



**KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH**

**Institut für Reaktorbauelemente**

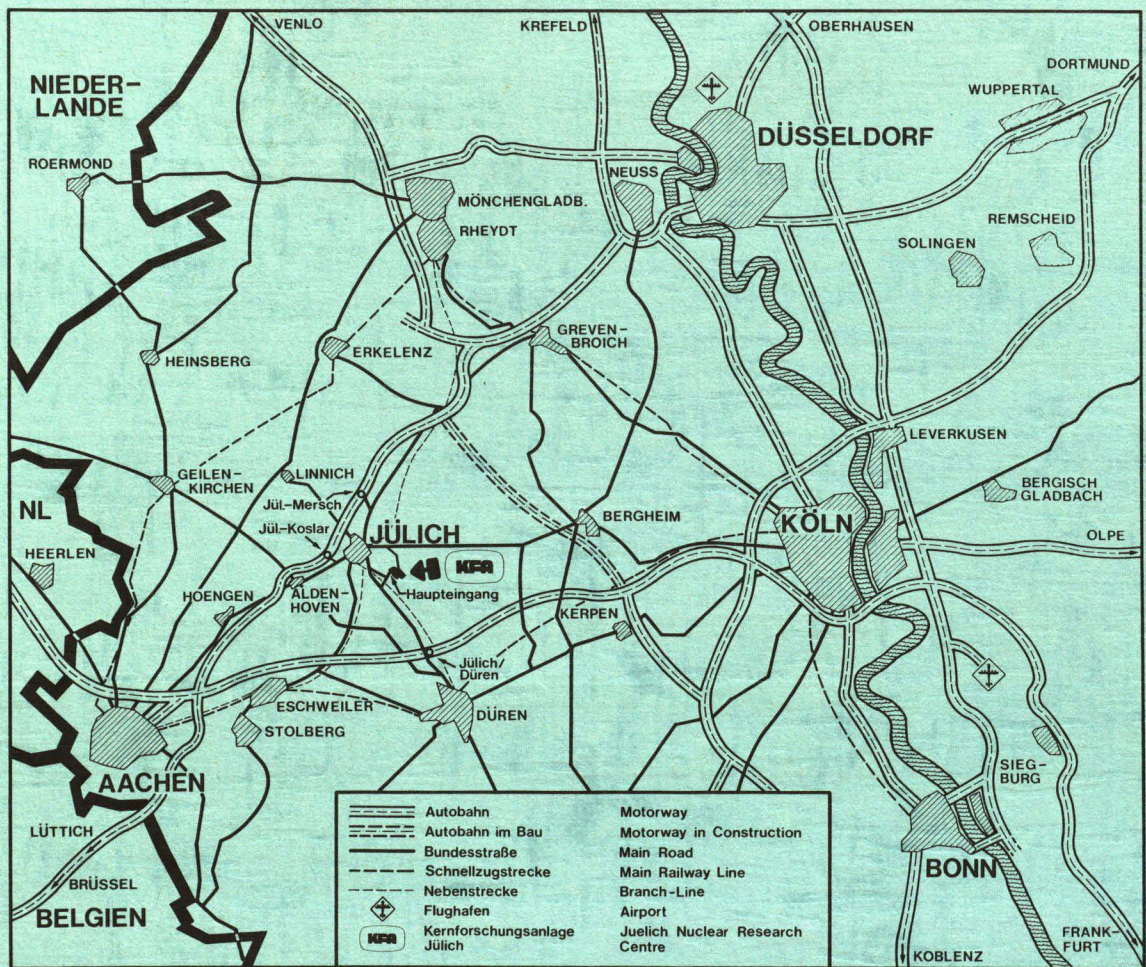
**Dokumentation der Energie- und  
Massenstrombilanzierung für ADAM I im  
Online-Betrieb**

**von**

**H. Harms**

**unter Mitarbeit von B. Höhleln, E. Riensche**

**Jül - 1617**  
**September 1979**  
ISSN 0366-0885



Als Manuskript gedruckt

**Berichte der Kernforschungsanlage Jülich - Nr. 1617**

Institut für Reaktorbauelemente Jül - 1617

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,  
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

# **Dokumentation der Energie- und Massenstrombilanzierung für ADAM I im Online-Betrieb**

**von**

**H. Harms**

**unter Mitarbeit von B. Höhleln, E. Riensche**

DOCUMENTATION OF THE ENERGY AND  
MASS BALANCE FOR ADAM I  
(ON-LINE OPERATION)

by  
H. Harms  
with  
B. Höhle  
and  
E. Riensche  
as co-authors.

Abstract

The methanation process is of considerable importance to both the production of "Substitute Natural Gas" on the basis of coal gasification and the "Nuclear Long - Distance Energy System". The report describes how the data resulting from experiments with pilot plant ADAM I were recorded and integrated into a computer program. The experimental results are of use to the optimization of the methanation process within the "Nuclear Long-Distance Energy System."

DOKUMENTATION DER ENERGIE- UND  
MASSENSTROMBILANZIERUNG FÜR ADAM I  
IM ONLINE-BETRIEB

von

H. Harms

unter Mitarbeit von

B. Höhle

E. Riensch

Kurzfassung

Das Verfahren der Methanisierung hat wesentliche Bedeutung für die Erzeugung von "Substitute Natural Gas" auf Kohlegas Basis und das System des "Nuklearen Fernenergie-Transports". Der Bericht gibt eine Darstellung, wie die Daten der Experimente mit der Versuchsanlage ADAM I erfaßt und verarbeitet werden. Die Versuchsergebnisse dienen zur Optimierung von Methanisierungsverfahren innerhalb des NUKLEAREN FERNENERGIE-Systems.

Die Arbeit ist im Rahmen des Zusammenarbeitsvertrages auf dem Gebiet der NUKLEAREN FERNENERGIE zwischen Kernforschungsanlage Jülich GmbH und Rheinische Braunkohlenwerke AG über die Entwicklung von Verfahren auf dem Gebiet des Wärmetransports mittels chemisch gebundener Energie nach dem System Methanreformierung-Methanisierung unter Förderung durch die Bundesrepublik Deutschland entstanden.

## Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Programmstruktur	2
2.1 Dateiorganisation	2
2.2 Eingabedaten - Rahmeninformation	5
2.3 Erfassung und Übertragung der Online-Daten	6
3. Auswerteprogramm ADAM	9
3.1 Umwandlung der digitalen Meßwerte	9
3.1.1 Berechnung der Temperaturen	11
3.1.2 Berechnung der Drücke	12
3.1.3 Berechnung der Differenzdrücke	13
3.1.4 Berechnung des Gasdurchsatzes	13
3.1.5 Berechnung der elektrischen Leistung	13
3.1.6 Berechnung der zugesetzten Wassermenge	14
3.1.7 Stabilität des Programms	14
3.2 Flußplan der Berechnungsschritte (Auszug)	14
3.2.1 Mischpunkt 1	14
3.2.2 Gaschromatograph	16
3.2.3 Methanisierungsreaktor R1o1	20
3.3 Unterprogramme	25
3.3.1 UP EINTIP	25
3.3.2 UP ENTH	25
3.3.3 UP TAUP	34
3.3.4 UP IDREAK	34
3.3.5 UP SRAPPR	35
3.3.6 UP METHAU	36
3.3.7 UP STOFFW	38
3.3.8 UP FTINT	39
3.4 Test des Auswerteprogramms ADAM	40
3.5 Beschreibung aller Variablen	41
3.5.1 Datei ADAMKONS	41
3.5.2 Datei ADAMHAND	42
3.5.3 Datei ADAMBAND bzw. von Online-Datei gelesen	43

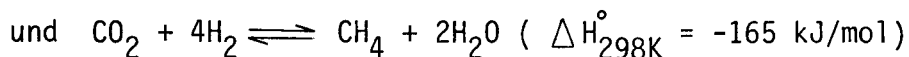
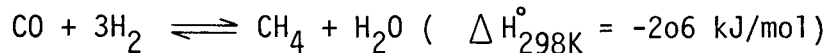
	<u>Seite</u>
3.5.4 Auswerteprogramm ADAM (Symbolverzeichnis)	44
3.5.5 Übersicht Temperaturmeßstellen	47
3.5.6 Übersicht Druckmeßstellen	48
3.5.7 Übersicht Differenzdruckmeßstellen	48
3.5.8 Übersicht Meßstellen der elektrischen Leistung	48
3.5.9 Wasserzugabe	48
3.5.10 Turbinenradzähler	49
4. Auswertung des Meßpunktes 44o	50
5. Übersicht Kennzifferabfrage	57
6. Programmablaufplan	67
7. Zusammenfassung	116
8. Literaturverzeichnis	117



## 1. Einleitung

Im Fernenergie-System, wie es vom NFE-Projekt entwickelt wurde /1-7/, wird das Rohgas für die Methanisierung als kaltes, trockenes Produktgas aus einer Methan-Dampfreformierungsanlage angeliefert. Dieses Rohgas besteht im wesentlichen aus CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>, wobei der Kohlenoxid- und Wasserstoffgehalt um so höher ist, je höher die max. Betriebstemperatur bzw. das Atomverhältnis H/C und O/C in der Methan-Dampfreformierungsanlage ist.

Bei der Methanisierung läßt sich durch die exothermen, heterogen katalysierten Reaktionen



ein wesentlicher Teil der bei der Methan-Dampfreformierung eingekoppelten Energie durch die oben genannten Reaktionen wieder auskoppeln und gleichzeitig bei niedrigen Austrittstemperaturen ein hoher Methangehalt im Produktgas erzeugen.

Auf dem Gelände der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich, wurde im Frühjahr 1979 durch Zusammenschaltung der Versuchsanlagen EVA I (Methan-Dampfreformierung) und ADAM I (Methanisierung) erstmalig ein Fernenergie-System in Betrieb genommen.

Die vorliegende Arbeit ist auf die Versuchsanlage ADAM I ausgerichtet, die geplant und gebaut wurde für die systematische Untersuchung, Entwicklung und Optimierung von Methanisierungsverfahren. Die sich bei der Auswertung der einzelnen Versuchsläufe ständig wiederholenden Berechnungen werden durch das Programm schematisiert und sind daher untereinander vergleichbar; gleichzeitig wird ein komplexes System in viele verfahrenstechnische Schritte zerlegt, so daß sich auch Einzelkomponenten gut beurteilen lassen.

