 für mathematische Gültigkeit

Für den Test der CØ2-Funktionen wurden Werte aus [5] entnommen, wobei sich für CP-, RØ- und ZDCØ2V in den genannten Bereichen Abweichungen bis max. +5% ergaben. Bei WLCØ2V traten teilweise Abweichungen bis zu +20% auf.

d) Wasser- und Wasserdampf-Funktionen

Folgende Stoffdatenfunktionen liegen vor:

Enthalpie *)	EHH2ØL(T,P)	bzw.	EHH2ØV(T,P)
Entropie *)	ESH2ØL(T,P)	"	ESH2ØV(T,P)
Spezif.Volumen *)	VØH2ØL(T,P)	"	VØH2ØV(T,P)
Wärmeleitfähigkeit	WLH2ØL(T,P)	"	WLH2ØV(T,P)
Dynam.Zähigkeit	ZDH2ØL(T,P)	"	ZDH2ØV(T,P)
Sattdampfdruck *)	VPH2Ø(T)	T = Temperatur	
Sattdampftemperatur *)	VTH2Ø(P)	P = Druck	

Letzter Buchstabe des Funktionsnamens: L = Flüssigkeit
V = Dampf

Den Angaben in [8] konnten folgende Gültigkeitsbereiche entnommen werden:

Enthalpie, Entropie, spezif.Volumen			
	273.16	bis 1073.15 K	und
	1.E-30	bis 1.E8 N/M2;	
Wärmeleitfähigkeit	273.17	bis 973.15 K	und
	6.E2	bis 5.E7 N/M2;	
Dynamische Zähigkeit	273.17	bis 973.15 K	und
	6.E2	bis 8.E7 N/M2;	
Sattdampfdruck	273.16	bis 647.30 K	und
Sattdampftemperatur	6.E2	bis 2.212E7 N/M2	

Darüber hinaus entstehen entsprechend den angegebenen Grenzen in CALL RANGE (siehe Programmliste für H2ØL/V im Anhang) unzuverlässige Werte.
Die Funktionen EH-, ES- und VØH2ØL/V können auch mit der Temperatur als einzigem Parameter aufgerufen werden, wodurch der Sattdampfdruck errechnet und an Stelle des fehlenden Druckparameters eingesetzt wird.

Nach der Umstellung der teilweise vorhandenen Funktionen auf die MAPLIB-Konventionen wurden Vergleiche mit den Werten in [8] und [9] durchgeführt. Im allgemeinen lagen dabei die Abweichungen unter ± 0.25%o.

Bei der neu erstellten Funktion ETH2Ø$ (wird von ZDH2ØL/V aufgerufen) besteht ein Bereich, in dem keine Gleichungen für Viskositätswerte gefunden wurden. Dieser Bereich erstreckt sich von 573.15 bis 647.30 K.(Siehe Diagramm 5, das [10] entnommen wurde.) In diesem Bereich wurde ausgehend von den Randwerten der benachbarten Bereiche interpoliert, wie im folgenden näher erläutert wird.
Im Bereich von 1.E2 bis 85.9E5 N/M2 und 2.5E7 bis 8.E7 N/M2 steigen bzw.fallen die Wärmeleitfähigkeitswerte nahezu linear, so daß im Bereich von 573.15 bis 647.30 K linear interpoliert werden konnte. Die Abweichungen von [8] lagen dabei unter ± 0.7%. Für den Druckbereich 85.9E5 bis 2.212E7 N/M2 wurde ausgehend von den Werten bei 647.3 und 657.3 K eine lineare Interpolation vorgenommen. Eine andere Interpolationsart erübrigt sich, da im ungünstigsten Fall der Annäherung an den kritischen Punkt der Fehler maximal 9.0% beträgt, sonst aber bei -1.0% liegt.
Zwischen 2.212E7 und 2.5E7 und 2.5E7 N/M2 wurde mit Hilfe der Werte bei 563.15 und 573.15 K über 573.15 K hinaus linear interpoliert, wobei maximale Abweichungen von + 1.0% erreicht wurden.

Als Hilfsroutinen zur Bereitstellung der Stoffdaten von Wasser- und Wasserdampf bestehen außer den bisherigen Angaben:

WUDZ$*), $ITER*), FUNCT$*), LAH2Ø$, ETH2Ø$,
$SUB1*), $SUB2*), $SUB3*) und $SUB4*)

Sind die Temperatur und Druckwerte größer als die des kritischen Punktes (647.30 K und 2.212 N/M2), so liegen die Rechenwerte für die Enthalpie, Entropie, spezif. Volumen, Wärmeleitfähigkeit und dynam. Zähigkeit im fluiden Bereich des Wassers. Damit ist es gleichgültig, ob der Funktionsname L oder V als letzten Buchstaben enthält.

---

*) Die Routinen für Sattdampfdruck und -temperatur sowie für spezifisches Volumen, Enthalpie und Entropie von flüssigem and dampfförmigem Wasser gemäß [9] wurden nach systembedingten Änderungen aus Programmlisten übernommen, die uns vom Institut für Technische Thermodynamik der T.H.München, Direktor Prof. Dr. U. Grigull, überlassen wurden.

Aufruf und Bereitstellung der Routinen

Für die Benutzung der hier beschriebenen Stoffdatenfunktionen gelten alle in [11] festgelegten Konventionen. Insbesondere sind diese Funktionen auch über die sogenannten Masterfunktionen aufrufbar, wenn die Stoffnamen

'HEV', 'AIRV', 'H2ØL','H2ØV' bzw. 'H2Ø'

als Argumente übergeben werden.

Es empfiehlt sich, wie in [11] erläutert, zur Kontrolle der Fehlerreaktion die von MAPLIB bereitgestellten Fehlerkontroll-Routinen (insbesondere $ERROR und $STOP) einzusetzen. Die Parameter bei CALL $ERROR können der Literator [11] Seite 13-16 entnommen werden. Die von MAPLIB bereitgestellte Möglichkeit, durch Setzen eines Testparameters (Steuerparameter TEST [11], Seite 15) die Abfrage der Gültigkeitsbereiche zu unterdrücken, wurde bei den Wasser- und Kohlendioxid-Funktionen, sowie bei den Funktionen ZDHEV, WLAIRV und ZDAIRV nicht angewandt, da ein Überschreiten der Gültigkeitsbereiche unvorhersehbare Folgen haben kann.

Zum Einbau der MAPLIB - Routinen in das Benutzerprogramm sind auf der Rechenanlage IBM/360-65+85 des Kernforschungszentrums Karlsruhe im LINK-Step folgende Steuerkarten nötig:

```
//L.SYSLIB-DD
//-DD
//-DD-DSN=MAPLIB.IRE.LØAD,UNIT=2314
//-VØL-SER=GFK006,DISP=SHR
```

Bei Verwendung des Loaders muß im Go-Step geschrieben werden:

```
//G.SYSLIB-DD        (-entspricht 1 blank)
//-DD
   .
   .
   . wie oben
   .
   .
```

Liste der verwendeten Stoffeigenschaften und deren Maßeinheiten:

Spezif. Wärmekapazität b. konst. Druck	CP****	J/KG.K
" " " " Volumen	CV****	J/KG.K
Enthalpie	EH****	J/KG
Entropie	ES****	J/KG.K
Prandtl-Zahl	PR****	1.
Dichte	RØ****	KG/M3
Spezielle Gaskonstante	RS****	W.S/KG.K
Spezif.Volumen	VØ****	M3/KG
Sattdampfdruck	VP****	N/M2
Sattdampftemperatur	VT****	K
Wärmeleitfähigkeit	WL****	W/M.K
Dynam.Zähigkeit	ZD****	N.S/M2

Die Funktionsargumente Temperatur und Druck sind in Grad Kelvin(K) und N/M2 anzugeben.

L i t e r a t u r

[1] "Die thermodynamischen Eigenschaften von Helium als Arbeitsmedium für nukleare Gasturbinen"; K.Bammert, Kerntechnik, Jg.11,(1969) Nr.2

[2] "Estimation of the Properties of Helium"; H. Petersen, RISØ-M-622, Febr. 1969

[3] "Thermodynamische Stoffwerte von Helium im Bereich von 0-3000°C und 0.2-200 bar"; R. Harth, K. Hammeke, JÜL-666-RB, Juni 1970, Kernforschungsanlage Jülich

[4] "Thermodynamische Stoffwerte-Gleichungen von Luft"; A.Vrijs,IRB-Arbeitsbericht Nr.39/1967, Programmbeschreibung Nr.133 **(nicht veröffentlicht)**

[5] "Die thermodynamischen Eigenschaften von Luft"; H.D.Bähr und K.Schwier, Springer Verlag Berlin 1961

[6] "Thermodynamische Stoffwerte von Luft, CØ2 und N2"; JÜL-383-RB, 1966 Kernforschungsanlage Jülich

[7] "Fortran-Unterprogramme zur Bestimmung der Stoffwerte und thermodynamischen Zustandsgrößen von CØ2"; H. Schnauder, persönliche Mitteilung.

[8] "VDI-Wasserdampftafeln, 0-800°C und 0-1000 at";
Ernst Schmidt VDI, Verlag Springer 1968

[9] "Thermodynamic Property Values of Ordinary Water Substance ";
The 1967 IFC Formulation of Industrial Use, Febr.1967

[10] "Viskosität, Wärmeleitfähigkeit und Prandtl-Zahl von Wasser und Wasserdampf";
Wärme- und Stoffübertragung, Bd.1, 1968

[11] "MAPLIB - Ein Programmsystem zur Bereitstellung von Stoffdaten für Rechenprogramme";
KFK 1253, 1970, U.Schumann

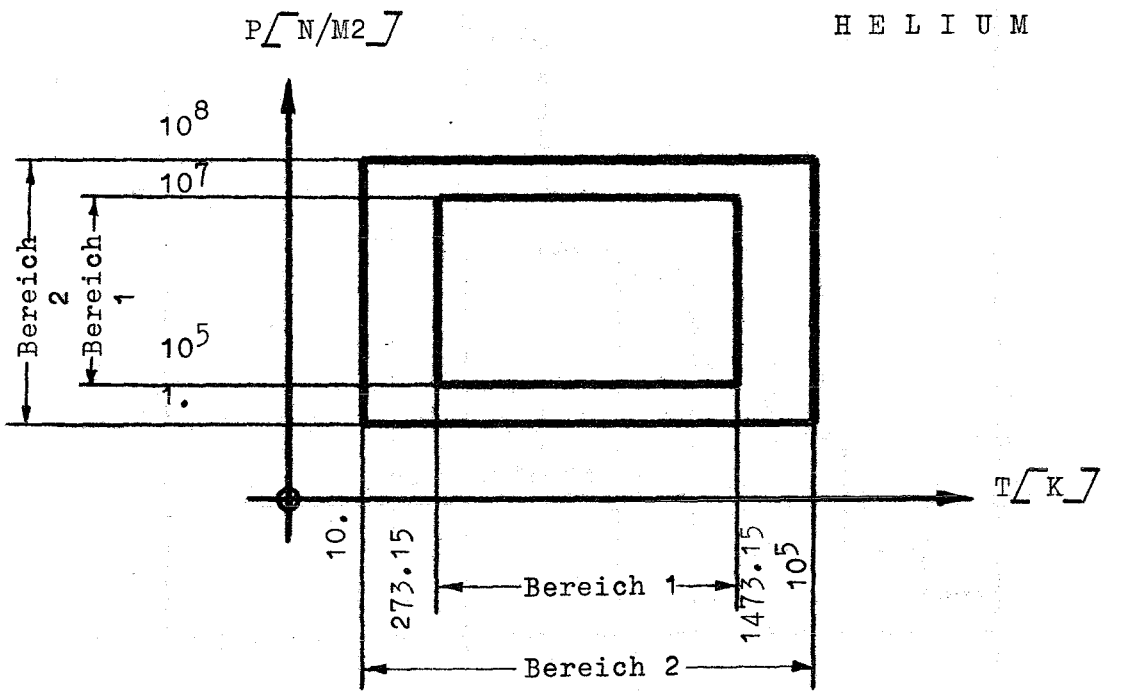
[12] "Viskosität, Wärmeleitfähigkeit und Prandtl-Zahl von Wasser und Wasserdampf";
Wärme- und Stoffübertragung, Bd.1, 1968

A N H A N G

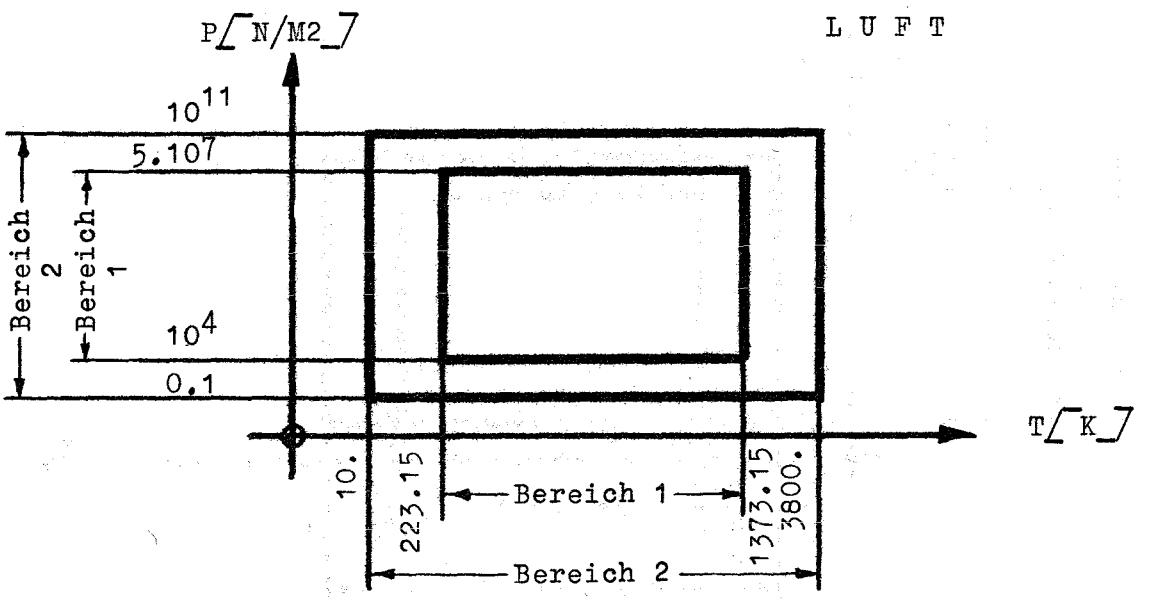
Bereich 1: physikalisch und mathematisch sinnvolle Werte