Das Auswerteprogramm erlaubt die gesamte Bilanzierung des ADAM I-Systems und gibt dem Betriebsingenieur nach der jeweiligen ONLINE-Auswertung eines Meßpunktes die Möglichkeit, die Qualität des Meßpunktes und mögliche fehlerhafte Betriebszustände zu beurteilen und zu korrigieren. Weiterhin zeigt die Auswertung wesentliche Versuchsergebnisse hinsichtlich Umsatz, erreichter Gleichgewichtszustände, charakteristischer Temperaturprofile und Druckgradienten für die einzelnen Reaktionsstufen und für das gesamte Reaktionssystem auf.

Die folgende Dokumentation soll den Aufbau und die Funktion des Programms verdeutlichen.

## 2. Programmstruktur

Alle in Versuchs- oder Produktionsanlagen verwendeten Meßgeräte unterliegen Umwelteinflüssen und müssen deshalb in gewissen Zeitabständen neu geeicht werden; d.h. es verschieben sich möglicherweise Nullpunkte bzw. Endwerte. Dieser Vorgang würde eine Änderung des Auswerteprogramms notwendig machen. Um Übersichtlichkeit und Flexibilität des Programms zu gewährleisten, wurde eine Aufteilung der Daten auf verschiedene Dateien vorgenommen (siehe Abbildung 1).

### 2.1 Dateiorganisation

- ADAMKONS (55, f)  
In der genannten Datei werden alle für einen Versuchszyklus konstanten Daten aufgenommen. Dazu gehören Kanalangaben, Transmitternull- bzw. Endbereiche, Schütthöhen der Katalysatorfüllungen und die Durchmesser der Katalysatoren (siehe S. 41).
  
- ADAMHAND (56, f)  
In dieser Datei werden alle Gasanalysen (trocken) der Versuche gespeichert. Jedem Versuch wird dabei eine Meßpunktnummer zur leichteren Auffindbarkeit zugeordnet (siehe S. 42).

Aufruf: A D A M  
 =====

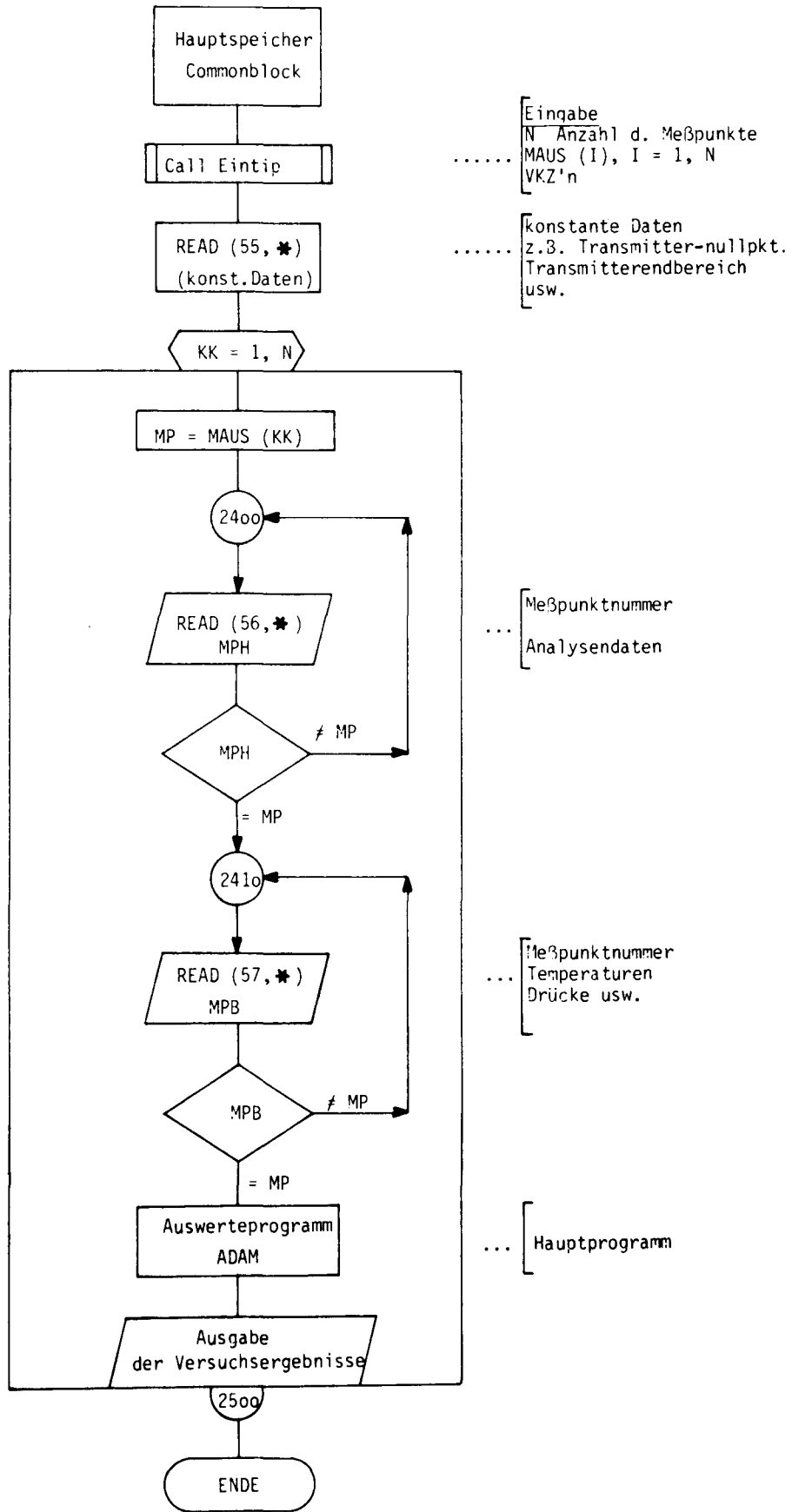


Abb. 1: Programmstruktur des Auswerteprogramms ADAM

Zur Zeit werden die mittels Gaschromatographie ermittelten Gaszusammensetzungen von Hand auf die Datei übertragen, jedoch soll auch dieser Vorgang automatisiert werden. Die dazu notwendigen Arbeiten am elektronischen Übertragungssystem stehen vor dem Abschluß.

Der erste Schritt zur Automatisierung der Gasanalytik war bereits bei der Inbetriebnahme der Versuchsanlage ADAM I vollzogen worden; d.h. zum Zeitpunkt der Meßwertaufnahme werden alle Gasproben gleichzeitig gezogen und anschließend nacheinander im Gaschromatographen analysiert.

Bei "handübertragenen" Werten können Lese- und somit Übertragungsfehler auftreten. Durch Aufsummierung der Molenbrüche der einzelnen Gas-komponenten wurde im Auswerteprogramm diesem Umstand Rechnung getragen, indem dem Benutzer bei fehlerhafter Übertragung eine Warnung zugeht.

- ADAMBAND (57, #)

Unter Voransetzung der jeweiligen Meßpunktnummer werden in der o.g. Datei alle gemessenen Digitalwerte in Millivolt, die den verschiedenen Temperaturen, Drücken, Differenzdrücken usw. entsprechen, gespeichert (siehe S. 43).

In Verbindung mit der Datei ADAMKONS ist jeder Digitalwert genau fixiert. Die Kanalangabe stellt dabei die Verbindung zwischen Versuchsanlage und Rechenprogramm her, d.h. Zuordnung zu einer bestimmten Temperatur oder einem Druck und die dazu angegebenen Transmitternull- bzw. Endbereiche ermöglichen im Auswerteprogramm die Umrechnung in physikalische Größen (siehe Kapitel 3.1.1).

- ADAMAUS (65, Formatangabe)

Entsprechend ihrem Namen werden in dieser Datei die ausgewerteten Daten gespeichert. Um den Aufbau der Ausgabedatei übersichtlich zu gestalten, wurden für die Aufteilung die Blockdiagrammnamen aus Abb. 2 verwendet. Den berechneten Werten werden dabei die gemessenen Eingangsgrößen, wie Temperaturen, Druck usw., vorangestellt. Als Zusatzinformation ferner

- Meßpunktnummer
- Datum
- Verfahrenskennziffern

- Schalterstellung im Recyclestrom
- Angabe, wie die Übertragung der Meßdaten erfolgte; durch Online-Übertragung oder Einlesen vom Band oder von der Testdatei,

Als Beispiel wird der Ausdruck des Meßpunktes 44o im Anhang Seite 5o aufgeführt.

Zur Begrenzung der Speicherplätze wird diese Datei bei jedem erneuten Aufruf "ADAM" automatisch gelöscht.

## 2.2 Eingabedaten-Rahmeninformation

Nach Aufruf des Auswerteprogramms ADAM (Abb. 1) wird das Unterprogramm (UP) EINTIP aktiviert, das die notwendigen Rahmeninformationen für die Auswertung des gewünschten Versuchspunktes bzw. der Versuchspunkte erfordert.

Das UP EINTIP ist wie folgt aufgebaut:

- a) Wieviele Meßpunkte sollen berechnet werden?  
Max. möglich: 100 MP.  
z.B. 1
- b) Welche Meßpunkte sollen ausgewertet werden?  
Die einzelnen Meßpunkte sind durch Kommata voneinander zu trennen.  
z.B. 44o
- c) Erläuterung der Verfahrenskennziffern.  
VKZ1 (0=ohne H<sub>2</sub>O-Zugabe; 1=mit H<sub>2</sub>O-Zugabe)  
VKZ2 (0=ohne Recycle; 1=mit Recycle)  
VKZ3 (1=Recyclegas von der 1. Stufe;  
2=Recyclegas von der 2. Stufe;  
3=Recyclegas von der 3. Stufe)  
VKZ4 (1=Recyclegas vor die 1. Stufe;  
2=Recyclegas vor die 2. Stufe)
- d) Eingabe der Verfahrenskennziffern  
z.B. 0111

e) Im Recyclestrom soll welcher Turbinenradzähler verwendet werden?

ITURB = 1 Volumenstrom ca. 0-85 m<sup>3</sup>/h

ITURB = 2 Volumenstrom ca. 0-320m<sup>3</sup>/h

z.B. 1

f) Wie erfolgte die Datenspeicherung?