Bereich 2: nur mathematisch sinnvolle Werte

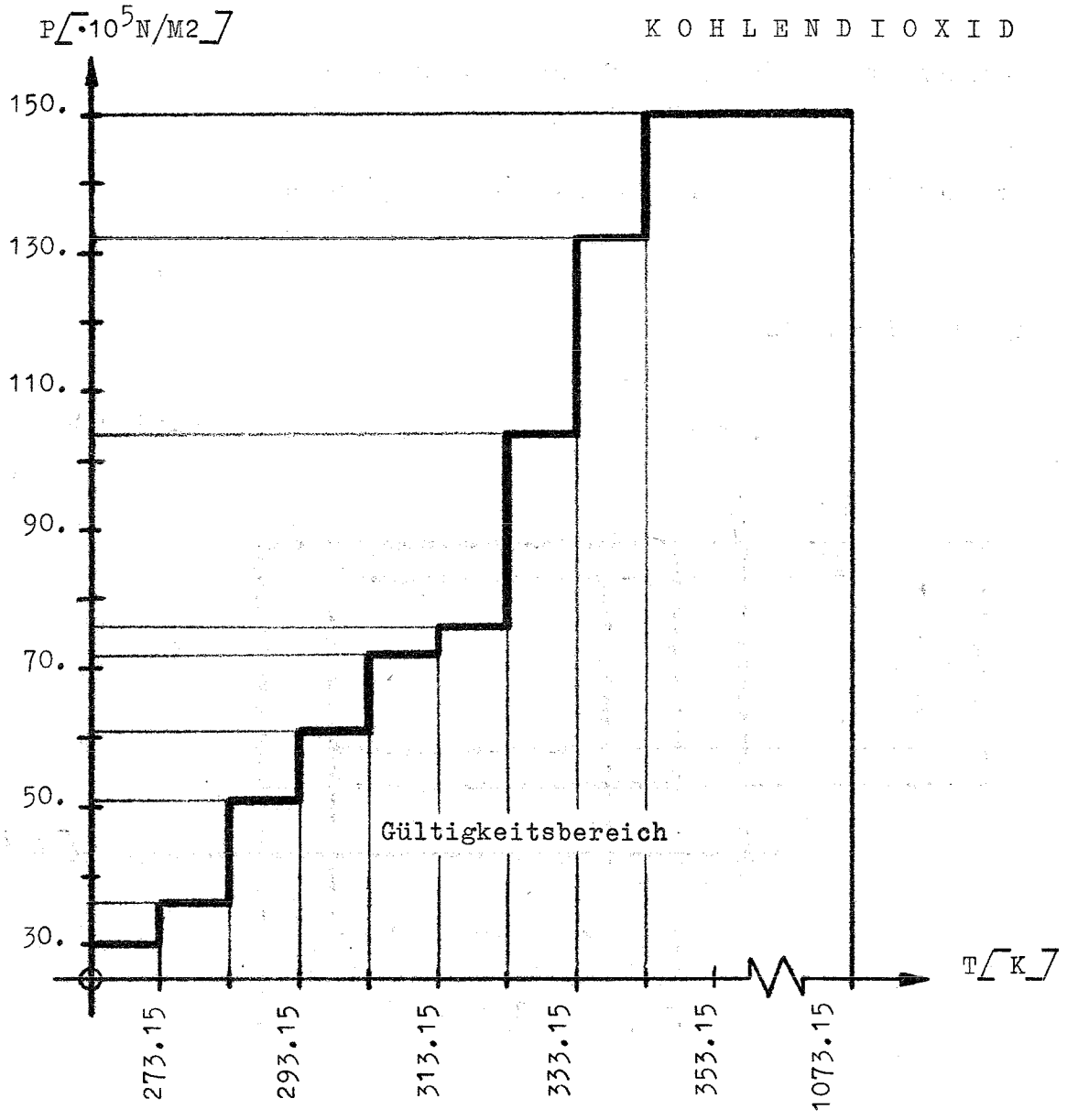
D i a g r a m m 1



D i a g r a m m 2



D i a g r a m m 3



D i a g r a m m 4

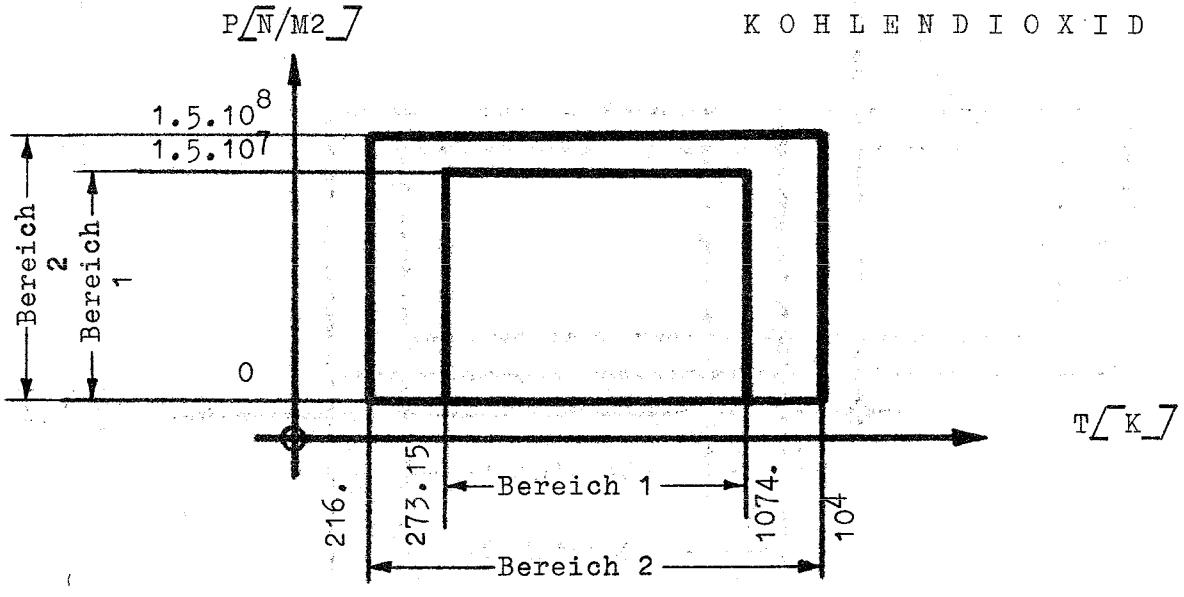


Diagramm 5

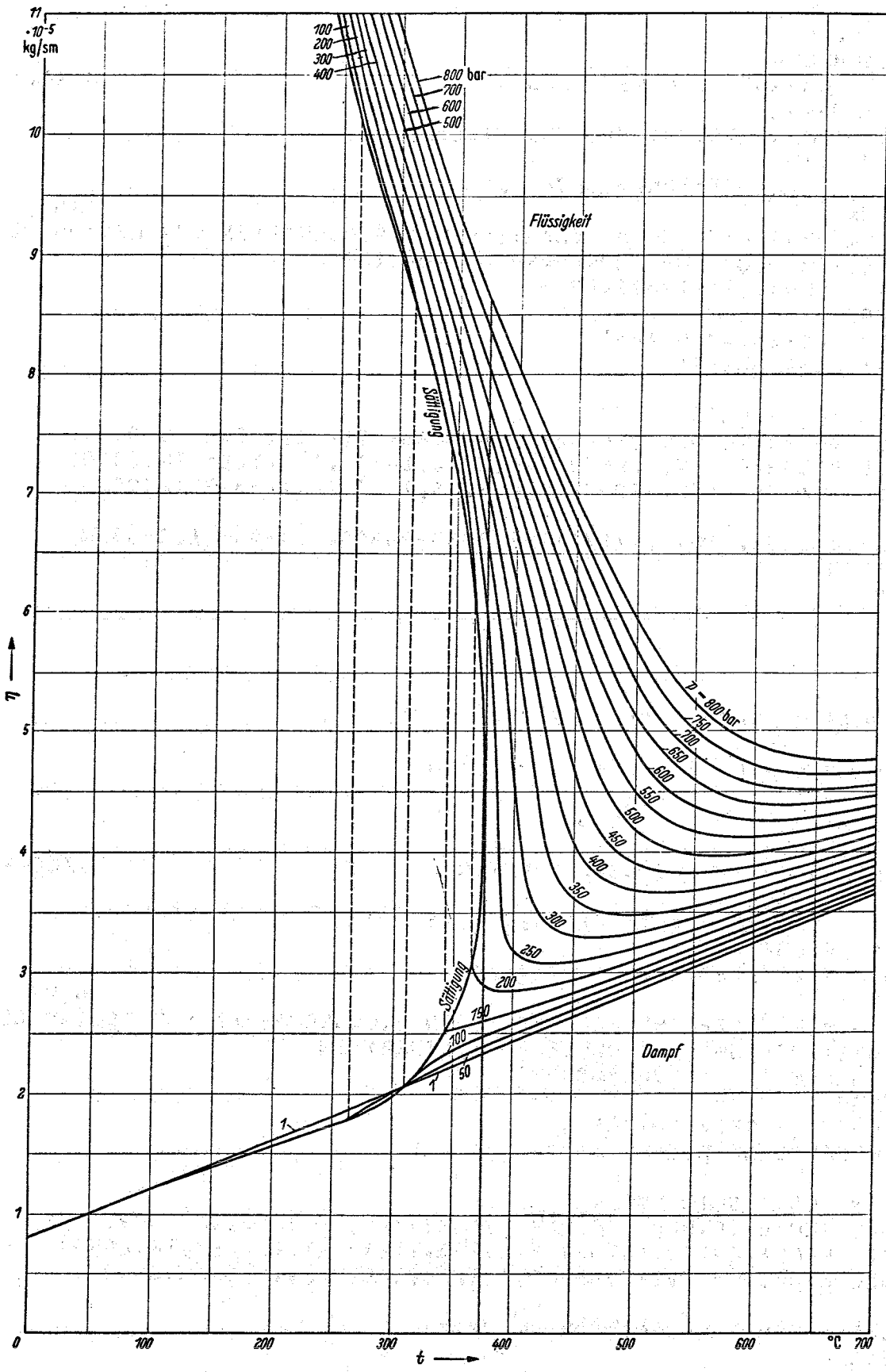


Bild 1. Viskosität η von Wasser und Wasserdampf als Funktion der Temperatur t mit dem Druck p als Parameter.