1 = ONLINE-Datei

2 = Band

3 = Test-Datei

z.B. 1

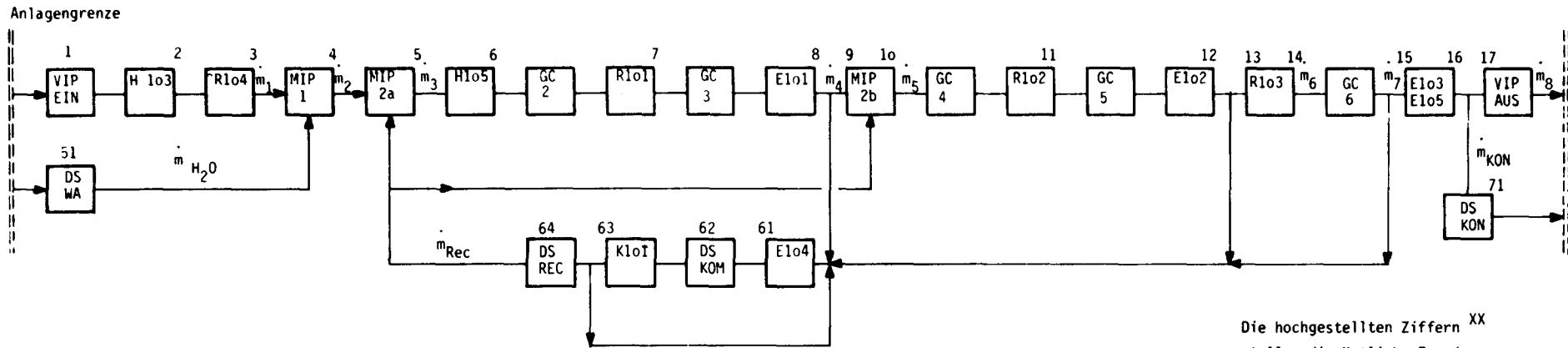
Da die Möglichkeit eines Ausfalls der Online-Übertragung besteht, wurde der o.g. Aufbau des UP Eintip gewählt. Auf Band gespeicherte Meßdaten können so z.B. über Nacht nachträglich ausgewertet werden. Zum besseren Verständnis der Punkte c) und d) ist folgendes nachzutragen:

Abbildung 2 stellt im wesentlichen ein Verfahrensschema mit allen wichtigen Apparaten und Verbindungsleitungen der Versuchsanlage dar. Für die Auswertung sind jedoch rechnerische Zwischenschritte notwendig, um die das vorhandene Verfahrensschema erweitert wurde, z.B. ein Mischpunkt (MIP) zweier Massenströme.

Abbildung 3 zeigt schematisch die in Abbildung 2 angedeuteten möglichen Methanisierungs-Fahrweisen /8/. Durch Sperren einzelner Leitungen wird das Methanisierungsverfahren eindeutig festgelegt; ein Vorgang, den die Verfahrenskennziffern veranschaulichen sollen. Im Anhang wird das Eingreifen der Verfahrenskennziffern auf den Rechengang am Beispiel des Massenstromes demonstriert (siehe S. 56).

### 2.3 Erfassung und Übertragung der Online-Daten

In der KFA Jülich steht das Online-Kopplungssystem JOKER zur Verfügung /9/. Dieses verbindet den Experiment-Rechner mit dem IBM/TSS-Großrechner im Zentralinstitut für angewandte Mathematik (ZAM). Das Fernschreib-Terminal in der ADAM/EVA-Meßwarte ist ebenfalls an den TSS-Rechner angeschlossen.



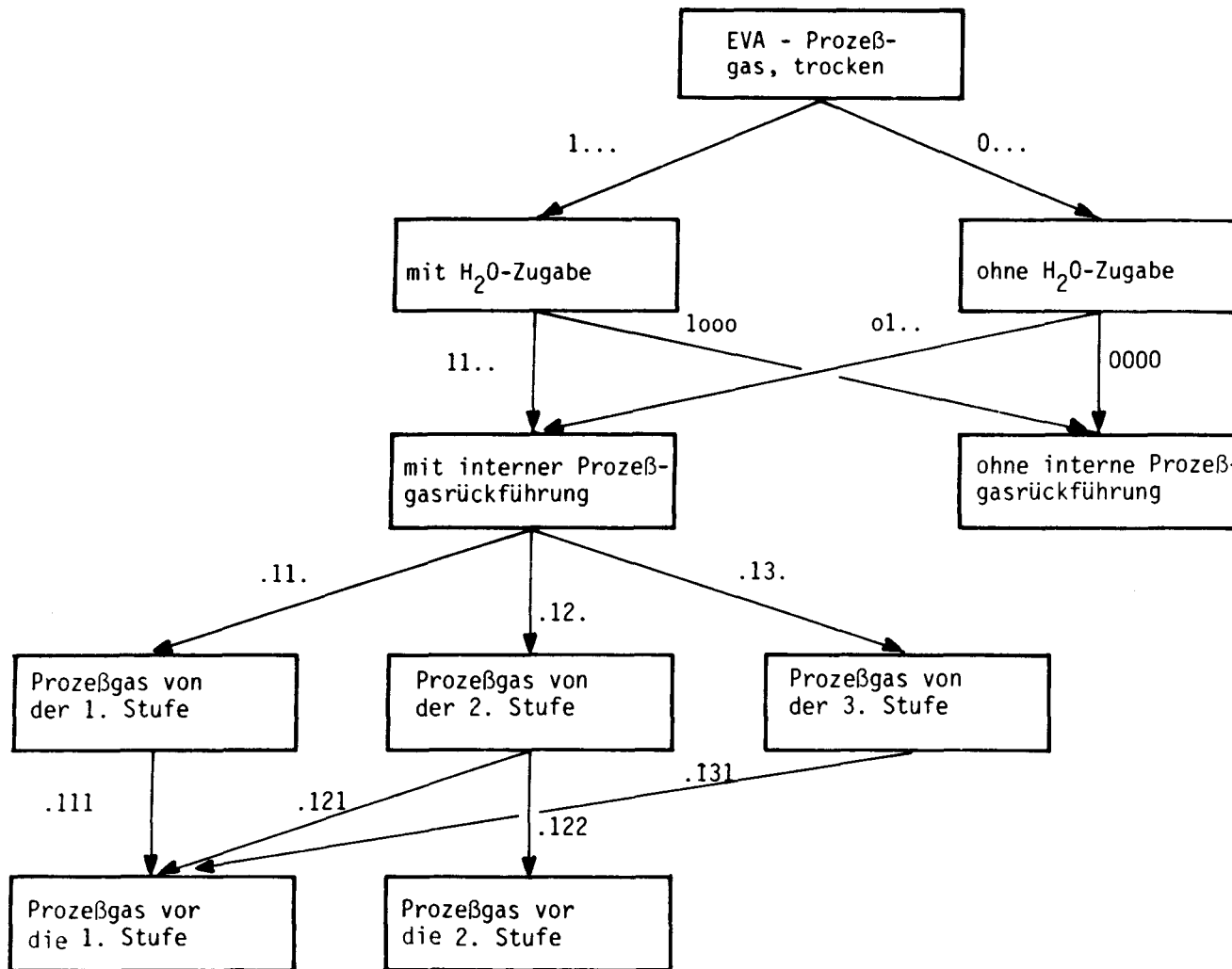
**Erläuterung:**

VIP EIN der ein- bzw. austretende  
 VIP AUS Gasstrom wird gemessen und  
 die Gaszusammensetzung ana-  
 lysiert  
 DS Durchsatz (Feststellung d. Massenstromes)  
 Wa Wasser  
 Rec Recyclegasstrom  
 KOM Recyclegasstrom vor dem Kompressor  
 KON Kondensat  
 GC Gaschromatograph (Gasanalyse)  
 MIP Mischpunkt

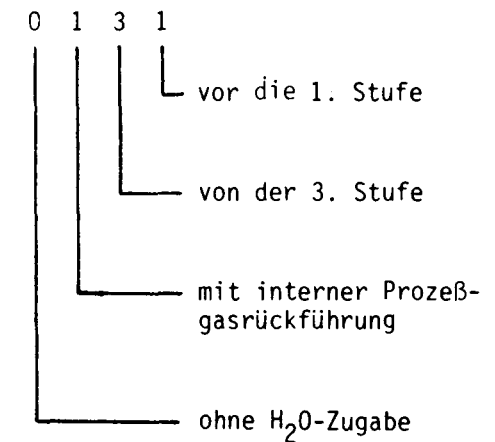
H 1o3/1o5 elektr. Erhitzer  
 R 1o4 Entschwefelungsreaktor  
 R 1o1/1o2/  
 1o3 Festbettreaktoren  
 E 1o1/1o2/  
 1o3/1o4 Luftkühler  
 E 1o5 Wasserkühler  
 K 1o1 Recyclegebläse

Die hochgestellten Ziffern XX  
 stellen die örtliche Zuordnung  
 im Programm dar.

**Abb. 2** Verfahrensschema (Blockschema)



Beispiel einer Verfahrenskennziffer im Auswerteprogramm  
(von unten nach oben zu lesen)



∞

Abb. 3 Abgrenzung aller geplanten Methanisierungsverfahren in ADAM I (hinsichtlich des Programmablaufplanes)



Der Datenfluß bei der ADAM I-Versuchsauswertung im Online-Betrieb ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt. Die Datenerfassung der elektrischen Meßsignale wird durch den HP-Experimentrechner im Institut für Reaktorbauelemente (IRB) gestartet. Über maximal acht Scanner zu je 40 Kanälen werden die analogen Meßsignale der Reihe nach auf ein Digitalvoltmeter geschaltet und vom HP-Rechner erfaßt. Dieser hat folgende Funktionen zu erfüllen:

- Datenerfassung ADAM I ..... HP-Rechner
- Onlinetransfer HP-Rechner ... IBM/TSS-Rechner (ZAM)
- Datensicherung auf Band durch den HP-Rechner
- Onlinetransfer, der bei evtl. Ausfall des JOKER auf Band geretteten Daten.

Die an den IBM-Rechner übermittelten Daten (erweitert um Informationen über Datum, Uhrzeit und Kanalnummern beim Starten des HP-Rechners), werden in einer speziellen Benutzer-Online-Datei (RBE000.EXPDS001) gespeichert. Nach dem Lesen der Daten im Hauptprogramm (call READ) erfolgt die Umwandlung der Zahlendarstellung vom HP-, II- in den IBM-EBCD/C-Code (call FLTFHP). Diese Unterprogramme sind vom ZAM als Benutzerprogramme zur Verfügung gestellt worden.

Aufgrund der vorliegenden Meßdaten (Dateien) und Rahmeninformationen ist die Auswertung eines Versuchspunktes möglich und die Auswertung läuft ab.

### 3. Auswerteprogramm ADAM

#### 3.1 Umwandlung der digitalen Meßwerte

Nachdem das Programm alle zu einer Meßpunktnummer gehörigen Werte eingelesen hat, wird die Umwandlung der digitalen Werte in physikalische Größen vorgenommen.

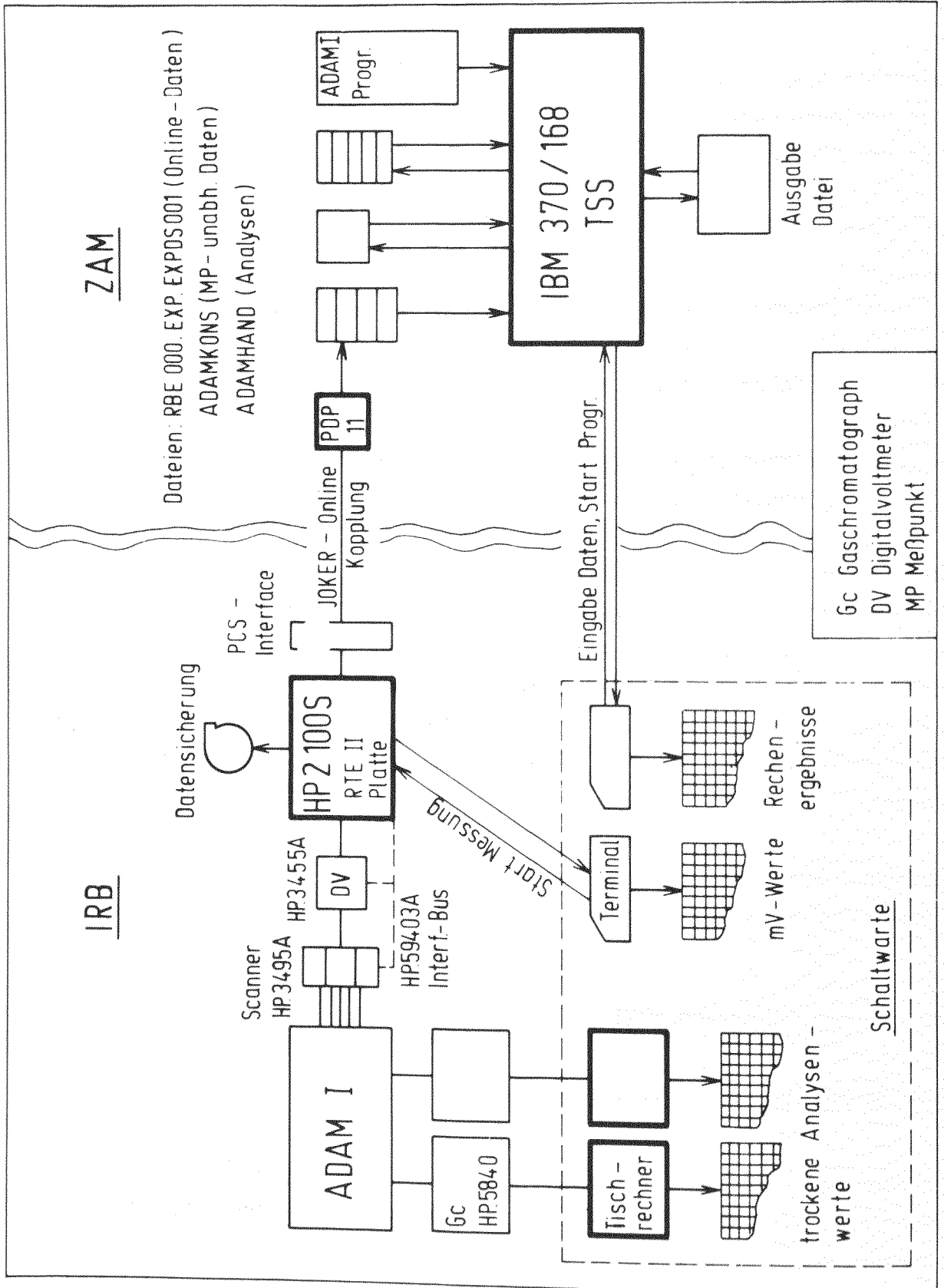


Abb. 4 Rechnerkonfiguration und Datenfluß

### 3.1.1 Berechnung der Temperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$T(i) = \text{CELS} (\text{DIG} (\text{TTAB} (i) + 1))$$

wichtig, da Kanalangaben mit Null beginnen

Kanalzuordnung (ADAMKONS)

digitaler Wert (ADAMBAND)

Funktion, die einem bestimmten Millivoltwert eine Temperatur in Grad Celsius zuordnet.

Zum Zwecke der Anschaulichkeit ein Beispiel:

$T(8)$  ist die Eintrittstemperatur des Reaktors R1o1 (siehe S. 54). Dazu ist ein Auszug aus den Dateien ADAMKONS und ADAMBAND notwendig.

ADAMKONS

169, 160, 172, 173, 161, 152, 174, 153, 175,...

Die einzelnen Ziffern stellen die Kanalnummern für  $\text{TTAB}(i)$  dar.

ADAMBAND

..., 7.995, 9.928, 9.390, 12.332, 24.986,...

Auflistung der Millivoltwerte entsprechend den fortlaufenden Kanalnummern, wobei hier 7.995 den digitalen Wert des Kanals 150 darstellt.

Der in der Versuchsanlage arbeitende Elektriker teilt dem Programmierer nach Beendigung der Montage der Thermoelemente mit, daß die Eintrittstemperatur des Reaktors R1o1 auf Kanal 153 angeschlossen ist. In der Datei ADAMKONS erhält  $\text{TTAB}(8)$  den Wert 153. Aus der o.g. Formel geht somit hervor, daß der 154, gemessene Wert über die Funktion in Grad Celsius umgewandelt werden muß; in diesem Fall  $T(8) = 302,660^{\circ}\text{C}$ ,

Diese kurze Darstellung zeigt gleichzeitig die große Flexibilität dieser Aufteilung. Sollte ein Thermoelement versagen, wird lediglich die Kanalnummer des bereits installierten Ersatzelementes eingetragen und das Programm arbeitet unverändert weiter.

### 3.1.2 Berechnung der Drücke (bar)

$$P(i) = (\text{Dig}(\text{PTAB}(i) + 1) - \text{PTRNP}(i)) \times \text{PTREB}(i) / 16. + 1$$

The diagram consists of vertical lines connecting terms in the formula to their definitions:

- digitaler Wert (ADAMBAND)** points to **Dig**.
- Kanalzuordnung (ADAMKONS)** points to **PTAB**.
- Transmitternullpunkt (ADAMKONS)** points to **PTRNP**.
- Transmitterendbereich (ADAMKONS)** points to **PTREB**.
- Meßbereich des Transmitters** points to the **16.** in the denominator.
- Vereinfachung! Es müßte der jeweilige Luftdruck eingetragen werden.** points to the **+ 1** at the end of the formula.

Mit Hilfe der o.g. Formel werden die digitalen Meßwerte in Drücke umgewandelt. Dieser Vorgang soll hier erläutert werden, da für alle folgenden physikalischen Größen der Rechenablauf analog ausgeführt wird.

In einem Drucktransmitter wird der anstehende Druck in ein elektrisches Meßsignal umgesetzt. Das dazugehörige Meßgerät umfaßt einen Meßbereich von 4-20 mV. Der genannte Meßbereich wurde gewählt, um die Meßgenauigkeit speziell am Nullpunkt zu steigern, denn bei "Null bar"-Überdruck wird bereits ein Wert von ca. 4 mV angezeigt.

Vor jedem Versuchszyklus sind die Transmitter (TR) zu eichen, so daß Nullpunkt (NP) und Endbereich (EB) bekannt sind. Diese Werte werden in der Datei ADAMKONS gespeichert,

Der Rechenablauf bei der Umwandlung geschieht folgendermaßen:

- a) vom digitalen Meßwert (mV) wird der ermittelte Wert des Nullpunktes (mV) subtrahiert und durch den vorgegebenen Meßbereich (16 mV) dividiert;

- b) die so entstandene dimensionslose Größe wird mit einer Druckangabe (bar) multipliziert, die bei der Eichung des Transmitters durch Erhöhung des Druckes vom Nullpunkt um 16 mV auf der Anzeige des Meßgerätes ermittelt wurde;
- c) zum Schluß muß der Luftdruck dazu addiert werden, da die Transmitter gegen Umgebungsdruck messen.

### 3.1.3 Berechnung der Differenzdrücke (bar)

$$DIP(i) = (DIG(DPTAB(i)+1) - DPTRNP(i)) \times DPTREB(i) / 16 ,$$

Bei der Berechnung der Differenzdrücke braucht der Luftdruck nicht berücksichtigt werden; die Formel ist analog zur Druckberechnung aufgebaut.

### 3.1.4 Berechnung des Gasdurchsatzes (m<sup>3</sup>/h)

$$VA(i) = (DIG (VTAB(i) + 1) - VTRNP(i)) \times VTREB(i) / 16.$$

Zur Durchflußbestimmung werden Turbinenradzähler der Firma Tylors benutzt. Wichtig für die Wahl dieser Meßmethode ist die Tatsache, daß der Volumenstrom nahezu unabhängig von der Dichte des Stoffstromes bestimmt wird. Die Reproduzierbarkeit von Meßergebnissen ist bei Wasserstoff ebenso wie bei Stickstoff gegeben.

### 3.1.5 Berechnung der elektrischen Leistung (kW)

$$PL2 = (DIG (PLTAB(1)+1) - PLTRNP(1)) \times PLTREB(1) / 10.000$$

$$H1 = (DIG (PLTAB(2)+1) - PLTRNP(2)) \times PLTREB(2) / 10.000$$

$$H2 = (DIG (PLTAB(3)+1) - PLTRNP(3)) \times PLTREB(3) / 10.000$$

$$PL6 = H1 + H2$$

$$PL63 = (DIG(PLTAB(4)+1) - PLTRNP(4)) \times PLTREB(4) / 10.000$$

Hinter der Bezeichnung PL6 verbirgt sich die elektrische Leistung des Erhitzers H1o5 (siehe Blockdiagramm). Der genannte Erhitzer ist zweistufig ausgeführt und so muß über die Hilfsgrößen H1 und H2 die Leistung aufsummiert werden.