LISTE DER NEU INTEGRIERTEN MAPLIB-SYSTEM-ROUTINEN UND -FUNCTIONS

```
      FUNCTION CPHEV (/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    01.05.70
CA    W.ZIMMERER
C$P   SPEZ. WAERME B. CONST. DRUCK                                J/KG.K
C$M   HELIUM-GAS
CP    TK    10.<=273.<=TK<=1473.<=1.E5
CP    TEMPERATUR                                                        K
CP    PN    1.<=1.E5<=PN<=1.E7<=1.E8
CP    DRUCK                                                       N/M2
CL    K. BAMMERT,DIE THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON HELIUM ALS
CL    ARBEITSMEDIUM FUER NUKLEARE GASTURBINEN
CL    KERNTECHNIK,11(1969),88-91
CS    RANGE
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL $NUMBR(CPHEV ,'CPHEV ',NUMBR$( 2), 2,1,I,&  999)
      CALL RANGE(CPHEV,'CPHEV ',1,273.,1473.,10.,1.E5,TK,&999)
      CALL RANGE(CPHEV,'CPHEV ',2,1.E5,1.E7,1.,1.E8,PN,&999)
C$T
99999 CPHEV= 5196.-1043.*(1/TK**1.3333-28300./TK**3)*1.E-5*PN
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION CVHEV (/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    01.05.70
CA    W.ZIMMERER
C$P   SPEZ. WAERME B. CONST. VOLUMEN                              J/KG.K
C$M   HELIUM-GAS
CP    TK    10.<=273.<=TK<=1473.<=1.E5
CP    TEMPERATUR                                                        K
CP    PN    1.<=1.E5<=PN<=1.E7<=1.E8
CP    DRUCK                                                       N/M2
CL    K. BAMMERT,DIE THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON HELIUM ALS
CL    ARBEITSMEDIUM FUER NUKLEARE GASTURBINEN
CL    KERNTECHNIK,11(1969),88-91
CS    RANGE
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL $NUMBR(CVHEV ,'CVHEV ',NUMBR$( 2), 2,1,I,&  999)
      CALL RANGE(CVHEV,'CVHEV ',1,273.,1473.,10.,1.E5,TK,&999)
      CALL RANGE(CVHEV,'CVHEV ',2,1.E5,1.E7,1.,1.E8,PN,&999)
C$T
99999 CVHEV= CPHEV(TK,PN)-RSHEV(DUMMY)
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION EHHEV (/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    01.05.70
C$P   ENTHALPIE                                                J/KG
C$M   HELIUM-GAS
CP    TK    10.<=273.<=TK<=1473.<=1.E5
CP    TEMPERATUR                                                    K
CP    PN    1.<=1.E5<=PN<=1.E7<=1.E8
CP    DRUCK                                                    N/M2
CA    W.ZIMMERER
CL    K. BAMMERT,DIE THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON HELIUM ALS
CL    ARBEITSMEDIUM FUER NUKLEARE GASTURBINEN
CL    KERNTECHNIK,11(1969),88-91
CS    RANGE
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL $NUMBR(EHHEV ,'EHHEV ',NUMBR$( 2), 2,1,I,&  999)
      CALL RANGE(EHHEV,'EHHEV ',1,273.,1473.,10.,1.E5,TK,&999)
      CALL RANGE(EHHEV,'EHHEV ',2,1.E5,1.E7,1.,1.E8,PN,&999)
C$T
99999 EHHEV= 5196.*(TK-273.15)+3130.*(1/TK**0.3333-4715./TK**2)*1.E-5*PN
     1-285.
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ESHEV (/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    01.05.70
CA    W.ZIMMERER
C$P   ENTROPIE                                                 J/KG.K
C$M   HELIUM-GAS
CP    TK    10.<=273.<=TK<=1473.<=1.E5
CP    TEMPERATUR                                                    K
CP    PN    1.<=1.E5<=PN<=1.E7<=1.E8
CP    DRUCK                                                    N/M2
CL    K. BAMMERT,DIE THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON HELIUM ALS
CL    ARBEITSMEDIUM FUER NUKLEARE GASTURBINEN
CL    KERNTECHNIK,11(1969),88-91
CS    RANGE
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL $NUMBR(ESHEV ,'ESHEV ',NUMBR$( 2), 2,1,I,&  999)
      CALL RANGE(ESHEV,'ESHEV ',1,273.16,1473.15,10.,1.E5,TK,&999)
      CALL RANGE(ESHEV,'ESHEV ',2,1.E5,1.E7,1.,1.E8,PN,&999)
C$T
99999 ESHEV= 5196.*ALOG(TK/273.15)-2078.*ALOG(1.E-5*PN)+783.*(1/TK**1.33
     133-12580/TK**3)*1.E-5*PN+4.04E-2
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION PRHEV (/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    01.05.70
CA    W.ZIMMERER
C$P   PRANDTL-ZAHL                                                  1
C$M   HELIUM-GAS
CP    TK     10.<=273.<=TK<=1473.<=1.E5
CP    TEMPERATUR                                                      K
CP    PN     1.<=1.E5<=PN<=1.E7<=1.E8
CP    DRUCK                                                       N/M2
CL    H. PETERSEN,ESTIMATICN OF THE PROPERTIES OF HELIUM
CL    RISO-M-622,FEBR. 1969
CS    RANGE
      COMMCN/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL $NUMBR(PRHEV ,'PRHEV ',NUMBR$( 2), 2,1,I,&  999)
      CALL RANGE(PRHEV,'PRHEV ',1,273.,1473.,10.,1.E5,TK,&999)
      CALL RANGE(PRHEV,'PRHEV ',2,1.E5,1.E7,1.,1.E8,PN,&999)
C$T
99999 PRHEV= ZDHEV(TK,PN)*CPHEV(TK,PN)/WLHEV(TK,PN)
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ROHEV (/T      /,/P      /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    01.05.70
CA    W.ZIMMERER
CL-CARD MISSING
C$P   DICHTE                                                      KG/M3
C$M   HELIUM-GAS
CP    T
CP    TEMPERATUR                                                  K
CP    P
CP    DRUCK                                                       N/M2
CP    TK     10.<=273.<=TK<=1473.<=1.E5
CP    $
CP    PN     1.<=1.E5<=PN<=1.E7<=1.E8
      CCMMCN/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99998
      CALL $NUMBR(ROHEV ,'RCHEV ',NUMBR$( 2), 2,1,I,&99999)
C$T
99998 ROHEV= 1./VOHEV(T,P)
99999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION RSHEV (/DUMMY /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    01.05.70
CA    W.ZIMMERER
C$P   SPEZIELLE GASKONSTANTE                                    J/KG.K
C$M   HELIUM-GAS
CP    DUMMY
CP    DUMMY-PARAMETER
CL    K. BAMMERT,DIE THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON HELIUM ALS
CL    ARBEITSMEDIUM FUER NUKLEARE GASTURBINEN
CL    KERNTECHNIK,11(1969),88-91
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL $NUMBR(RSHEV ,'RSHEV ',NUMBR$( 0), 0,1,I,&  999)
C$T
99999 RA=4.0025
      RSHEV= 8310./RA
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VOHEV (/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    01.05.70
CA    W.ZIMMERER
C$P   SPEZ. VOLUMEN                                             M3/KG
C$M   HELIUM-GAS
CP    TK    10.<=273.<=TK<=1473.<=1.E5
CP    TEMPERATUR                                                      K
CP    PN    1.<=1.E5<=PN<=1.E7<=1.E8
CP    DRUCK                                                     N/M2
CL    K. BAMMERT,DIE THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON HELIUM ALS
CL    ARBEITSMEDIUM FUER NUKLEARE GASTURBINEN
CL    KERNTECHNIK,11(1969),88-91
CS    RANGE
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL $NUMBR(VOHEV ,'VOHEV ',NUMBR$( 2), 2,1,I,&  999)
      CALL RANGE(VOHEV,'VOHEV ',1,273.15,1473.15,10.,1.E5,TK,&999)
      CALL RANGE(VOHEV,'VOHEV ',2,1.E5,1.E7,1.,1.E8,PN,&999)
C$T
99999 VOHEV= (TK/PN + 1.13E-5/TK**0.3333-2.370E-2/(TK*TK))*RSHEV(DUMMY)
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION WLHEV (/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    01.05.70
CA    W.ZIMMERER
C$P   WAERMELEITFAEHIGKEIT                                        W/M.K
C$M   HELIUM-GAS
CP    TK     10.<=273.<=TK<=1473.<=1.E5
CP    TEMPERATUR                                                        K
CP    PN     1.<=1.E5<=PN<=1.E7<=1.E8
CP    DRUCK                                                       N/M2
CL    H. PETERSEN,ESTIMATION OF THE PROPERTIES OF HELIUM
CL    RISO-M-622,FEBR. 1969
CS    RANGE
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL $NUMBR(WLHEV ,'WLHEV ',NUMBR$( 2), 2,1,I,&  999)
      CALL RANGE(WLHEV,'WLHEV ',1,273.,1473.,10.,1.E5,TK,&999)
      CALL RANGE(WLHEV,'WLHEV ',2,1.E5,1.E7,1.,1.E8,PN,&999)
C$T
99999 WLHEV= 0.144*(TK/273.15)**0.70*(1.+2.E-9*PN)
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ZDHEV (/TK     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    28.01.71
CA    N.N.
C$P   DYNAMISCHE VISKOSITAET                                      N.S/M2
C$M   HELIUM-GAS
CP    TK     10.<=273.<=TK<=1473.<=1.E5
CP    TEMPERATUR                                                        K
CL    H. PETERSEN,ESTIMATION OF THE PROPERTIES OF HELIUM
CL    RISO-M-622,FEBR. 1969
CS    RANGE
C$F
      CALL RANGE(ZDHEV,'ZDHEV ',1,273.,1473.,10.,1.E5,TK,&999)
C$T
      ZDHEV= 1.855E-5*(TK/273.16)**0.68
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION CPAIRV(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
C$P   SPEZ. WAERME B. CONST. DRUCK                                J/KG.K
C$M   LUFT
CP    TK            1.<=303.<=TK<=674.<=5.E4
CP    TEMPERATUR                                                        K
CP    PN            1.E-60<=1.E4<=PN<=4.E6<=3.E8
CP    DRUCK                                                       N/M2
CA    W.ZIMMERER & H.SCHNAUDER
CL    A.VRIJS, IRB-ARBEITSBERICHT NR.39/67, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.133
CL    TITEL: THERMODYNAMISCHE STOFFWERTE VON LUFT
CS    RANGE
      REAL A(4)/-4.515E-11, 1.048E-7, -2.524E-5, 2.386E-1/
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL RANGE(CPAIRV,'CPAIRV',1,303.,674.,1.,5.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(CPAIRV,'CPAIRV',2,1.E4,4.E6,1.E-60,3.E8,PN,&999)
C$T
99999 CPO=0.
      DO 3 J=1,4
    3 CPO=CPO*TK+A(J)
      CPAIRV= (CPO*(1.+1.98E-3*(PN*0.986923E-5 - 1.)*(273.16/TK)**2.4))
     1  *4.1868E3
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION CVAIRV(/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
C$P   SPEZ. WAERME B. CONST. VOLUMEN                          J/KG.K
C$M   LUFT
CP    TK            10.<=223.15<=TK<=673.15<=3800.
CP    TEMPERATUR                                                     K
CP    PN            0.1<=1.E5<=PN<=5.E7<=1.E11
CP    DRUCK                                                   N/M2
CA    W.ZIMMERER
CL    DIE THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN DER LUFT VON :
CL    H.D.BAER UND K.SCHWIER, SPRINGER-VERLAG BERLIN 1961
CS    RANGE
      REAL P(9)/2.328882, 3.371796E-1, -2.720998E-1, 1.075796E-1,
     1  -2.203692E-2, 2.624956E-3, -1.852063E-4, 0.7216E-5, -1.2E-7/,
     2  N1(8)/1.160292, 1.950900, 8.341E-3, -0.326242, 0.529476,
     3  9.2374E-2, 0.193293, 0.174370/,
     4  N2(8)/ -0.507108, -2.879661, -.307498, 1.670646, -0.474155,
     5  -0.846529, -0.766783, 0./
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL RANGE(CVAIRV,'CVAIRV',1,223.15,673.15,10.,3800.,TK,&999)
      CALL RANGE(CVAIRV,'CVAIRV',2,1.E5,5.E7,0.1,1.E11,PN,&999)
C$T
99999 TETA= TK/132.52
      CHI= 3.19E-3*ROAIRV(TK,PN)-1.
      XN= 1.
      SUM= 0.
      DO 300 I=1,9
      SUM= SUM+P(I)*XN
  300 XN= XN*TETA
      XN= 1.
      DO 301 I=1,8