### 3.1.6 Berechnung der zugesetzten Wassermenge (kg/h)

$$AMH2o = (DIG(H2oTAB+1) - H2oNP) \times H2oEB/16.$$

### 3.1.7 Stabilität des Programms

Um die Stabilität des Programms zu gewährleisten, wurde für alle Umrechnungen folgende Sicherungsmaßnahme getroffen:

Sollte aufgrund der Verfahrensauswahl ein Meßwert nicht benutzt werden, so kann der entsprechende Millivoltwert negativ sein. Das gleiche Phänomen kann zum Zeitpunkt der Meßwertaufnahme durch einen Störimpuls hervorgerufen werden - die berechnete physikalische Größe wird ebenfalls negativ. In diesem Fall wird der betreffende Wert vom Programm auf  $10^{-9}$  festgelegt, so daß der Programmablauf nicht gestört wird; hier ist speziell an die Division durch Null zu denken.

## 3.2 Flußplan der Berechnungsschritte (Auszug)

In diesem Kapitel wird die Darstellung der Berechnungsschritte bewußt auf drei wesentliche Programmpunkte beschränkt, da der detaillierte Programmablaufplan und die im Kapitel 3.3 erläuterten Unterprogramme weitergehende Erklärungen überflüssig machen. Ferner sind im Programmablaufplan die einzelnen Berechnungsschritte der in Abbildung 2 dargestellten Blöcke deutlich gezeichnet,

### 3.2.1 Mischpunkt 1

MIP 1 (Abb. 2, 5)

Zur Berechnung der feuchten Gasanalysen ist MIP 1 der Start- bzw. Festpunkt. Das von der Methan-Dampfreformierungsanlage (EVA I) kommende "trockene" Reformergas ist wasserdampfgesättigt bei der entsprechenden Eintrittstemperatur. Im Punkt VIP EIN wurde diesem Umstand bei der Berechnung der feuchten Gasanalyse Rechnung getragen.

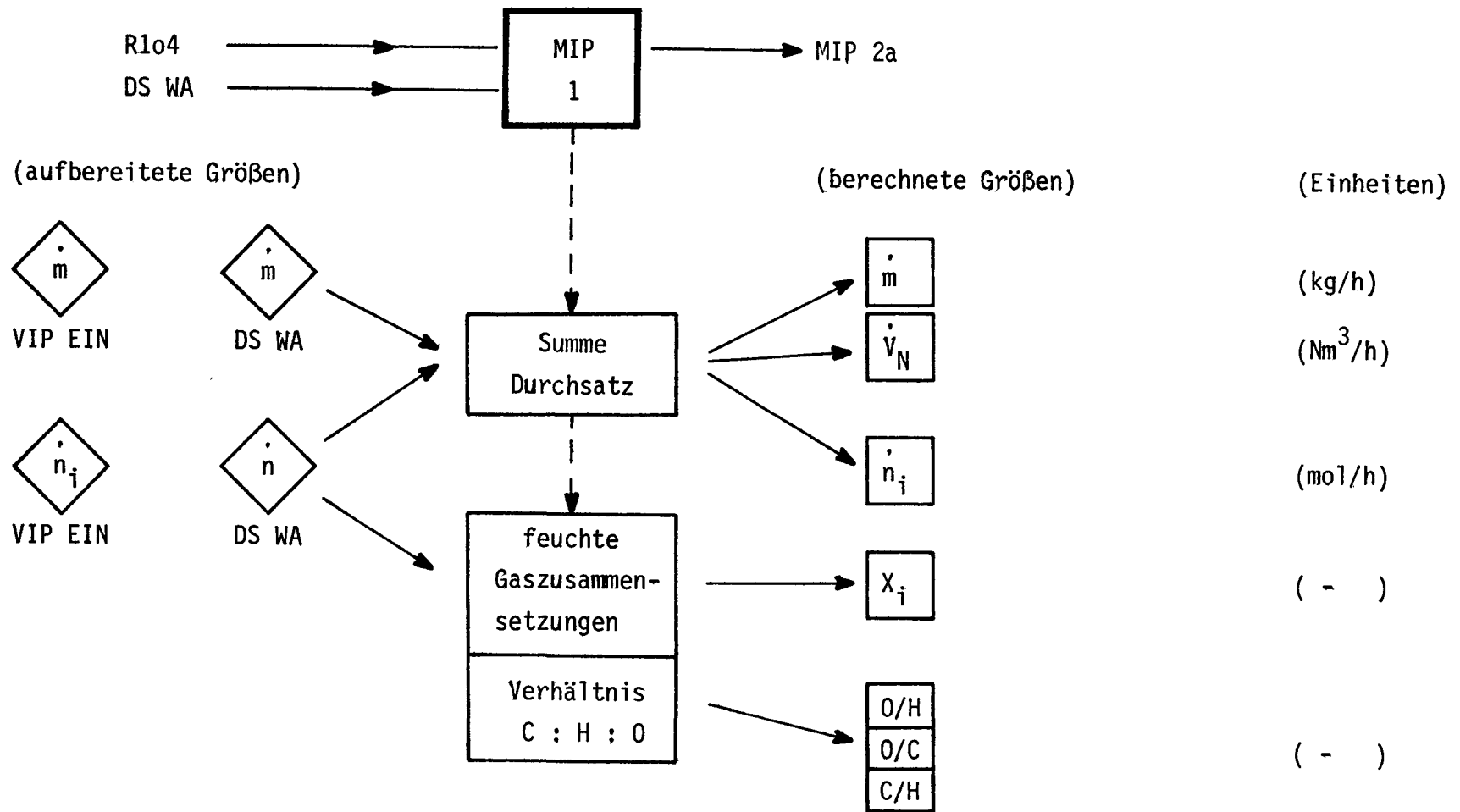


Abbildung 5:

Je nach Verfahrensauswahl – d.h. Wasserdampfzugabe; ja oder nein – bilden die eventuell neu zu berechnende Gaszusammensetzung bzw. das daraus resultierende C : H : O-Verhältnis die Startbilanz für alle weiteren Berechnungen.

### 3.2.2 Gaschromatograph

GC 2 (Abb. 6)

Die vom GC (GC = Gaschromatograph) ermittelte "trockene" Gaszusammensetzung wird mit Hilfe der Atombilanz auf die real vorliegende "feuchte" Gaszusammensetzung umgerechnet.

#### Vereinbarung:

$\psi_i$  Molanteil der Komponente  $i$  im trockenen Gasstrom

$X_i$  Molanteil der Komponente  $i$  im feuchten Gasstrom

$\dot{n}_i$  Molenstrom der Komponente  $i$

$^0$  Index  $^0$  gilt für Eingangsgrößen

Per Definition gelten zwischen  $X_i$ ,  $\dot{n}_i$  und  $\psi_i$  folgende Zusammenhänge:

$$X_i = \frac{\dot{n}_i}{\dot{n}} \quad (1) \quad X_i = (1 - X_{H_2O}) \cdot \psi_i \quad (2)$$

$$\dot{n} = \sum \dot{n}_i \quad (3) \quad \sum X_i = 1 \quad (4)$$

#### C-Bilanz

$$\dot{n}^0 \cdot (X_{CO}^0 + X_{CO_2}^0 + X_{CH_4}^0) = a \cdot \dot{n} \cdot (X_{CO} + X_{CO_2} + X_{CH_4}) \quad (5)$$

#### O-Bilanz

$$\dot{n}^0 \cdot (X_{CO}^0 + 2X_{CO_2}^0 + X_{H_2O}^0) = a \cdot \dot{n} \cdot (X_{CO} + 2X_{CO_2} + X_{H_2O}) \quad (6)$$



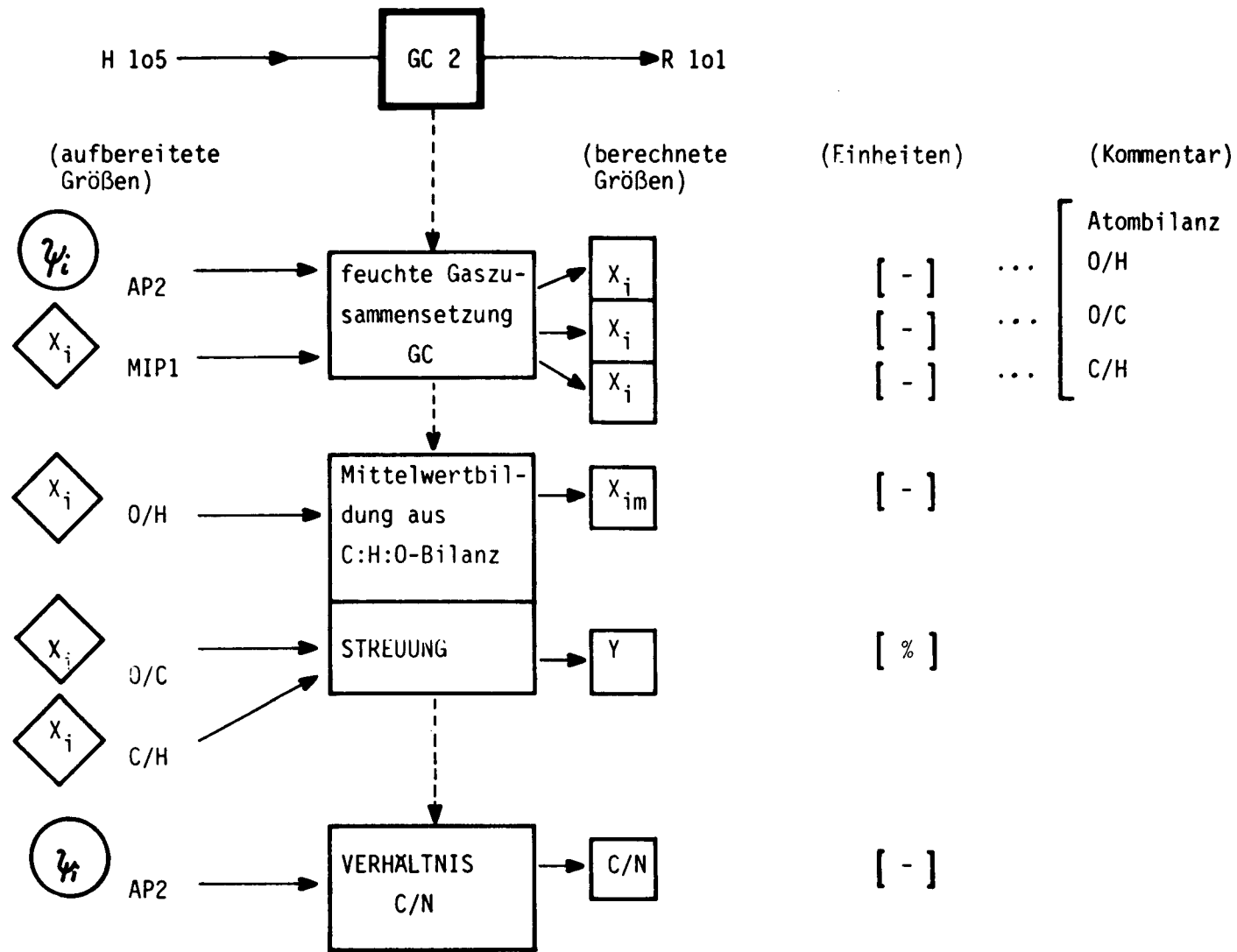


Abb. 6 GC 2

H-Bilanz

$$\dot{n}^0 \cdot (4X_{CH_4}^0 + 2X_{H_2}^0 + 2X_{H_2O}^0) = a \cdot \dot{n} \cdot (4X_{CH_4} + 2X_{H_2} + 2X_{H_2O}) \quad (7)$$

Der Faktor  $a$  berücksichtigt den vergrößerten Molenstrom bei Recyclefahrweise, sonst gilt  $a = 1$ .