      SUM= SUM+(N1(I)/(TETA*TETA)+N2(I)/(TETA*TETA*TETA))*XN
  301 XN= XN*CHI
      CVAIRV= SUM*287.22
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION EHAIRV(/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
C$P   ENTHALPIE                                                  J/KG
C$M   LUFT
CP    TK            10.<=223.15<=TK<=673.15<=3800.
CP    TEMPERATUR                                                       K
CP    PN            0.1<=1.E5<=PN<=5.E7<=1.E11
CP    DRUCK                                                      N/M2
CA    W.ZIMMERER
CL    DIE THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN DER LUFT VON :
CL    H.D.BAER UND K.SCHWIER, SPRINGER-VERLAG BERLIN 1961
CS    RANGE
      REAL Q(10)/5.544316E-2, 2.3288824, 1.6858981E-1, -9.0699946E-2,
     1 2.689491E-2, -4.4073844E-3, 4.3749271E-4, -2.6458042E-5, 9.02E-7,
     2 -1.3333333E-8/, M1(8)/-8.87155E-1, -7.35823E-1, -4.042E-3,
     3 2.1536E-2, 2.16772E-1, -3.8791E-2, 3.728E-3, 8.2381E-2/,
     4 M2(8)/-1.160292, -1.9509, -8.341E-3, 3.26242E-1, -5.29476E-1,
     5 -9.2374E-2, -1.93293E-1, -1.74370E-1/, M3(8)/2.53554E-1,
     6 1.439831, 1.53749E-1, -8.35323E-1, 2.37077E-1, 4.23264E-1,
     7  3.83392E-1, 0./, K1(9)/5.002039, 7.598056, 3.465304,
     8  4.53735E-1, -6.98108E-1, 9.0003E-2, 6.4788E-2, -7.43022E-1,
     9  -4.35251E-1/, K2(9)/-2.327576, -4.680725, -2.174357,
     1  3.125956, 5.076446, 1.586512, 1.352110, 3.719013, 1.824133/,
     2  K3(9)/-3.085569, -6.197521, -1.590371, -0.280159,
     3  -5.881947, -6.645001,-6.329591, -5.695303, -1.930506/,
     4  K4(9)/1.518170, 3.360568, -0.475690, -3.960499,
     5  1.588962, 7.888349, 7.082484, 2.425508, 0./
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL RANGE(EHAIRV,'EHAIRV',1,223.15,673.15,10.,3800.,TK,&999)
      CALL RANGE(EHAIRV,'EHAIRV',2,1.E5,5.E7,0.1,1.E11,PN,&999)
C$T
99999 TETA= TK/132.52
      CHI= 3.19E-3*ROAIRV(TK,PN) - 1.
      XN= 1.
      SUM1= 0.
      DO 300 I=1,8
      SUM1= SUM1+(M1(I)+M2(I)/TETA+M3(I)/(TETA*TETA))*XN
  300 XN= XN*CHI
      XN= 1.
      DO 301 I=1,10
      SUM1= SUM1+Q(I)*XN
  301 XN= XN*TETA
      XN= 1.
      SUM3= 0.
      DO 302 I=1,9
      SUM3= SUM3+(K1(I)*TETA+K2(I)+K3(I)/TETA+K4(I)/(TETA*TETA))*XN
  302 XN= XN*CHI
      EHAIRV= (SUM1+SUM3/(3.16323*(CHI+1.)))*38062.3944
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ESAIRV(/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
C$P   ENTROPIE                                                  J/KG.K
C$M   LUFT
CP    TK            10.<=223.15<=TK<=673.15<=3800.
CP    TEMPERATUR                                                       K
CP    PN            0.1<=1.E5<=PN<=5.E7<=1.E11
CP    DRUCK                                                     N/M2
CA    W.ZIMMERER
CL    DIE THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN DER LUFT VON :
CL    H.D.BAER UND K.SCHWIER, SPRINGER-VERLAG BERLIN 1961
CS    RANGE
      REAL R(9)/1.606294E1, 3.371796E-1, -1.360499E-1, 3.585988E-2,
     1  -5.509231E-3, 5.249913E-4, -3.086772E-5, 1.030857E-6, -1.5E-8/,
     2  L1(8)/-0.504254, -0.581309, -0.119689, -0.011811, 0.041701,
     3  -0.015496, -0.006717, 0.019657/,
     4  L2(8)/-0.580145, -0.975450, -0.004171, 0.163121, -0.264738,
     5  -0.046187, -0.096647, -0.087185/,
     6  L3(8)/0.169036, 0.959887, 0.102499, -0.556882, 0.158052,
     7  0.282176, 0.255594, 0./
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL RANGE(ESAIRV,'ESAIRV',1,223.15,673.15,10.,3800.,TK,&999)
      CALL RANGE(ESAIRV,'ESAIRV',2,1.E5,5.E7,0.1,1.E11,PN,&999)
C$T
99999 TETA= TK/132.52
      CHI= 3.19E-3*ROAIRV(TK,PN) - 1.
      XN= 1.
      SUM= 0.
      DO 300 I=1,9
      SUM= SUM+R(I)*XN
  300 XN= XN*TETA
      XN= 1.
      DO 301 I=1,8
      SUM= SUM+(L1(I)+L2(I)/(TETA*TETA)+L3(I)/(TETA*TETA*TETA))*XN
  301 XN= XN*CHI
      ESAIRV= (SUM+2.328882*ALOG(TETA)-ALOG(CHI+1.))*287.22
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION PRAIRV(/T      /,/P      /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
C$P   PRANDTL-ZAHL                                                  1
C$M   LUFT
CP    T
CP    TEMPERATUR                                                    K
CP    P
CP    DRUCK                                                         N/M2
CA    W.ZIMMERER
CL    A.VRIJS, IRB-ARBEITSBERICHT NR.39/67, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.133
CL    TITEL: THERMODYNAMISCHE STOFFWERTE VON LUFT
CS    RANGE,CPAIRV,ZDAIRV,WLAIRV
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99998
C$T
99998 PRAIRV= CPAIRV(T,P)*ZDAIRV(T,P)/WLAIRV(T,P)
99999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ROAIRV(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
C$P   DICHTE                                                        KG/M3
C$M   LUFT
CP    TK            1.<=303.<=TK<=674.<=5.E4
CP    TEMPERATUR                                                          K
CP    PN            1.E-60<=1.E4<=PN<=4.E6<=3.E8
CP    DRUCK                                                         N/M2
CA    W.ZIMMERER & H.SCHNAUDER
CL    A.VRIJS, IRB-ARBEITSBERICHT NR.39/67, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.133
CL    TITEL: THERMODYNAMISCHE STOFFWERTE VON LUFT
CS    RANGE
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99999
      CALL RANGE(ROAIRV,'ROAIRV',1,303.,674.,1.,5.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(ROAIRV,'ROAIRV',2,1.E4,4.E6,1.E-60,3.E8,PN,&999)
C$T
99999 ROAIRV= 1.2923*0.986923E-5*PN*(273.16/TK)*(1.-3.88E-4*0.986923E-5*
     1  PN*(1.-0.575*(ABS((650.-TK)/273.16))**3.4))
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VOAIRV(/T      /,/P      /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
CL-CARD MISSING
C$P   SPEZ. VOLUMEN                                          M3/KG
C$M   LUFT
CP    T
CP    TEMPERATUR                                             K
CP    P
CP    DRUCK                                                  N/M2
CA    W.ZIMMERER
CS    RCAIRV,RANGE
      COMMON/$TEST$/ NOTEST
      LOGICAL*1 NOTEST
C$F
      IF(NOTEST) GOTO 99998
C$T
99998 VOAIRV= 1./ROAIRV(T,P)
99999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION WLAIRV(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    09.02.71
C$P   WAERMELEITFAEHIGKEIT                                   W/M.K
C$M   LUFT
CP    TK            1.<=303.<=TK<=674.<=5.E4
CP    TEMPERATUR                                                   K
CP    PN            1.E-60<=1.E4<=PN<=4.E6<=3.E8
CP    DRUCK                                                  N/M2
CA    W.ZIMMERER & H.SCHNAUDER
CL    "THERMODYNAMISCHE STOFFWERTE VON LUFT, KOHLENDIOXYD UND
CL    STICKSTOFF";  K.HAMMEKE, G.PIETRALLA, K.H.PRESSER;
CL    KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH;  REPORT JUEL-383-RB 1966
CS    RANGE
      REAL A(4)/3.3E-14, -1.062E-8, 6.342E-5, 4.121E-3/
C$F
      CALL RANGE(WLAIRV,'WLAIRV',1,273.15,1373.15,1.,5.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(WLAIRV,'WLAIRV',2,1.E4,4.E6,1.E-60,3.E8,PN,&999)
C$T
      WLAIRV= 0.
      DO 300 J=1,4
  300 WLAIRV= WLAIRV*TK+A(J)
      IF (PN.GT.1.013E5) GOTO 1
      IF (TK.GT.300.) GOTO 998
      WLAIRV= 0.0209+6.E-5*(TK-273.15)
      GOTO 998
    1 WLAIRV= WLAIRV*(1.+2.381E-3*(PN*0.986923E-5 - 1.)*(273.16/TK)**2)
  998 WLAIRV= WLAIRV*0.859845
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ZDAIRV(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    09.02.71
C$P   DYNAMISCHE VISKOSITAET                                    N.S/M2
C$M   LUFT
CP    TK            1.<=303.<=TK<=674.<=5.E4
CP    TEMPERATUR                                                        K
CP    PN            1.E-60<=1.E4<=PN<=4.E6<=3.E8
CP    DRUCK                                                     N/M2
CA    W.ZIMMERER & H.SCHNAUDER
CL    "THERMODYNAMISCHE STOFFWERTE VON LUFT, KOHLENDIOXYD UND
CL    STICKSTOFF";  K.HAMMEKE, G.PIETRALLA, K.H.PRESSER;
CL    KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH;  REPORT JUEL-383-RB 1966
CS    RANGE
C$F
      CALL RANGE(ZDAIRV,'ZDAIRV',1,273.15,1300.,1.,5.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(ZDAIRV,'ZDAIRV',2,1.E4,4.E6,1.E-60,3.E8,PN,&999)
C$T
      ZDAIRV= (1.486E-7*SQRT(TK))/(1.+110.4/TK)
      IF (PN.GT.1.013E5) GOTO 1
      IF (TK.GT.300.) GOTO 998
      ZDAIRV= 1.754E-6 + 5.E-9*(TK-273.15)
      GOTO 998
    1 ZDAIRV= ZDAIRV*(1.+1.655E-3*(PN*0.986923E-5 -1.)*(273.16/TK)**2.8)
  998 ZDAIRV= ZDAIRV*9.80665
  999 RETURN
      END



      FUNCTION CPCO2V(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   SPEZ. WAERME B. CONST. DRUCK                              J/KG.K
C$M   CO2-GAS
CP    TK      216.<=273.<=TK<=1074.<=10000.
CP    TEMPERATUR                                                K
CP    PN      0.<=0.<=PN<=1.5E7<=1.5E8
CP    DRUCK                                                     N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,VERCO2,ROCO2V,CVCO2V
C$F
      CALL RANGE(CPCO2V,'CPCO2V',1,273.,1074.,216.,1.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(CPCO2V,'CPCO2V',2,0.,1.5E7,0.,1.5E8,PN,&999)
      CALL VERCO2(CPCO2V,'CPCO2V',TK,PN,&999)
C$T
      RO=ROCO2V(TK,PN)
      CPCO2V= CVCO2V(TK,PN)+1.E5*TK*((RO*56.5627/(TK*TK*TK)+1.887587E-3)
     1**2)*((1./RO+2.3774E-3-3.905198E-6*RO)**2)/(2.E-5*PN
     2/(RO*RO*RO)-28.2813/(TK*TK)*(1./RO+2.3774E-3-3.905198E-6*RO)-
     31.887587E-3*TK*(1.-14982.82*RO/(TK*TK*TK))*(1./(RO*RO)+3.905198E
     4 -6)+4.222E-6)
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION CVCO2V(/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   SPEZ. WAERME B. CONST. VOLUMEN                                J/KG.K
C$M   CO2-GAS
CP    TK      216.<=273.<=TK<=1074.<=10000.
CP    TEMPERATUR                                                    K
CP    PN      0.<=0.<=PN<=1.5E7<=1.5E8
CP    DRUCK                                                         N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,VERCO2,ROCO2V
      REAL A(9)/0., 2.083973, -2.556234E-3, 2.209572E-6, -1.212563E-9,
     1          3.0826324E-13, 1., 1.1887E-13, -1.30173E-6/
C$F
      CALL RANGE(CVCO2V,'CVCO2V',1,273.,1074.,216.,1.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(CVCO2V,'CVCO2V',2,0.,1.5E7,0.,1.5E8,PN,&999)
      CALL VERCO2(CVCO2V,'CVCO2V',TK,PN,&999)
C$T
      RC=ROCO2V(TK,PN)
      B=0.
      XN=1.
      DO 300 J=7,9
      XN=XN*RC
      TN=A(J)*XN
      B=B+TN
  300 CONTINUE
      B= 1.69688E7/(TK*TK*TK)*B+209.258
      XN=1.
      DO 301 J=2,6
      XN=XN*TK
      TN=A(J)*XN
      B=B+TN
  301 CONTINUE
      CVCO2V= B
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION EHCO2V(/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   ENTHALPIE                                                J/KG
C$M   CO2-GAS
CP    TK      216.<=273.<=TK<=1074.<=10000.
CP    TEMPERATUR                                               K
CP    PN      0.<=0.<=PN<=1.5E7<=1.5E8
CP    DRUCK                                                    N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,VERCO2,ROCO2V
      REAL A(7)/0., 2.092581E2, 1.041986, -0.852078E-3, 0.552393E-6,
     1          -0.242513E-9, 0.513772E-13/
C$F
      CALL RANGE(EHCO2V,'EHCO2V',1,273.,1074.,216.,1.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(EHCO2V,'EHCO2V',2,0.,1.5E7,0.,1.5E8,PN,&999)
      CALL VERCO2(EHCO2V,'EHCO2V',TK,PN,&999)
C$T
      RO= ROCO2V(TK,PN)
      B= 1.E3*(1.E-3*PN/RO+(0.2610879*RO*(0.808585E-3*RO-1.)-8484.4*RO
     1/(TK*TK)*(1.+1.1887E-3*RO-1.301733E-6*RO*RO)))+20043.16
      XN=1.
      DO 300 J=2,7
      XN=XN*TK
      TN=A(J)*XN
      B=B+TN
  300 CONTINUE
      EHCO2V= B
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ESCO2V(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   ENTROPIE                                                  J/KG.K
C$M   CO2-GAS
CP    TK      216.<=273.<=TK<=1074.<=10000.
CP    TEMPERATUR                                                K
CP    PN      0.<=0.<=PN<=1.5E7<=1.5E8
CP    DRUCK                                                     N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,VERCO2,ROCO2V
      REAL A(6)/0., 2.083973, -1.278117E-3, 0.736524E-6, -0.303141E-9,
     1          0.6165265E-13/
C$F
      CALL RANGE(ESCO2V,'ESCO2V',1,273.,1074.,216.,1.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(ESCO2V,'ESCO2V',2,0.,1.5E7,0.,1.5E8,PN,&999)
      CALL VERCO2(ESCO2V,'ESCO2V',TK,PN,&999)
C$T
      RO=ROCO2V(TK,PN)
      B= 209.25808*ALOG(TK)+188.7586*ALOG(1./RO)-0.448757*RO*
     1(1.-0.8213E-3*RO)-5.65627E-6*RO/(TK*TK*TK)*(1.+1.1887E-3*RO
     2-1.301733E-6*RO*RO)+3249.457
      XN=1.
      DO 300 J=2,6
      XN=XN*TK
      TN=A(J)*XN
      B=B+TN
  300 CONTINUE
      ESCO2V= B
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION PRCO2V(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   PRANDTL-ZAHL                                              1
C$M   CO2-GAS
CP    TK      216.<=273.<=TK<=1074.<=10000.
CP    TEMPERATUR                                                K
CP    PN      0.<=0.<=PN<=1.5E7<=1.5E8
CP    DRUCK                                                     N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,VERCO2,ROCO2V,CPCO2V,WLCO2V,ZDCO2V,CVCO2V
C$F
      CALL RANGE(PRCO2V,'PRCO2V',1,273.,1074.,216.,1.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(PRCO2V,'PRCO2V',2,0.,1.5E7,0.,1.5E8,PN,&999)
      CALL VERCO2(PRCO2V,'PRCO2V',TK,PN,&999)
C$T
      PRCO2V= ZDCO2V(TK,PN)*CPCO2V(TK,PN)/WLCO2V(TK,PN)
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ROCO2V(/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   DICHTE                                                    KG/M3
C$M   CO2-GAS
CP    TK      216.<=273.<=TK<=1074.<=10000.
CP    TEMPERATUR                                                K
CP    PN      0.<=0.<=PN<=1.5E7<=1.5E8
CP    DRUCK                                                     N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,VERCO2
      DIMENSION AA(4)
C$F
      CALL RANGE(ROCO2V,'ROCO2V',1,273.,1074.,216.,1.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(ROCO2V,'ROCO2V',2,0.,1.5E7,0.,1.5E8,PN,&999)
      CALL VERCO2(ROCO2V,'ROCO2V',TK,PN,&999)
C$T
      EDTQUA=1./(TK*TK)
      AA(1)=1.8777855E-3*TK
      AA(2)=2.2980679E-6*TK-72.068137*EDTQUA-1.2468571E-3
      AA(3)=1.1352605E-7-1.7536703E-9*TK-3.2412948E-2*EDTQUA
      AA(4)=5.1865228E-4*EDTQUA
      RC=5.2972E-3*PN/TK
    5 PPOI=0.
      PPO= -1.E-5*PN
      XN=1.
      DO 300 J=1,4
      PVI=AA(J)*XN*FLOAT(J)
      XN=XN*RC
      PV=AA(J)*XN
      PPOI=PPOI+PVI
      PPO=PPO+PV
  300 CONTINUE
      RO= RO-PPO/PPOI
      IF (ABS(PPO) - 1.E-3) 2,2,5
    2 ROCO2V= RO
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION RSCO2V(/DUMMY /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   SPEZIELLE GASKONSTANTE                                    J/KG.K
C$M   CO2-GAS
CP    DUMMY
CP    DUMMY PARAMETER                                           1
CL    R.W. POHL, BAND1-EINFUEHRUNG IN DIE PHYSIK, 16. AUFLAGE(1964)
CL    SPRINGER-VERLAG
      RA= 44.01
      RSCO2V= 8310./RA
99999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VOCO2V(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   SPEZ. VOLUMEN                                          M3/KG
C$M   CO2-GAS
CP    TK      216.<=273.<=TK<=1074.<=10000.
CP    TEMPERATUR                                             K
CP    PN      0.<=0.<=PN<=1.5E7<=1.5E8
CP    DRUCK                                                  N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBER,NUMBR$,RANGE,VERCO2,ROCO2V
C$F
      CALL RANGE(VOCO2V,'VOCO2V',1,273.,1074.,216.,1.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(VOCO2V,'VOCO2V',2,0.,1.5E7,0.,1.5E8,PN,&999)
      CALL VERCO2(VOCO2V,'VOCO2V',TK,PN,&999)
C$T
      VOCO2V= 1./ROCO2V(TK,PN)
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VPCO2V(/TK     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   SATTDAMPFDRUCK                                         N/M2
C$M   CO2-GAS
CP    TK      50.<=216.5<=TK<=304.3<=660.
CP    TEMPERATUR                                             K
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE
      REAL A(5)/2.98426,-6.22982E-3,1.05784E-4,-9.21483E-7,3.72320E-9/
C$F
      CALL RANGE(VPCO2V,'VPCO2V',1,216.5,304.3,50.,660.,TK,&999)
C$T
      T= 304.2
      X= T-TK
      B=0.
      XN=1.
      DO 300 J=1,5
      XN=XN*X
      TN=A(J)*XN
      B=B+TN
  300 CONTINUE
      B=-B/TK
      VPCO2V= 0.980665E5*75.379*10.**B
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VTCO2V(/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   SATTDAMPFTEMPERATUR                                        K
C$M   CO2-GAS
CP    PN      1.E5<=5.28E5<=PN<=7.54E6<=7.8E6
CP    DRUCK                                                      N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE
      REAL A(5)/2.98426,-6.22982E-3,1.05784E-4,-9.21483E-7,3.72320E-9/
C$F
      CALL RANGE(VTCO2V,'VTCO2V',2,5.28E5,7.54E6,1.E5,7.8E6,PN,&999)
C$T
      TS= -875.186/(ALOG10(PN*0.986923E-5)-4.73009)-273.16
      P=PN*1.019716E-5
      T= 304.2
      PK=75.379
    6 TT= TS+273.16
      X= T-TT
      B=0.
      XN=1.
      DO 300 J=1,5
      XN=XN*X
      TN=A(J)*XN
      B=B+TN
  300 CONTINUE
      B= -B/TT
      DPS=PK*10.**B-P
      TS=TS-DPS
      IF (ABS(DPS) - 1.E-3) 2,2,6
    2 VTCO2V= TS+273.16
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION WLCO2V(/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   WAERMELEITFAEHIGKEIT                                       W/M.K
C$M   CO2-GAS
CP    TK      216.<=273.<=TK<=1074.<=10000.
CP    TEMPERATUR                                                 K
CP    PN      0.<=0.<=PN<=1.5E7<=1.5E8
CP    DRUCK                                                      N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,VERCO2,ROCO2V
C$F
      CALL RANGE(WLCO2V,'WLCO2V',1,273.,1074.,216.,1.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(WLCO2V,'WLCO2V',2,0.,1.5E7,0.,1.5E8,PN,&999)
      CALL VERCO2(WLCO2V,'WLCO2V',TK,PN,&999)
C$T
      RO=ROCO2V(TK,PN)
      WLCO2V= (3.333*SQRT(TK)/(1.+4433./(TK*10.**(10./TK)))
     1-4.+10.**(0.6021+0.405*RO/TK))/239.233
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ZDCO2V(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    16.12.70
CA    H. SCHNAUDER  &  W. ZIMMERER
C$P   DYNAMISCHE VISKOSITAET                                    N.S/M2
C$M   CO2-GAS
CP    TK      216.<=273.<=TK<=1074.<=10000.
CP    TEMPERATUR                                                K
CP    PN      0.<=0.<=PN<=1.5E7<=1.5E8
CP    DRUCK                                                     N/M2
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,VERCO2,ROCO2V
C$F
      CALL RANGE(ZDCO2V,'ZDCO2V',1,273.,1074.,216.,1.E4,TK,&999)
      CALL RANGE(ZDCO2V,'ZDCO2V',2,0.,1.5E7,0.,1.5E8,PN,&999)
      CALL VERCO2(ZDCO2V,'ZDCO2V',TK,PN,&999)
C$T
      RO=ROCO2V(TK,PN)
      ZDCO2V=(1.554*SQRT(TK)/(1.+246./(TK*10.**(3./TK)))
     1-7.+10.**(0.8451+0.4667*RO/TK))*1.E-6
  999 RETURN
      END



      SUBROUTINE VERCO2(Y,PROG,T,P,*)
CA    W. ZIMMERER
CL    SUBROUTINE VERCO2 ENTHAELT ABFRAGE DES GUELTIGKEITSBEREICHES DER
CL    FUNKTIONEN:  ROCO2V,VOCO2V,EHCO2V,ESCO2V,CVCO2V,CPCO2V,ZDCO2V,
CL    WLCO2V,PRCO2V  SOWIE FEHLERMELDUNG BEI BEREICHSUEBERSCHREITUNG
CL    H. SCHNAUDER, IRE-NOTIZ NR.26/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.182
      DIMENSION PROG(2),VALUE(4)
      REAL PP(8)/1.32E7,1.04E7,7.6E6,7.2E6,6.1E6,5.1E6,3.6E6,3.E6/
      TT= 353.16
      DO 300 J=1,8
      IF (T.GE.TT) RETURN
      IF (P.LE.PP(J)) GOTO 2
      GOTO 3
    2 TT= TT-10.
  300 CONTINUE
      RETURN
    3 Y= 1.
      INTEGER TEXT(34)/'                    THE ARGUMENTS TK='',G10.3,''
     1 AND PN='',G10.3,''        OUT OF VALIDITY RANGE OF      '',A4,A2,'
     2' STANDARD VALUE = 1.'')'/
      VALUE(1) = T
      VALUE(2) = P
      VALUE(3) = PROG(1)
      VALUE(4) = PROG(2)
      CALL $WARN(TEXT,VALUE,4,3)
      RETURN 1
      END
```

```
      FUNCTION EHH2OL(/T      /,/P      /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
C$P   ENTHALPIE                                                J/KG
C$M   WASSER, FLUESSIG
CP    T         273.<=AMAX1(VTH2O(P),273.16)<=TK<=1073.15<=1074.
CP    TEMPERATUR                                               K
CP    P        1.E-30<=1.E-30<=PN<=1.E8<=1.E8
CP    DRUCK                                                    N/M2
CL    H. SPILKER, IRE-BERICHT NR.62/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.151
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,WUDZ$,FUNCT$,$ITER,$SUB1,$SUB2,$SUB3,$SUB4,
CS    $WARN
C$N   1
      INTEGER JSOLL(2)/1,2/
      CALL $NUMBR(EHH2OL,'EHH2OL',NUMBR$(2),JSOLL,2,I,&111)
      IF (I-1) 1,1,2
CB    SUBROUTINE $NUMBR PRUEFT DIE ARGUMENTENZAHL; WIRD NUR ARGUMENT
CB       T GELIEFERT, DANN WIRD DER SATTDAMPFDRUCK BERECHNET UND
CB       DIESER DRUCK-WERT NACH PS UMGESPEICHERT
    1 PS= VPH2O(T)
      GOTO 3
    2 PS= P
    3 EHH2OL= WUDZ$(T,PS,2,1,'EHH2OL')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ESH2OL(/T      /,/P      /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
C$P   ENTROPIE                                                 J/KG.K
C$M   WASSER, FLUESSIG
CP    T         273.<=AMAX1(VTH2O(P),273.16)<=TK<=1073.15<=1074.