Im vorliegenden Fall ist die "feuchte" Gaszusammensetzung des Eingangsstoffes und die "trockene" Gaszusammensetzung des Ausgangsstoffes bekannt. Durch Bilden des Verhältnisses der O-Bilanz zu H-Bilanz eliminiert man die unbekanntes Molenströme; durch Umstellen der Gleichung nach  $X_{H_2O}$  und mit Hilfe der Gleichung (2) läßt sich  $X_{H_2O}$  berechnen.

Zur Vereinfachung der linken Seiten (Eingangsgrößen) wird gesetzt,

$$\begin{aligned} C &= X_{CO}^0 + X_{CO_2}^0 + X_{CH_4}^0 \\ O &= X_{CO}^0 + 2X_{CO_2}^0 + X_{H_2O}^0 \\ H &= 4X_{CH_4}^0 + 2X_{H_2}^0 + 2X_{H_2O}^0 \end{aligned}$$

Mit der bereits erwähnten Gleichung (2) folgt

$$\frac{O}{H} = \frac{\psi_{CO} (1 - X_{H_2O}) + 2 \psi_{CO_2} (1 - X_{H_2O}) + X_{H_2O}}{4 \psi_{CH_4} (1 - X_{H_2O}) + 2 \psi_{H_2} (1 - X_{H_2O}) + 2X_{H_2O}}$$

und damit ergibt sich aus der O- und H-Bilanz

$$X_{H_2O} = \frac{\frac{O}{H} (2 \psi_{H_2} + 4 \psi_{CH_4}) - \psi_{CO} - 2 \psi_{CO_2}}{\frac{O}{H} (2 \psi_{H_2} + 4 \psi_{CH_4}) - \psi_{CO} - \psi_{CO_2} + 1 - 2 \frac{O}{H}}$$

analog aus der O- und C-Bilanz

$$X_{H_2O} = \frac{\frac{O}{C} (\psi_{CO} + \psi_{CO_2} + \psi_{CH_4}) - \psi_{CO} - 2 \psi_{CO_2}}{\frac{O}{C} (\psi_{CO} + \psi_{CO_2} + \psi_{CH_4}) - \psi_{CO} - 2 \psi_{CO_2} + 1}$$

und analog aus der C- und H-Bilanz

$$X_{H_2O} = \frac{\frac{C}{H} (2\psi_{H_2} + 4\psi_{CH_4}) - \psi_{CO} - \psi_{CO_2} - \psi_{CH_4}}{\frac{C}{H} (2\psi_{H_2} + 4\psi_{CH_4}) - \psi_{CO} - \psi_{CO_2} - \psi_{CH_4} - 2 \cdot \frac{C}{H}}$$

$$X_{im} = \sum_{j=1}^{j=3} X_{ij} / 3$$

$$\gamma = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{X_{min}} \cdot 100$$

Im Falle einer genauen Gasanalyse sind die drei ermittelten Molenbrüche des Wassers identisch. In der Praxis werden geringe Abweichungen festgestellt, deshalb wird zur weiteren Berechnung der Molenbrüche ein Mittelwert gebildet. Der Buchstabe  $\gamma$  gibt den max. Fehler an.

Zur Kontrolle der "GC's" wird die C- und N-Bilanz verwendet, da das Verhältnis C/N (auch im trockenen Analysengas) konstant ist.

Ausnahme: Der Analysenpunkt im trockenen ADAM I-Produktgas kann "C-Schwund" aufweisen, das bedeutet, daß geringe Mengen von  $CO_2$  im zuvor entfernten Kondensat gelöst wurden.

Analog zu Gleichung (1) gilt:

$$\psi_i = \frac{\dot{n}_i}{\dot{n}_{tr}}$$

Somit kann das Verhältnis C/N für jeden GC direkt aus den gemessenen  $\psi_i$ -Werten ermittelt werden.

C-Bilanz

$$\dot{n}_{tr}^o (\psi_{CO}^o + \psi_{CO_2}^o + \psi_{CH_4}^o) = a \cdot \dot{n}_{tr} \cdot (\psi_{CO} + \psi_{CO_2} + \psi_{CH_4})$$

N-Bilanz

$$\dot{n}_{tr}^o \cdot 2 \psi_{N_2}^o = a \cdot \dot{n}_{tr} \cdot 2 \psi_{N_2}$$

$$C_{tr} = \psi^0_{CO} + \psi^0_{CO_2} + \psi^0_{CH_4}$$

$$N_{tr} = 2 \psi^0_{N_2}$$

$$\frac{C_{tr}}{N_{tr}} = \frac{\psi_{CO} + \psi_{CO_2} + \psi_{CH_4}}{2\psi_{N_2}} = \text{const.}$$

In Blatt 1 der Auswertung des Meßpunktes 44o sind die Analysenmeßstellen der Versuchsanlage ADAM I dargestellt - siehe S. 50.

### 3.2.3 Methanisierungsreaktor R1o1

R1o1 (Abb. 7/8)

#### Wärmeverlust

Im adiabaten Reaktor ist der Wärmeverlust  $\dot{Q}_V = 0$ . Dieser Idealfall gilt jedoch nicht für die Versuchsanlage ADAM I. Es werden Verluste auftreten, die mit Hilfe des neu erstellten Unterprogramms Enthalpie (UP ENTH) berechnet werden.

- a) absoluter Enthalpiestrom am Reaktoreintritt
- b) absoluter Enthalpiestrom am Reaktorausritt
- c) Differenz zwischen a) und b) - ein Maß für den Wärmeverlust des Reaktors

#### Differenzenthalpie (real)

In diesem Rechenschritt wird mit Hilfe des UP ENTH die Energie berechnet, die freisetzbar ist, wenn von der gemessenen Austrittstemperatur des Reaktors auf die Eintrittstemperatur desselben Reaktors abgekühlt wird, d.h.  $\Delta H_R$  ist ein Maß für die real nutzbare Reaktionsenthalpie.

#### Differenzenthalpie (ideal), adiabate Grenztemperatur, ideale feuchte Gaszusammensetzung

Mit Hilfe des UP IDREAK wird ein idealer adiabater Reaktor berechnet, d.h. es treten keine Wärmeverluste  $Q_V$  auf, und es herrscht Gleichgewicht, somit wird die adiabate Grenztemperatur erreicht. Die gleichzeitig berechnete Differenzenthalpie ist deshalb ein Maß für die ideal freisetzbare Energie bezogen auf die Eintrittstemperatur desselben Reaktors.

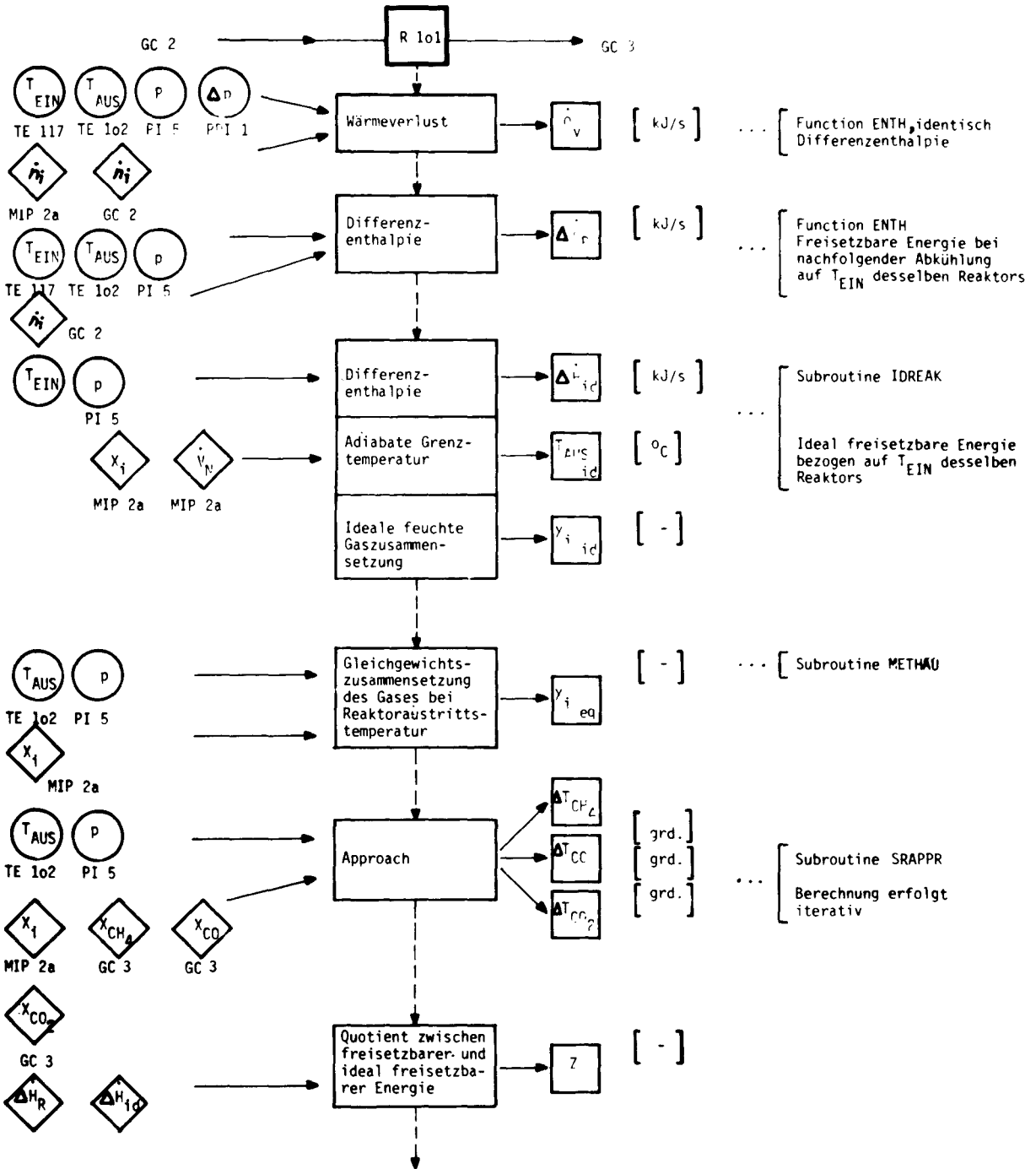


Abb. 7 Reaktor 101

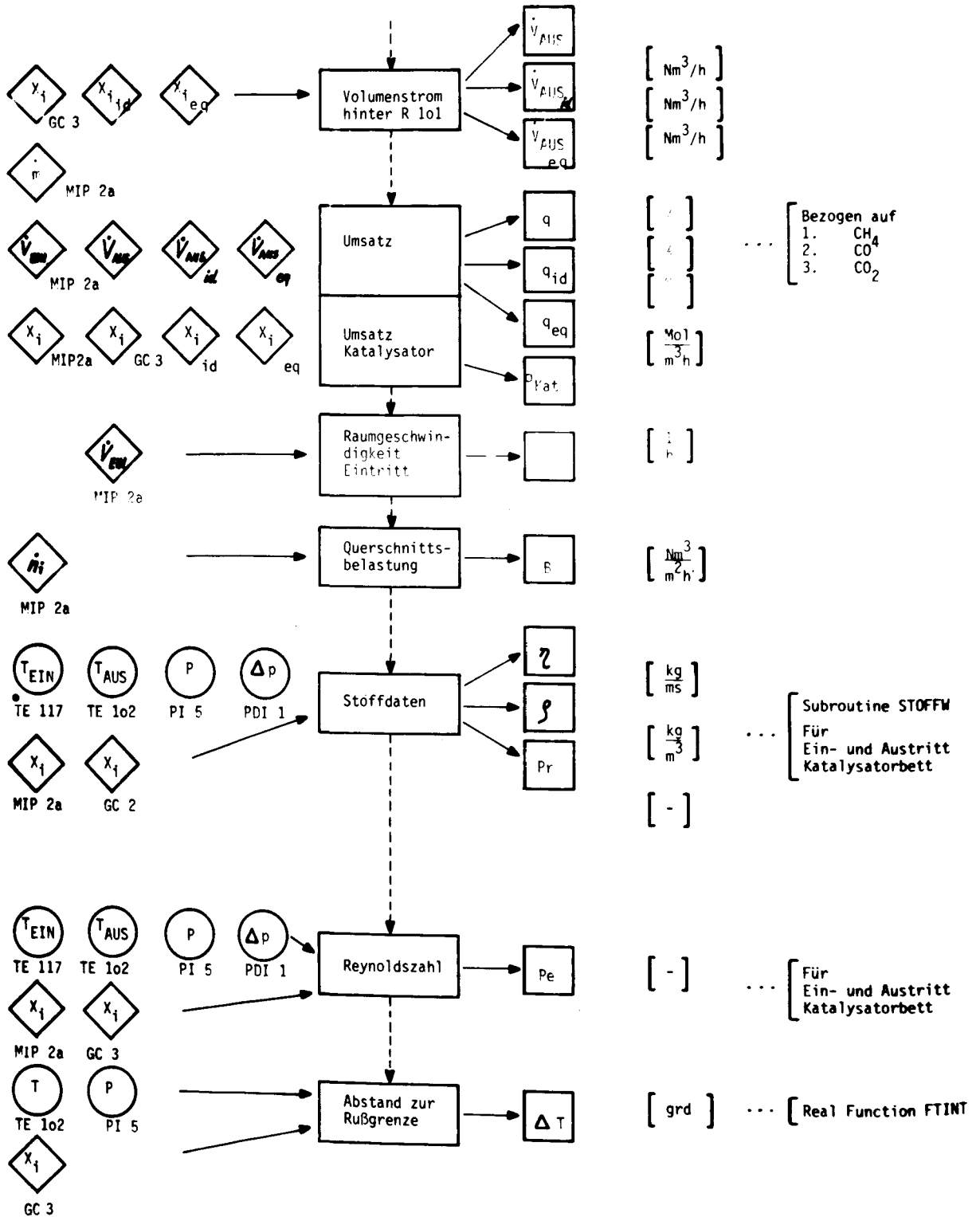


Abb. 8 Fortsetzung Reaktor 101

### Gleichgewichtszusammensetzung des Gases am Reaktoraustritt

Es wird die Gleichgewichtszusammensetzung des Gases bei gemessener Reaktoraustrittstemperatur, Druck und vorgegebener Eingangszusammensetzung mit Hilfe des UP METHAU /10/ berechnet. Bei der Berechnung der Gleichgewichte sind grundsätzlich homogene Gassysteme und heterogene Systeme mit Kohlenstoff als Bodenkörper zu unterscheiden. Das vorliegende Unterprogramm behandelt ausschließlich die homogene Gasphase.

### Approach

Die Frage nach dem Approach ändert lediglich die Vorgehensweise gegenüber dem vorangegangenen Rechenschritt. Die Gaszusammensetzung und der Druck am Reaktoraustritt sind bekannt, die dazugehörigen Gleichgewichtstemperaturen werden aus dem temperaturabhängigen Massenwirkungsgesetz berechnet.

### Quotient zwischen freisetzbarer und ideal freisetzbarer Energie

Der Quotient zwischen real und ideal freisetzbarer Energie wird berechnet. Die Zahl ist ein Maß, ob der adiabate Zustand des katalytischen Festbettes erreicht wurde.

### Volumenstrom hinter R101

Es werden folgende Normvolumenströme aus dem bekannten Massenstrom berechnet mit:

- a) Gaszusammensetzung entsprechend den realen Reaktoraustrittsbedingungen
- b) Gaszusammensetzung entsprechend der realen Reaktoraustrittstemperatur und Druck, jedoch bei Gleichgewichtszusammensetzung
- c) Gaszusammensetzung entsprechend einem idealen, adiabaten Reaktor

### Umsatz (relativ), Umsatz (relativ) bezogen auf das Eingangsgas der Anlage, Umsatz Katalysator (absolut)

Es werden die relativen Umsätze über  $\text{CH}_4$ -,  $\text{CO}$ - bzw.  $\text{CO}_2$ -Reaktion bei realer, Gleichgewichts- und idealer Gaszusammensetzung berechnet.

Außerdem werden die relativen Umsätze über  $\text{CH}_4$ -,  $\text{CO}$  bzw.  $\text{CO}_2$ -Reaktion bei realer Gaszusammensetzung über die gesamte Anlage berechnet. Das Ergebnis zeigt dem Experimentator, ob bei Zubau einer weiteren Methanisierungsstufe der Umsatz noch sinnvoll gesteigert werden kann.

Ferner werden die absoluten Umsätze über  $\text{CH}_4$ -,  $\text{CO}$ - bzw.  $\text{CO}_2$ -Reaktion bezogen auf das Schüttungsvolumen des Katalysators berechnet.

#### Raumgeschwindigkeit (Eintritt)

Die Raumgeschwindigkeit ist ein Maß für die Katalysatorbelastung.

#### Querschnittsbelastung

Die Querschnittsbelastung ist ebenfalls ein Maß für die Katalysatorbelastung, gibt jedoch indirekt Auskunft über die Geometrie des Katalysatorbettes.

#### Stoffdaten

Die Stoffdaten  $\eta$ ,  $\rho$ ,  $Pr$  werden mit dem UP STOFFW /11/ berechnet und zwar für den Reaktorein- und -austritt.

#### Reynolds-Zahl

Die Reynolds-Zahl wird jeweils für Ein- und Austritt des Katalysatorbettes berechnet und stellt u.a. Strömungsverhalten und Gasverteilung im Bett indirekt dar.

#### Abstand zur Rußgrenze

Mit dem UP FTINT wird nach vorgegebener Gaszusammensetzung und Druck die Temperatur der Rußgrenze berechnet. Die Differenz zur real herrschenden Temperatur in der Versuchsanlage gibt dem Fahr-Ingenieur einen Hinweis auf mögliche Verrußungsgefahr.

Blatt 5 und 6 der Auswertung des Meßpunktes 44o veranschaulichen den Aufbau der Tabelle speziell für die Reaktoren. Die im Programm benutzten Symbole finden Sie auf Seite 44 .



### 3.3 Unterprogramme

#### 3.3.1 UP\_EINTIP

Subroutine-Up zur Festlegung der Rahmeninformationen für das Auswerteprogramm ADAM I. Das genannte Programm wurde bereits unter Kapitel 2.2 erläutert.

#### 3.3.2 UP\_ENTH

Funktion - UP zur Bestimmung der absoluten Enthalpie eines Stoffstromes.

Für die Gase CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> wurden die Enthalpie-Tabellenwerte von Jørgen Kjaer (Haldor Topsøe) /12/ programmiert, in denen die Bildungswärmen bereits berücksichtigt sind (absolute Enthalpien). - Die angegebenen Tabellenwerte lassen sich durch ein Polynom mit 5 Koeffizienten sehr genau wiedergeben.

$$H = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 + a_4 \cdot T^4 \quad [\text{kJ/kmol}]$$

Die Koeffizienten sind in Tabelle 1 dargestellt.