CP    TEMPERATUR                                               K
CP    P        1.E-30<=1.E-30<=PN<=1.E8<=1.E8
CP    DRUCK                                                    N/M2
CL    H. SPILKER, IRE-BERICHT NR.62/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.151
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,WUDZ$,FUNCT$,$ITER,$SUB1,$SUB2,$SUB3,$SUB4,
CS    $WARN
C$N   1
      INTEGER JSOLL(2)/1,2/
      CALL $NUMBR(ESH2OL,'ESH2OL',NUMBR$(2),JSOLL,2,I,&111)
      IF (I-1) 1,1,2
CB    SUBROUTINE $NUMBR PRUEFT DIE ARGUMENTENZAHL; WIRD NUR ARGUMENT
CB       T GELIEFERT, DANN WIRD DER SATTDAMPFDRUCK BERECHNET UND
CB       DIESER DRUCK-WERT NACH PS UMGESPEICHERT
    1 PS= VPH2O(T)
      GOTO 3
    2 PS= P
    3 ESH2OL= WUDZ$(T,PS,3,1,'ESH2OL')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VOH2OL(/T      /,/P      /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
C$P   SPEZ. VOLUMEN                                          M3/KG
C$M   WASSER, FLUESSIG
CP    T         273.<=AMAX1(VTH2O(P),273.16)<=TK<=1073.15<=1074.
CP    TEMPERATUR                                             K
CP    P       1.E-30<=1.E-30<=PN<=1.E8<=1.E8
CP    DRUCK                                                  N/M2
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
CL    H. SPILKER, IRE-BERICHT NR.62/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.151
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,WUDZ$,FUNCT$,$ITER,$SUB1,$SUB2,$SUB3,$SUB4,
CS    $WARN
C$N   1
      INTEGER JSOLL(2)/1,2/
      CALL $NUMBR(VOH2OL,'VOH2OL',NUMBR$(2),JSOLL,2,I,&111)
      IF (I-1) 1,1,2
CB    SUBROUTINE $NUMBR PRUEFT DIE ARGUMENTENZAHL; WIRD NUR ARGUMENT
CB       T GELIEFERT, DANN WIRD DER SATTDAMPFDRUCK BERECHNET UND
CB       DIESER DRUCK-WERT NACH PS UMGESPEICHERT
    1 PS= VPH2O(T)
      GOTO 3
    2 PS= P
    3 VOH2OL= WUDZ$(T,PS,1,1,'VOH2OL')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION WLH2OL(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    09.02.71
C$P   WAERMELEITFAEHIGKEIT                                   W/M.K
C$M   WASSER, FLUESSIG
CP    TK        273.17<=273.17<=TK<=973.15<=973.15
CP    TEMPERATUR                                                K
CP    PN        6.E2<=6.E2<=PN<=5.E7<=5.E7
CP    DRUCK                                                  N/M2
CA    W.ZIMMERER
CL    VDI-WASSERDAMPFTAFELN, BIS 800 GRD C UND 1000 AT ;
CL    VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, VON ERNST SCHMIDT ;
CL    SPRINGER-VERLAG BERLIN 1968 ;  7.ERWEITERTE AUFLAGE
CS    RANGE,LAH2O$
      REAL LAH2O$
C$F
      CALL RANGE(WLH2OL,'WLH2OL',1,273.17,973.15,273.17,973.15,TK,&111)
      CALL RANGE(WLH2OL,'WLH2OL',2,6.E2,5.E7,6.E2,5.E7,PN,&111)
C$T
      WLH2OL= LAH2O$(TK,PN,1,'WLH2OL')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ZDH2CL(/TK     /,/PN     /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    09.02.71
C$P   DYNAMISCHE VISKOSITAET                                        N.S/M2
C$M   WASSER, FLUESSIG
CP    TK        273.17<=273.17<=TK<=973.15<=973.15
CP    TEMPERATUR                                                          K
CP    PN        6.E2<=6.E2<=PN<=8.E7<=8.E7
CP    DRUCK                                                         N/M2
CA    W.ZIMMERER
CL    VDI-WASSERDAMPFTAFELN, BIS 800 GRD C UND 1000 AT ;
CL    VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, VON ERNST SCHMIDT ;
CL    SPRINGER-VERLAG BERLIN 1968 ;  7.ERWEITERTE AUFLAGE
CS    RANGE,ETH2O$
C$F
      CALL RANGE(ZDH2OL,'ZDH2OL',1,273.17,973.15,273.17,973.15,TK,&111)
      CALL RANGE(ZDH2OL,'ZDH2OL',2,6.E2,8.E7,6.E2,8.E7,PN,&111)
C$T
      ZDH2OL= ETH2O$(TK,PN,1,'ZDH2CL')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION EHH2OV(/T      /,/P      /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
C$P   ENTHALPIE                                                     J/KG
C$M   WASSERDAMPF
CP    T         273.<=AMAX1(VTH2O(P),273.16)<=TK<=1073.15<=1074.
CP    TEMPERATUR                                                    K
CP    P       1.E-30<=1.E-30<=PN<=1.E8<=1.E8
CP    DRUCK                                                         N/M2
CL    H. SPILKER, IRE-BERICHT NR.62/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.151
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,WUDZ$,FUNCT$,$ITER,$SUB1,$SUB2,$SUB3,$SUB4,
CS    $WARN
C$N   1
      INTEGER JSOLL(2)/1,2/
      CALL $NUMBR(EHH2OV,'EHH2OV',NUMBR$(2),JSOLL,2,I,&111)
      IF (I-1) 1,1,2
CB    SUBROUTINE $NUMBR PRUEFT DIE ARGUMENTENZAHL; WIRD NUR ARGUMENT
CB       T GELIEFERT, DANN WIRD DER SATTDAMPFDRUCK BERECHNET UND
CB       DIESER DRUCK-WERT NACH PS UMGESPEICHERT
    1 PS= VPH2O(T)
      GOTO 3
    2 PS= P
    3 EHH2OV= WUDZ$(T,PS,2,2,'EHH2OV')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ESH2OV(/T      /,/P      /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
C$P   ENTROPIE                                                  J/KG.K
C$M   WASSERDAMPF
CP    T         273.<=AMAX1(VTH2O(P),273.16)<=TK<=1073.15<=1074.
CP    TEMPERATUR                                                K
CP    P        1.E-30<=1.E-30<=PN<=1.E8<=1.E8
CP    DRUCK                                                     N/M2
CL    H. SPILKER, IRE-BERICHT NR.62/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.151
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,WUDZ$,FUNCT$,$ITER,$SUB1,$SUB2,$SUB3,$SUB4,
CS    $WARN
C$N   1
      INTEGER JSOLL(2)/1,2/
      CALL $NUMBR(ESH2OV,'ESH2OV',NUMBR$(2),JSOLL,2,I,&111)
      IF (I-1) 1,1,2
CB    SUBROUTINE $NUMBR PRUEFT DIE ARGUMENTENZAHL; WIRD NUR ARGUMENT
CB       T GELIEFERT, DANN WIRD DER SATTDAMPFDRUCK BERECHNET UND
CB       DIESER DRUCK-WERT NACH PS UMGESPEICHERT
    1 PS= VPH2O(T)
      GOTO 3
    2 PS= P
    3 ESH2OV= WUDZ$(T,PS,3,2,'ESH2OV')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VOH2OV(/T      /,/P      /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
C$P   SPEZ. VOLUMEN                                             M3/KG
C$M   WASSERDAMPF
CP    T         273.<=AMAX1(VTH2O(P),273.16)<=TK<=1073.15<=1074.
CP    TEMPERATUR                                                K
CP    P        1.E-30<=1.E-30<=PN<=1.E8<=1.E8
CP    DRUCK                                                     N/M2
CL    H. SPILKER, IRE-BERICHT NR.62/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.151
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE,WUDZ$,FUNCT$,$ITER,$SUB1,$SUB2,$SUB3,$SUB4,
CS    $WARN
C$N   1
      INTEGER JSOLL(2)/1,2/
      CALL $NUMBR(VOH2OV,'VOH2OV',NUMBR$(2),JSOLL,2,I,&111)
      IF (I-1) 1,1,2
CB    SUBROUTINE $NUMBR PRUEFT DIE ARGUMENTENZAHL; WIRD NUR ARGUMENT
CB       T GELIEFERT, DANN WIRD DER SATTDAMPFDRUCK BERECHNET UND
CB       DIESER DRUCK-WERT NACH PS UMGESPEICHERT
    1 PS= VPH2O(T)
      GOTO 3
    2 PS= P
    3 VOH2OV= WUDZ$(T,PS,1,2,'VOH2OV')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION WLH2OV(/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    09.02.71
C$P   WAERMELEITFAEHIGKEIT                                        W/M.K
C$M   WASSERDAMPF
CP    TK        273.17<=273.17<=TK<=973.15<=973.15
CP    TEMPERATUR                                                        K
CP    PN        6.E2<=6.E2<=PN<=5.E7<=5.E7
CP    DRUCK                                                       N/M2
CA    W.ZIMMERER
CL    VDI-WASSERDAMPFTAFELN, BIS 800 GRD C UND 1000 AT ;
CL    VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, VON ERNST SCHMIDT ;
CL    SPRINGER-VERLAG BERLIN 1968 ;  7.ERWEITERTE AUFLAGE
CS    RANGE,LAH2O$
      REAL LAH2O$
C$F
      CALL RANGE(WLH2OV,'WLH2OV',1,273.17,973.15,273.17,973.15,TK,&111)
      CALL RANGE(WLH2OV,'WLH2OV',2,6.E2,5.E7,6.E2,5.E7,PN,&111)
C$T
      WLH2OV= LAH2O$(TK,PN,2,'WLH2OV')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ZDH2OV(/TK    /,/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    09.02.71
C$P   DYNAMISCHE VISKOSITAET                                      N.S/M2
C$M   WASSERDAMPF
CP    TK        273.17<=273.17<=TK<=973.15<=973.15
CP    TEMPERATUR                                                        K
CP    PN        6.E2<=6.E2<=PN<=8.E7<=8.E7
CP    DRUCK                                                       N/M2
CA    W.ZIMMERER
CL    VDI-WASSERDAMPFTAFELN, BIS 800 GRD C UND 1000 AT ;
CL    VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, VON ERNST SCHMIDT ;
CL    SPRINGER-VERLAG BERLIN 1968 ;  7.ERWEITERTE AUFLAGE
CS    RANGE,ETH2O$
C$F
      CALL RANGE(ZDH2OV,'ZDH2OV',1,273.17,973.15,273.17,973.15,TK,&111)
      CALL RANGE(ZDH2OV,'ZDH2OV',2,6.E2,8.E7,6.E2,8.E7,PN,&111)
C$T
      ZDH2OV= ETH2O$(TK,PN,2,'ZDH2OV')
  111 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ETH2O$(TK,PN,NZ,NAME)
C
CD    22.01.71
CA    W.ZIMMERER
CB    DIESE FUNCTION ENTHAELT DAS RECHENPROGRAMM FUER DIE
CB    DYNAMISCHE ZAEHIGKEIT VON H2O UND H2O-DAMPF
CS    VPH2O,VOH2OV
C
      REAL NAME(2),WERT(4),KAPA,TX(2),ETX(2)
      TETA= TK/647.3
      IF (TK.LT.647.3) GOTO 1
      KAPA= VOH2OV(TK,PN)/3.17E-3
      ETH2O$= 2.6345110E-5*TETA - 3.077205E-6 + 1.11356467E-5/KAPA
     1  +6.73208013E-6/(KAPA*KAPA)+3.20514702E-7/(KAPA*KAPA*KAPA)
      GOTO 999
C
    1 IF (PN.GT.2.2120E7) GOTO 2
      IF (NZ.GT.1) GOTO 3
      IF (PN.LT.(VPH2O(TK)-1.E3)) GOTO 998
    2 IF (TK.GT.573.15) GOTO 996
      ETH2O$= 2.41400E-5*10**(3.82820949E-1/(TETA-2.16283022E-1))*
     1  (1.+(PN*6.7752891E-9 - 0.149869395)*(TETA-4.71188012E-1))
      GOTO 999
C
    3 IF (PN.GT.(VPH2O(TK)+1.E3)) GOTO 998
      IF (TK.GT.573.15) GOTO 997
      ETH2O$= 2.6345110E-5*TETA - 3.077205E-6 -
     1  ((5.86119874E2-1.20475394E3*(TETA-4.21983624E-1))/
     1  (VOH2OV(TK,PN)/3.17E-3))*1.E-7
      GOTO 999
C
  996 IF (PN.GE.2.5E7) GOTO 4
      TX(1)= 563.15
      TX(2)= 573.15
      DO 300 I=1,2
      TETA= TX(I)/647.30
  300 ETX(I)= 2.41400E-5*10**(3.82820949E-1/(TETA-2.16283022E-1))*
     1  (1.+(PN*6.7752891E-9 - 0.149869395)*(TETA-4.71188012E-1))
      GOTO 5
    4 TX(1)= 573.15
      TX(2)= 647.30
      TETA= 0.88544724
      ETX(1)= 2.41400E-5*10**(3.82820949E-1/(TETA-2.16283022E-1))*
     1  (1.+(PN*6.7752891E-9 - 0.149869395)*(TETA-4.71188012E-1))
      TETA= 1.
      KAPA= VOH2OV(647.30,PN)/3.17E-3
      ETX(2)= 2.6345110E-5*TETA - 3.077205E-6 + 1.11356467E-5/KAPA
     1  +6.73208013E-6/(KAPA*KAPA)+3.20514702E-7/(KAPA*KAPA*KAPA)
    5 ETH2O$= ETX(1) - (ETX(1)-ETX(2))*(TK-TX(1))/(TX(2)-TX(1))
      GOTO 999
C
  997 IF (PN.GT.85.92E5) GOTO 6
      TX(1)= 573.15
      TX(2)= 647.30
      TETA= 0.88544724
      ETX(1)= 2.6345110E-5*TETA - 3.077205E-6 -
     1  ((5.86119874E2-1.20475394E3*(TETA-4.21983624E-1))/
     1  (VOH2OV(573.15,PN)/3.17E-3))*1.E-7
      TETA= 1.
      KAPA= VOH2OV(647.30,PN)/3.17E-3
      ETX(2)= 2.6345110E-5*TETA - 3.077205E-6 + 1.11356467E-5/KAPA
     1  +6.73208013E-6/(KAPA*KAPA)+3.20514702E-7/(KAPA*KAPA*KAPA)
      GOTO 7
C
    6 TX(1)= 647.30
```

```
      TX(2)= 657.30
      DO 301 I=1,2
      TETA= TX(I)/647.30
      KAPA= VOH2OV(TX(I),PN)/3.17E-3
  301 ETX(I)= 2.6345110E-5*TETA - 3.077205E-6 + 1.11356467E-5/KAPA
     1  +6.73208013E-6/(KAPA*KAPA)+3.20514702E-7/(KAPA*KAPA*KAPA)
    7 ETH2O$= ETX(2) + (ETX(1)-ETX(2))*(TX(2)-TK)/(TX(2)-TX(1))
      GOTO 999
C
  998 ETH2O$= 1.
      INTEGER INFORM(37)/'                    TEMPERATURE TK ='',G10.3,'
     1' K, PRESSURE PN='',G10.3,'' N/M2  DEFINE AN UNVALID PHASE FOR '',
     2A4,A2,'',STANDARD VALUE= 1.'')'/
      WERT(1)= TK
      WERT(2)= PN
      WERT(3)= NAME(1)
      WERT(4)= NAME(2)
      CALL $WARN(INFORM,WERT,4,3)
C
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION LAH2O$(TK,PN,NZ,NAME)
C
CD    22.01.71
CA    H.SCHNAUDER & W.ZIMMERER
CB    DIESE FUNCTION ENTHAELT DAS RECHENPROGRAMM FUER DIE
CB    WAERMELEITFAEHIGKEIT VON H2O UND H2O-DAMPF
CS    VPH2O
C
      REAL NAME(2),WERT(4),LAH2O$,
     1   A(8)/ 6.7289341, -10.112305, 6.9969538, -2.3160625,
     1  -9.2247000E-1, 50.602258, -1.0566776E2, 55.969057 /,
     2  B(4)/ 1.3202273, -2.4859044, 1.5170819, -2.0954276E-1 /,
     3  C(4)/ -4.5138580E-1, 8.0572613E-1, -4.6683156E-1, 8.1041831E-2/,
     4  AA(9)/ -4.8029415, 2.3602923E1, -5.1440666E1, 3.8860726E1,
     5  3.3476173E1, -1.0103693E2, 1.0122584E2, -4.5690669E1, 1.3653504-
     6  /,  BB(9)/ -1.9584873E1, 1.1367828E2, -3.2700357E2, 3.9736456E2,
     7  9.6823652E1, -7.0306829E2, 5.4299426E2, -8.5668785E1, 1.5144765/
      T= TK-273.15
      P= PN*1.E-5
      KA=0
      DELTA= TK/647.3
      BETA= PN/221.2E5
      IF (T.EQ.700.) GOTO 63
      IF (T.EQ.0.1) GOTO 6
      IF (T.GT.374.15) GOTO 15
      PSAE= 1.E-5*VPH2O(TK)
      IF (PN.GT.2.2120E7) GOTO 1
      IF (NZ.GT.1) GOTO 54
      IF (P.LT.(PSAE-0.1)) GOTO 49
    1 IF (T-350.) 6,6,56
   54 IF (P.GT.(PSAE+0.1)) GOTO 49
      IF (T-350.) 63,63,15
    6 FLA1=A(5)
      FLB1=B(4)
      FLC1=C(4)
      BETAS=BETA-PSAE/221.2
      XDEL=1.
      DO 21 J=1,3
      XDEL=XDEL*DELTA
      FLA1=FLA1+A(J)*XDEL
      FLB1=FLB1+B(J)*XDEL
   21 FLC1=FLC1+C(J)*XDEL
      HLAD= FLA1+A(4)*XDEL*DELTA + BETAS*FLB1 + BETAS*BETAS*FLC1
   19 LAH2O$= HLAD
      GOTO 999
C
   15 HLA=A(6)
      XDEL=1.
      DO 20  J=7,8
      XDEL=XDEL*DELTA
      HL=A(J)*XDEL
   20 HLA=HLA+HL
      PB=221.2*HLA
      IF(KA)8,8,9
    8 IF(P-PB)63,63,65
   65 IF(T-374.15)66,51,56
   66 EM=1.178
      EMM=199.8657-EM*374.15
      BK=P-EM*T
      IF(P-(EM*T+EMM))4,4,12
    4 QK= 1894.3767/A(8)
      QP= QK*(3.4172717E-1*A(7)-EM)
      QQQ=EM*273.15+221.2*A(6)
      QQ=QK*(EM*273.15+221.2*A(6)-BK)
      DELTA= (-0.5*QP+SQRT(0.25*QP*QP-QQ))/647.3
      KA=1
```

```
      GC TO 15
    9 BETA=PB/221.2
      GC TO 63
   12 BETA=(EM*374.15+BK)/221.2
      DELTA=1.
      X=0.14
      GO TO 58
   51 X=0.2
      GC TO 58
   56 IF(P-250.)67,67,68
   67 IF(T-373.6)68,68,69
   69 X=0.22
      GO TO 58
   68 X=0.4
   58 XN=1.
      FLA1=AA(9)
      FLB1=BB(9)
      FLA1I=0.
      FLB1I=0.
      DO 57 L=1,8
      AAL= XN*FLOAT(L)
      XN=XN*X
      FLA1=FLA1+AA(L)*XN
      FLB1=FLB1+BB(L)*XN
      FLA1I=FLA1I+AA(L)*AAL
   57 FLB1I=FLB1I+BB(L)*AAL
      DX= FLA1+(BETA-1.0171790)*FLB1-DELTA
      DXI=FLA1I+(BETA-1.017179)*FLB1I
      X=X-DX/DXI
      IF (ABS(DX).GT.1.E-5) GOTO 58
      IF(X)13,13,14
   14 IF(X-0.6)10,13,13
   13 X=0.4
   29 XN=1.
      FLA1=AA(9)
      FLB1=BB(9)
      DO 17 L=1,8
      XN=XN*X
      FLA1=FLA1+AA(L)*XN
   17 FLB1=FLB1+BB(L)*XN
      DX= FLA1+(BETA-1.0171790)*FLB1-DELTA
      X=X-DX
      IF (ABS(DX).GT.1.E-5) GOTO 29
   10 LAH20$= X
      GOTO 999
   63 GA=1.0124730E-2*BETA+5.1419009E-2
      GB=6.6374269E+5*BETA**1.63/(1.+1.3888064*BETA**3.26)
      GC=((3.3885579E+5*BETA**1.5+5.786E+2)/GB)-2.06E-1
      HLAD=((GA*DELTA**1.445)/(1.-GB*2.1002005E-6*DELTA**(-7))**GC)+(2.3
     1940901E+1*BETA*BETA*BETA*BETA*EXP(-3.1122E+1*(DELTA-1.))/(1.+1.363
     22354E+1*BETA**(-12)))*(1.36E-2-7.8526E-3*BETA*EXP(-3.458*(DELTA-1.
     3)))
      GC TO 19
   49 LAH20$= 1.
      INTEGER INFORM(37)/'                    TEMPERATURE TK ='',G10.3,'
     1' K, PRESSURE PN='',G10.3,'' N/M2  DEFINE AN UNVALID PHASE FOR '',
     2A4,A2,'',STANDARD VALUE= 1.'')'/
      WERT(1)= TK
      WERT(2)= PN
      WERT(3)= NAME(1)
      WERT(4)= NAME(2)
      CALL $WARN(INFORM,WERT,4,3)
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VPH2O (/TK    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
C$P   SATTDAMPFDRUCK                                          N/M2
C$M   WASSER, ALLGEMEIN
CP    TK       40.<=273.16<=TK<=647.3<=4000.
CP    TEMPERATUR                                                  K
CL    H. SPILKER, IRE-BERICHT NR.62/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.151
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE
      DOUBLE PRECISION TETM
C$F
      CALL RANGE(VPH2O,'VPH2O ',1,273.16,647.3,40.,4000.,TK,&999)
C$T
      TETM= DBLE(1.-TK/647.3)
      VPH2O= (SNGL(221.2D+00*DEXP((((-1.189646225D+02*TETM+6.423285504
     1 D+01)*TETM-1.681706546D+02)*TETM-2.608023696D+01)*TETM-
     2 7.691234564D+00)*TETM/((1.D+00-TETM)*((2.09750676D+01*TETM+
     3 4.16711732D+00)*TETM+1.D+00))-TETM/(1.D+09*TETM*TETM+6.D+00))))*
     4 1.E5
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VTH2O (/PN    /)
C
CN    ***  M A P L I B  ***   FUNCTION
C
CD    17.12.70
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
C$P   SATTDAMPFTEMPERATUR                                     K
C$M   WASSER, ALLGEMEIN
CP    PN       1.E-65<=6.E2<=PN<=2.212E7<=2.84E9
CP    DRUCK                                                   N/M2
CL    H. SPILKER, IRE-BERICHT NR.62/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.151
CS    $NUMBR,NUMBR$,RANGE
      REAL A(16)/99.08201, 278.4160, 239.8406, 220.4219, 144.5234,
     1 -48.375, 327.9375, 1153.25, -720.875, -2546., -28.10352,
     2 1300.861, -2177.895, 15.32813, 7504.328, -6690.398/
C$F
      CALL RANGE(VTH2O,'VTH2O ',2,6.E2,2.212E7,1.E-65,2.84E9,PN,&999)
C$T
      IF (PN.GE.98.06806E5) GOTO 2
      B= A(1)
      L=2
      N=10
      GO TO 6
    2 B=A(11)
      L=12
      N=16
    6 X= ALOG(PN*1.0197E-5)*0.1
      XN=1.
      DO 300 J=L,N
      XN=XN*X
      T=A(J)*XN
      B=B+T
  300 CONTINUE
      VTH2O= B+273.15
  999 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION WUDZ$(/TK/,/PN/,KA,KOS,NAME)
CP    TK        273.<=273.16<=TK<=1073.16<=1074.
CP    $
CP    PN        1.E-30=1.E-30<=PN<=1.E8<=1.E8
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
CL    H. SPILKER, IRE-BERICHT NR.62/68, PROGRAMMBESCHREIBUNG NR.151
      DOUBLE PRECISION P,T,V,VO,PC,H,S,WUDZ$,TSSSD,FUNCT$,A(3)
      REAL NAME(2),WERT(4)
      EQUIVALENCE (A(1),V), (A(2),H), (A(3),S)
C$F
      CALL RANGE(WUDZ$,NAME,1,273.16,1073.15,273.,1074.,TK,&999)
      CALL RANGE(WUDZ$,NAME,2,1.E-30,1.E8,1.E-30,1.E8,PN,&999)
C$T
      P=PN*1.E-5
      T=TK-273.15
      KOSAE=KOS
      IF(P-221.2D+00)202,202,201
  202 TSSSD= DBLE(VTH2O(PN)-273.15)
      IF(KOS-1)203,203,204
  203 IF (T-TSSSD) 200,200,205
  205 IF (2.D-01 - DABS(T-TSSSD)) 206,200,200
  204 IF (T-TSSSD) 207,200,200
  207 IF (2.D-01 - DABS(T-TSSSD)) 206,200,200
  206 WUDZ$= 1.
      INTEGER INFORM(37)/'                          TEMPERATURE TK =',G10.3,'
     1' K, PRESSURE PN=',G10.3,' N/M2  DEFINE AN UNVALID PHASE FOR ',
     2A4,A2,',STANDARD VALUE= 1.')'/
      WERT(1)= TK
      WERT(2)= PN
      WERT(3)= NAME(1)
      WERT(4)= NAME(2)
      CALL $WARN(INFORM,WERT,4,3)
      GOTO 999
  201 KOSAE=0
  200 IF(T-350.D+00)7100,7100,7005
 7005 IF(P-FUNCT$(221.2D+00,T,3))7050,7050,7006
 7006 IF(T-374.15D+00)7007,7040,7040
 7007 IF (KOSAE-1) 7001,7001,7002
 7001 VO= 1.3D-3
      CALL $ITER(VO,P,2,T,V)
      CALL $SUB4(T,V,KA,PC,H,S,&8004)
 7040 VO=3.71D-3
      GOTO 7031
 7002 VO=8.D-3
 7031 CALL $ITER(VO,P,1,T,V)
      CALL $SUB3(T,V,KA,PC,H,S,&8004)
 7050 IF(KOSAE-1)7051,7121,7051
 7051 CALL $SUB2(T,P,KA,V,H,S,&8004)
 7100 IF(P-FUNCT$(221.2D+00,T,4))7050,7050,7120
 7120 IF(KOSAE-1)7121,7121,7051
 7121 CALL $SUB1(T,P,KA,V,H,S,&8004)
 8004 WUDZ$= A(KA)
      IF (KA.GE.2) WUDZ$= WUDZ$*1.D3
  999 RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE $ITER(ETA,FSOLL,JJ,CONST,RES)
C
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
      DOUBLE PRECISION ETA,FSOLL,CONST,RES,Y1,FUNCT$,EPS,DETA,ETA1,ETA2,
     1Y2,DETAV,ETAV,YV
      EPS=FSOLL*1.D-06
      DETA=ETA/1.D1
      ETA1=ETA
      Y1=FUNCT$(CONST,ETA1,JJ)-FSOLL
      IF(DABS(Y1)-EPS)5050,5050,5001
 5001 ETA2=ETA1+DETA
      Y2=FUNCT$(CONST,ETA2,JJ)-FSOLL
      IF(DABS(Y2)-EPS)5049,5049,5005
 5005 IF(Y1*Y2)5006,5006,5007
 5007 IF(DABS(Y2)-DABS(Y1))5008,5008,5009
 5009 DETA=-DETA
      GOTO 5001
 5008 ETA1=ETA2
      Y1=Y2
      GOTO 5001
 5006 DETAV=DABS(Y1)/(DABS(Y2)+DABS(Y1))*DETA
      ETAV=ETA1+DETAV
      YV=FUNCT$(CONST,ETAV,JJ)-FSOLL
      IF(DABS(YV)-EPS)5012,5012,5011
 5011 DETA=DETA/5.D0*YV*Y1/DABS(YV*Y1)
      Y1=YV
      ETA1=ETAV
      GOTO 5001
 5012 ETA=ETAV
      GOTO 5050
 5049 ETA=ETA2
 5050 RES=ETA
      RETURN
      END



      FUNCTION FUNCT$(CONST,VAR,JJ)
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
      DOUBLE PRECISION CONST,VAR,FUNCT$,P,TET,H,S
      GOTO(4501,4502,4503,4504),JJ
 4501 CALL $SUB3(CONST,VAR,1,P,H,S,&451)
  451 FUNCT$= P
      RETURN
 4502 CALL $SUB4(CONST,VAR,1,P,H,S,&452)
  452 FUNCT$= P
      RETURN
 4503 TET=(VAR+273.15D+00)/647.3D+00
      FUNCT$=CONST*((19.31380707D0*TET-34.17061978D0)*TET+15.74373327D0)
      RETURN
 4504 FUNCT$= DBLE(1.E-5*VPH2O(SNGL(VAR)+273.15))
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE $SUB1(T,P,KENN,V,H,S,*)
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
      DOUBLE PRECISION TET,TET2,TET6,TET10,TET18,BET,BET2,BET3,Y,Z,
     1M1,M2,M3,M4,M5,M6,M7,M8,M9,M10,M11,M12,M13,M14,YS,CHI,V,
     2EPS,H,SIG1,SIG2,SIG,S,T,P
      TET=(T+273.15D+00)/647.3D+00
      TET2=TET*TET
      TET6=TET2*TET2*TET2
      TET10=TET6*TET2*TET2
      TET18=TET6*TET6*TET6
      BET=P/221.2D+00
      BET2=BET*BET
      BET3=BET2*BET
      Y=1.D0-.8438375405D0*TET2-.5362162162D-03/TET6
      Z=Y+DSQRT(.172D+01*Y*Y-0.14684556978D0*TET+0.9951717740D-1*BET)
      M1=.7982692717D+01/Z**0.294118
      M2=.65371543D-00-TET
      IF (DABS(M2).LE.1.D-8) M2= 0.D0
      M3=.2421647003D+03*M2**9
      M4=1.D0/(.115D-05+TET18*TET)
      M5=.1269716088D-09*M4
      M6=1.D0/(.15108D-04+TET10*TET)
      M7=1.D0/(.7002753165D+01+BET)
      M8=M7*M7*M7
      M9=.1293441934D+02*TET18
      M10=.6047626338D-13*BET3/(TET18*TET2)
      M11=.1308119072D-04*BET2
      IF(KENN-1)1001,1002,1001
 1001 YS=-1.6876750810D0*TET+3.2172972972D-3/(TET6*TET)
      M12=(0.4166666666D0*Z-.72D+00*Y)*YS+.7342278489D-01
      M13=M8+.2995284926D-03*BET
   11 M14=((.1105710498D-08*BET+.217402035D-07)*BET+.2074838328D-06)*BET
 1002 KENN1=KENN+1
      GOTO(1003,1003,1004,1005),KENN1
 1003 CHI=.497585887D-01*M1-.2616571843D-01+.152241179D-02*TET+
     1  .2284279054D-01*TET2+M3*M2+M5-M6*(0.3317131494D-8*BET2+
     2  0.434804070D-7*BET+.2074838328D-06)-M9*(.14188D+00+TET2)*(-3.D0*
     3  M8*M7+.2995284926D-03)+3.D0*M11*(.204D+00-TET) +4.D0*M10
      V=CHI*.317D-02
      IF(KENN-1)1004,1100,1004
 1004 EPS= 6824.687741D0*TET+((((((((16138.168904D0*TET-99269.724820D0)
     1  *TET+270670.12452D0)*TET-429542.08335D0)*TET+437564.7096D0)*
     2  TET-297071.43084D0)*TET+134665.55478D0)*TET-39412.86787D0)*TET2
     3  -542.2063673D0+M1*(M12*TET+Z*(Z*0.5862068965D0-Y*1.4166666666D0
     4  ))+(-2.616571843D-2-2.284279054D-2*TET2+M3*(9.D0*TET+0.65371543
     5  D0)+M5*M4*(20.D0*TET18*TET+1.15D-06))*BET-(12.D0*TET10*TET+
     6  1.5108D-05)*M6*M6*M14+M9*M13*(2.41196D0+19.D0*TET2)+M11*BET*
     7  0.204D0+21.D0*M10*BET
      H=EPS*.701204D+02
      IF(KENN-2)1005,1100,1005
 1005 SIG1= 6824.687741D0*DLOG(TET)+((((((((18155.440017D0*TET-
     1  113451.114080D0)*TET+315781.81194D0)*TET-515450.50002D0)*TET+
     2  546955.8870D0)*TET-396095.24112D0)*TET+201998.33217D0)*TET
     3  -78825.73574D0)*TET+20966.66205D0
      SIG2= M1*M12+(-.152241179D-2-0.4568558108D-1*TET+10.D0*M3+
     1  19.D0*M5*M4*TET18)*BET-11.D0*M6*M6*M14*TET10+M9*(2.55384D0/
     2  TET+20.D0*TET)*M13+M11*BET+20.D0*M10*BET/TET
      SIG=SIG1+SIG2
      S= SIG*.1083275143D0
 1100 RETURN 1
      END
```

```
      SUBROUTINE $SUB2(T,P,KENN,V,H,S,*)
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
      DOUBLE PRECISION T,P,V,H,S,B,TET,X,X2,X3,X6,X10,X13,X18,X24,X27,
     1X32,X54,BET,BETR4, BETR5,BETR6,BETL,R1,M11,M12,M21,M22,M23,M31,
     2M32, M41,M42,M51,M52,M53,M61,M62,M71,M72,M81,M82,N61,N71,N81,N82,
     3NEN6,NEN7,NEN8,SUMV9, SUMV1,SUMV2,SUMV3,SUMV4,SUMV5,SUMV6,SUMV7,
     4SUMV8,BETLS,SUMS9,SUMS, CHI,EPS,SIG
      B=.7633333333
      TET=(T+273.15D+00)/647.3D+00
      X=DEXP(B*(1.-TET))
      X2= X*X
      X3= X2*X
      X6= X3*X3
      X10= X6*X2*X2
      X13= X10*X3
      X18= X10*X6*X2
      X24= X18*X6
      X27= X24*X3
      X32= X24*X6*X2
      X54= X27*X27
      BET=P/221.2D+00
      BETR4= 1./(BET*BET*BET*BET)
      BETR5= BETR4/BET
      BETR6= BETR5/BET
      BETL= (19.31380707*TET-34.17061979)*TET +15.74373327
      R1= BET/BETL
      R1= R1*R1*R1*R1*R1
      R1= R1*R1
      M11= .6670375918D-01*X13
      M12= 1.388983801*X3
      M21= .3390104328D-01*X18
      M22= .2614670893D-01*X2
      M23= - .3373439453D-01*X
      M31= .4520918904*X18
      M32= .1069036614*X10
      M41= -.5975336707*X24*X
      M42= -.8847535804D-01*X13*X
      M51= .5958051609*X32
      M52= -.5159303373*X27*X
      M53= .2075021122*X24
      M61= .1190610271*X10*X2
      M62= -.9867174132D-01*X10*X
      M71= .1683998803*X24
      M72= -.5809438001D-01*X18
      M81= .6552390126D-02*X24
      M82= .5710218649D-03*X13*X
      N61= .4006073948*X13*X
      N71= .8636081627D-01*X18*X
      N81= -.8532322921*X54
      N82= .3460208861*X27
      NEN6=BETR4+N61
      NEN7=BETR5+N71
      NEN8=BETR6+N81+N82
      SUMV9=((((((523.5718623*X-2693.088365)*X+5745.984054)*X-6508.211677
     1)*X+4126.607219)*X-1388.522425)*X+193.6587558
      IF(KENN-3)2001,2002,2001
 2001 SUMV1= M11+M12
      SUMV2=M21+M22+M23
      SUMV3= M31+M32
      SUMV4= M41+M42
      SUMV5= M51+M52+M53
      SUMV6=(M61+M62)/NEN6
      SUMV7=(M71+M72)/NEN7
      SUMV8=(M81+M82)/NEN8
 2002 IF(KENN-1)2003,2004,2003
 2003 BETLS=2.*19.31380707 *TET-34.17061979
```

```
      SUMS9=((((((6.*523.5718623*X-5.*2693.088365)*X+4.*5745.984054)*X
     1-3.*6508.211677)*X+2.*4126.607219)*X-1388.522425)*X)*B
      SUMS=-B*(((((32.*M51+28.*M52+24.*M53)*BET+25.*M41+14.*M42)*BET+
     118.*M31+10.*M32)*BET+18.*M21+2.*M22+M23)*BET+13.*M11+3.*M12)*BET
     2+(12.*M61+11.*M62-14.*(M61+M62)*N61/NEN6)/NEN6+(24.*M71+18.*M72-
     319.*(M71+M72)*N71/NEN7)/NEN7+(24.*M81+14.*M82-(M81+M82)*(54.*N81
     4+27.*N82)/NEN8)/NEN8)+BET*R1*(10.*BETLS/BETL*SUMV9+SUMS9)
2004  KENNI=KENN+1
      GOTO(2005,2005,2006,2007),KENNI
2005  CHI=4.260321148*TET/BET-((((5.*SUMV5*BET+4.*SUMV4)*BET+3.*SUMV3)
     1*BET+2.*SUMV2)*BET+SUMV1)-BETR5*((6.*SUMV8/(NEN8*BET)+5.*SUMV7/
     2NEN7)/BET+4.*SUMV6/NEN6)+11.*R1*SUMV9
      V=.317D-02*CHI
      IF(KENN-1)2006,2100,2006
2006  EPS=-(((3.*.8565182058D-01 *TET-2.*.6547711697)*TET+.4330662834)
     1*TET-16.83599274)*TET+28.56067796+SUMS*TET-((((SUMV5*BET+SUMV4
     2)*BET+SUMV3)*BET+SUMV2)*BET+SUMV1)*BET-(SUMV8+SUMV7+SUMV6)+BET
     3*R1*SUMV9
      H=EPS*70.1204D+00
      IF(KENN-2)2007,2100,2007
2007  SIG=-4.260321148*DLOG(BET)+16.83599274*DLOG(TET)-(((4.*.85651820
     158D-01*TET-3.*.6547711697)*TET+2.*.4330662834)*TET-54.38923329)+
     2SUMS
      S=.1083275143*SIG
2100  RETURN 1
      END
```

```
      SUBROUTINE $SUB3(T,V,KENN,P,H,S,*)
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
      DOUBLE PRECISION T,P,V,H,S,CHI,CHI5,RHO,RHO2,RHO5,TET,TETR,TETR22,
     1TETM,TETM2,TETM3,M1,M2,SUM01,SUM21,SUM31,SUM61,SUM12,
     2SUM22,SUM32,SUM62,SUM72,LNCHI,BET,SUM02,SUM71,EPS,SIG
      CHI=V/.317D-02
      CHI5=CHI*CHI*CHI*CHI*CHI
      RHO=1./CHI
      RHO2=RHO*RHO
      RHO5=RHO2*RHO2*RHO
      TET=(T+273.15D+00)/647.3D+00
      TETR=1./TET
      TETR22=TETR*TETR*TETR*TETR
      TETR22=TETR22*TETR22*TETR22*TETR22*TETR22*TETR*TETR
      TETM=TET-1.
      TETM2=TETM*TETM
      TETM3=TETM2*TETM
      M1=CHI5/(TET*TET)
      M2=-.509073985D-03*RHO5
      IF(KENN-3)3001,3002,3001
 3001 SUM01=((((((((-10.*.169470576D-02*RHO+9.*.194129239D-01)*RHO-
     18.*.820900544D-01)*RHO+7.*.116250363)*RHO+6.*.223138085)*RHO-
     25.*1.146495880)*RHO+4.*2.104197070)*RHO-3.*2.768070380)*RHO+
     32.*4.204607520)*RHO-7.771750390)*RHO2
      SUM11=((((5.*.627523182D-01*RHO-4.*.993865043)*RHO+3.*5.404374
     122)*RHO-2.*12.0389004)*RHO+12.3679455)*RHO2
      SUM21=(((((6.*.324881158*RHO-5.*1.66568935)*RHO+4.*1.55546326)
     1*RHO+3.*4.04172459)*RHO-2.*14.1619313)*RHO+43.1430538)*RHO2
      SUM31=((((((( -8.*.546529566*RHO +7.*2.12145492)*RHO +6.*1.097174
     162)*RHO -5.*12.616064)*RHO+4.*7.51895954)*RHO +3.*35.8636517)*RHO
     2-2.*83.615338)*RHO +80.8859747)*RHO2
      SUM61=((( .6828087013D-01*TETR -.259641547)*TETR +.369707142)*
     1TETR-.2336365955)*TETR+.5528935335D-01
 3002 IF(KENN-1)3003,3004,3003
 3003 SUM12=((((.627523182D-01*RHO -.993865043)*RHO +5.40437422)*RHO
     1-12.0389004)*RHO+12.3679455)*RHO2
      SUM22=(((((.324881158*RHO-1.66568935)*RHO+1.55546326)*RHO+
     14.04172459)*RHO-14.1619313)*RHO+43.1430538)*RHO2
      SUM32=((((((-.546529566*RHO+2.12145492)*RHO+1.09717462)*RHO
     1-12.616064)*RHO+7.51895954)*RHO+35.8636517)*RHO-83.615338)*RHO
     2+80.8859747)*RHO2
      SUM62=(((6.*.6828087013D-01*TETR-5.*.259641547)*TETR+4.*
     1.369707142)*TETR-3.*.2336365955)*TETR+2.*.5528935335D-01
      SUM72=((((((((9.*43815.71428*TETM-8.*70535.56432)*TETM+7.*
     145429.1663)*TETM-6.*14623.35698)*TETM+5.*2357.09622)*TETM-4.
     2*180.203957)*TETM+3.*22.20723208)*TETM-2.*151.8783715)*TETM-
     3257.1600553
      LNCHI=DLOG(CHI)
 3004 KENN1=KENN+1
      GOTO (3005,3005,3006,3007),KENN1
 3005 BET=SUM01+4.311577033*RHO+.17226042D-01+(SUM11+7.74743016*RHO-
     1.708636085)*TETM+(SUM21-29.3655325*RHO+4.29885092)*TETM2+
     2(SUM31-8.32875413*RHO-.794841842D-05)*TETM3+5.*RHO*M2*TETR22
     3*TETR*TETM-6.*M1*SUM61
      P=BET*221.2D+00
      IF(KENN-1)3006,3100,3006
 3006 SUM02=((((((((( -.169470576D-02*RHO+.194129239D-01)*RHO-.820900
     1544D-01)*RHO+.116250363)*RHO+.223138085)*RHO-1.14649588)*RHO
     2+2.10419707)*RHO-2.76807038)*RHO+4.20460752)*RHO-7.77175039)
     3*RHO2
      SUM71=((((((((43815.71428*TETM-70535.56432)*TETM+45429.1663)*
     1TETM-14623.35698)*TETM+2357.09622)*TETM-180.203957)*TETM+
     222.20723208)*TETM-151.8783715)*TETM-257.1600553
      EPS=-213.164655+(-.708636085+SUM01+SUM02-SUM12)*CHI+3.435853
     1127*LNCHI+(-202.8889018+(7.889065755+SUM11-2.*SUM22)*CHI-
     258.731065*LNCHI)*TETM+(-29.3655325+(8.597677995+SUM21-SUM22
```

```
     3-3.*SUM32)*CHI-54.35179489*LNCHI)*TETM2+(-8.32875413+(-
     4.2384525526D-04+SUM31-2.*SUM32)*CHI-16.65750826*LNCHI)*TETM3
     5+(.6347350848D-04+28.*M2)*TETR22-(.6623322624D-04+29.*M2)*
     6TETR22*TETR+M1*CHI*(SUM62-5.*SUM61)-(SUM71+TET*(SUM72-SUM71))
      H=EPS*70.1204D+00
      IF(KENN-2)3007,3100,3007
 3007 SIG=-((.708636085+SUM12)*CHI-7.74743016*LNCHI+210.636332)-2.
     1*((-4.29885092+SUM22)*CHI+29.3655325*LNCHI)*TETM-3.*((.794841
     2842D-05+SUM32)*CHI+8.32875413*LNCHI)*TETM2+(.275971776D-05+
     3M2)*(22.-23.*TETR)*TETR22*TETR-210.636332*DLOG(TET)+M1*CHI
     4*TETR*SUM62-SUM72
      S=SIG*.1083275143
 3100 RETURN 1
      END



      SUBROUTINE $SUB4(T,V,KENN,P,H,S,*)
CA    H. SPILKER  &  W. ZIMMERER
      DOUBLE PRECISION T,P,V,H,S,CHI,RHO,RHO2,TET,TETR,Y,Y2,Y3,Y31,SUM31
     1,SUM32,SUM41,SUM42,SUM51,SUM52,BET,EPS,SIG,PZ,SZ,HZ
      CHI=V/.317D-02
      RHO=1./CHI
      RHO2=RHO*RHO
      TET=(T+273.15D+00)/647.3D+00
      TETR=1./TET
      Y=(1.-TET)/.373088213D-01
      Y2=Y*Y
      Y3=Y2*Y
      Y31=Y3*Y3
      Y31=Y*Y31*Y31*Y31*Y31*Y31
      CALL $SUB3(T,V,KENN,P,H,S,&4012)
 4012 IF(KENN-3)4001,4002,4001
 4001 SUM31=((-4.*.1138791156*RHO+3.*.9070982602)*RHO-2.*2.690899373)
     1*RHO+3.526389874
      SUM41=((4.*.8270860589D-01*RHO-3.*.6661557013)*RHO+2.*1.9967
     165362)*RHO-2.642777743
      SUM51=2.*.1155018309D-02*CHI-.1236521258D-02
 4002 IF(KENN-1)4003,4004,4003
 4003 SUM32=(((  -.1138791156*RHO+.9070982602)*RHO-2.690899373)*RHO
     1+3.526389874)*RHO-1.717616747
      SUM42=(((.8270860589D-01*RHO-.6661557013)*RHO+1.996765362)*RHO
     1-2.642777743)*RHO+1.301023613
      SUM52=(.1155018309D-02*CHI-.1236521258D-02)*CHI+.3426663535D-03
 4004 IF(KENN-2)4005,4006,4007
 4005 BET=RHO2*Y3*(SUM31+Y*SUM41)-Y31*Y*SUM51
      PZ=BET*221.2D+00
      P=P+PZ
      IF(KENN-1)4006,4100,4006
 4006 EPS=(-2.*Y+3./.373088213D-01)*Y2*SUM32+(-3.*Y+4./.373088213D-01
     1)*Y3*SUM42+Y3*SUM31*RHO-Y31*((31.*Y-32./.373088213D-01)*SUM52
     2+Y*CHI*SUM51)+Y3*Y*SUM41*RHO
      HZ=EPS*70.1204D+00
      H=H+HZ
      IF(KENN-2)4007,4100,4007
 4007 SIG=1./.373088213D-01*(3.*Y2*SUM32+4.*Y3*SUM42+32.*Y31*SUM52)
      SZ=SIG*.1083275143
      S=S+SZ
 4100 RETURN 1
      END
```