Da Wasserdampf nur bei hohen Temperaturen und kleinen Drücken als ideales Gas angesehen werden kann, wurden die Enthalpien der VDI-Wasserdampf-tafel /13/ benutzt, welche durch Verschiebung des Nullpunktes auf 25<sup>0</sup>C an die "Kjaer"-Tabellenwerte angepaßt wurden:

Bei 800<sup>0</sup>C und 0,01 bar folgt Wasserdampf den idealen Gasgesetzen. Der Wert in der Dampftafel lautet 4 158,7 kJ/kg. Als 2. Schritt wird der korrekte Enthalpiewert bei der vorliegenden Temperatur und dem tatsächlich herrschenden Druck der Dampftafel (DT) entnommen und die Differenz zwischen beiden Werten gebildet.

Die Angleichung an die übrigen "Kjaer"-Werte erfolgt in der Weise, daß bei Kjaer der Wert für Wasserdampf von 800<sup>0</sup>C entnommen (212 827,60 kJ/kmol) und um den aus der Dampftafel gewonnenen Differenzbetrag korrigiert wird. Auf diese Weise wird das reale

Gaskomponenten	Koeffizienten				
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
CO	- 1.1130640 + 05	2.8274994 + 01	3.7709258 - 03	-3.1636853 - 07	- 8.5395103 - 11
CO <sub>2</sub>	- 3.9461004 + 05	3.6933521 + 01	1.9432144 - 02	-8.2117559 - 06	1.5005140 - 09
CH <sub>4</sub>	- 7.5734879 + 04	3.2729195 + 01	3.2680463 - 02	-4.1510154 - 06	- 1.0735385 - 09
H <sub>2</sub>	- 7.3298278 + 02	2.9346630 + 01	- 8.4211771 - 04	1.6843168 - 06	- 3.5377972 - 10
N <sub>2</sub>	- 7.1149248 + 02	2.8394011 + 01	2.7078788 - 03	5.4734196 - 07	- 3.5377972 - 10

Tabelle 1:

Verhalten von Wasser bzw. Wasserdampf berücksichtigt.

Ein Beispiel:

$$T = 206 \text{ }^{\circ}\text{C}, p = 27 \text{ bar}, X_{\text{H}_2\text{O}} = 0.2136$$

Absolute Enthalpie des Dampfes bzw. Wassers

$h_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{DT}}$	(800 <sup>o</sup> C; 0,01 bar)	=	4158,7	kJ/kg
$- h_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{DT}}$	(206 <sup>o</sup> C; 5,77 bar)	=	- 2861,1	kJ/kg
<hr/>				
$\Delta h_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{DT}}$			1297,6	kJ/kg

$$\Delta H_m = 18,016 \text{ kg/kmol} \cdot \Delta h_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{DT}}$$

$$H_m(t) = - 212\,827,60 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} - \Delta H_m$$

$$\Delta H_m = 18,016 \cdot 1297,6 \text{ kJ/kmol} = 23\,372,16 \text{ kJ/kmol}$$

$$H_m(t) = - 212\,827,60 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} - 23\,372,16 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$H_m(t) = - 236\,199,76 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$H_m(t) = - 235\,804,76 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \text{ bei Kjaer}$$

In dem hier angeführten Beispiel handelt es sich um Wasserdampf; der berechnete Wert ist absolut betrachtet geringfügig größer als der von Kjaer ermittelte ideale Wert.

Für die Berechnung der Dampftafelwerte wurden die Formeln der VDI-Wasserdampftafel /13/, 6. Auflage, Ausgabe B 1963, programmiert. Dazu müssen folgende zusätzliche Unterprogramme aufgerufen werden, die im Anschluß vorgestellt werden:

- UP PDAMP
- UP VDAMP

- UP HDAMP
- UP HWAS
- UP PSIDA

Ferner ist das Programm in der Lage, durch andere Unterprogramme den Taupunkt zu bestimmen und bei der Berechnung der absoluten Enthalpie des Gasstromes anteilmäßig die Enthalpie des Wassers bzw. des im Gasstrom verbleibenden Anteils des Wasserdampfes zu berücksichtigen.

Eingabegrößen	Ausgabegrößen
Temperatur (°C)	absoluter Enthalpiestrom (kJ/s)
Druck (bar)	
Molenströme (kmol/s)	
der Einzelkomponenten	

#### UP\_PDAMP

Funktion - UP zur Bestimmung des Dampfdruckes.

$$p = 1,01325 \text{ bar} \cdot 10^\alpha + (\tau - 0,422)(0,577 - \tau) e^{-12 \tau^4} \cdot 9,80665 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$$

wobei

$$\tau = \frac{T}{T_K} = \frac{t + 273,15 \text{ K}}{647,3 \text{ K}}$$

und

$$\alpha = \bar{A} + \frac{\bar{B}}{(T_e)} + \frac{\bar{C}x}{(T_e)} \cdot (10^{\bar{D}x^2} - 1) + \bar{E} \cdot 10^{Fy^{5/4}}$$

mit den Zahlenwerten

$$\begin{aligned} (T_e) &= (t) + 273,16 & \bar{A} &= 5,426651 & \bar{D} &= 1,1965 \cdot 10^{-11} \\ x &= (T_e)^2 - \bar{K} & B &= -2005,1 & E &= 0,0044 \end{aligned}$$

$$y = 374,11 - (t) \quad \bar{C} = 1,3869 \cdot 10^{-4} \quad \bar{F} = 0,0057148$$

$$\bar{K} = 2,937 \cdot 10^5$$

Die Formel ist gültig für den Bereich  $T < T_{\text{krit}} = 374,15 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Bei Programmierung darf jedoch  $374 \text{ } ^\circ\text{C}$  nicht überschritten werden, da sonst die Rechnung einen negativen Logarithmus ergibt und das bedeutet programmtechnisch eine Fehlermeldung.

Eingabegrößen	Ausgabegrößen
Temperatur ( $^\circ\text{C}$ )	Dampfdruck (bar)

### UP\_VDAMP

Funktion - UP zur Bestimmung des spezifischen Volumens des Wasserdampfes

$$v = \frac{\bar{R}T}{\sigma} - \frac{A - E (c - \sigma) \tau^{2 \cdot 2,82}}{\tau^{2,82}} - \left[ \frac{B - (d\sigma - \tau^3) \cdot D\sigma}{\tau^{14}} + \frac{C}{\tau^{32}} \right] \sigma^2$$

$$- (1 - e\sigma) F\tau \quad \left[ \text{m}^3/\text{kg} \right]$$

wobei  $\bar{R}$  eine dimensionslos gemachte Gaskonstante ist, entsprechend der Gleichung

$$\bar{R} = \frac{\mathcal{R} \cdot T_K}{M \cdot p_K} \quad \left[ \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

mit der universellen Gaskonstante  $\mathcal{R} = 8,31415 \text{ kJ/kmolK}$  und den Konstanten

$$\begin{array}{lll} \bar{R} = 1,34992 \cdot 10^{-2} & D = 6,70126 \cdot 10^{-4} & c = 1,55108 \\ A = 4,7331 \cdot 10^{-3} & E = 3,17362 \cdot 10^{-5} & d = 1,26591 \\ B = 2,93945 \cdot 10^{-3} & F = 8,06867 \cdot 10^{-5} & e = 1,32735 \\ C = 4,35507 \cdot 10^{-6} & & \end{array}$$

Sigma ist der mit Hilfe des kritischen Druckes dimensionslos gemachte Partialdruck.

$$\sigma = \frac{p}{p_K}$$

Eingabegrößen	Ausgabegrößen
Temperatur (°C) Dampfdruck (bar)	Spezifische Volumen d. Dampfes m <sup>3</sup> /kg

### UP HDAMP

Funktion UP zur Bestimmung der Enthalpie des Wasserdampfes  
Zur Berechnung wurde die Formel

$$h = h_0 \cdot I_h \cdot \left[ \left( \frac{3,82 A}{\tau^{2,82}} + 1,82 E \left( c - \frac{\sigma}{2} \right) \tau^{2,82} \right) \sigma + \left( \frac{5 B - 3 (d\sigma - \tau^3) D\sigma}{\tau^{14}} + \frac{11 C}{\tau^{32}} \right) \sigma^3 \right] \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

verwandt, wobei

$$I_h = 221,287 \cdot 10^2 \left[ \frac{\text{m}^3 \cdot p_K}{\text{kJ}} \right]$$

und

$$h_0 = \sum_{v=0}^4 a_{hv} \tau^v \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$\sigma = \frac{p}{p_K}$$

$$\tau = \frac{T}{T_K}$$

mit den in UP VDAMP verwendeten Konstanten sowie

$$\begin{aligned} a_{h0} &= 20,033277 \cdot 10^2 \\ a_{h1} &= 11,698648 \cdot 10^2 \\ a_{h2} &= -8,05536 \end{aligned}$$

$$a_{h3} = 73,76581$$

$$a_{h4} = -13,02668$$

Im Programm wird der Taupunkt bestimmt, um für die weitere Berechnung den korrekten Wasserdampfpartialdruck zu verwenden.

Eingabegrößen	Ausgabegrößen
Temperatur (°C)	Enthalpie des Wasserdampfes (kJ/kg)
Druck (bar)	
Wassergehalt (Mol%)	
$X_{H_2O}$	

#### UP\_HWAS

Funktion UP zur Bestimmung der Enthalpie des flüssigen Wassers.  
Es wurde die Formel

$$h = h_{\tau} + I_h \left\{ \frac{Q}{W_{\sigma,\tau}^{1/3,4}} \left[ (uW_{\sigma,\tau} - w(3,4U_{\tau} - V_{\tau})) W_{\sigma,\tau} + y\tau - 0,72V_{\tau}U_{\tau} \right] + \right. \\ \left. + \left[ -H + (n-\tau)(L(n+\tau) + M(n-\tau)^8(n+9\tau)) \right] \sigma^{-\frac{N(z+12\tau^{11})}{(z+\tau^{11})^2}} \left[ q \left( \frac{r}{2} + \frac{\sigma}{3} \right) \sigma \right] \sigma \right\}$$

programmiert.

[kJ/kg]

Wobei

$$W_{\sigma,\tau} = U_{\tau} + \left[ k \cdot U_{\tau}^2 + 1 (\sigma - m\tau) \right]^{0,5}$$

eine Funktion von  $\sigma$  und  $\tau$ , in der die nur von  $\tau$  abhängige Unterfunktion

$$U_{\tau} = f - g \cdot \tau^2 - h\tau^{-6}$$

enthalten ist.

Die dimensionslosen empirischen Konstanten haben die Werte

$$\begin{array}{lll}
 G = 4,17 \cdot 10^{-1} & f = 3,7 \cdot 10^8 & m = 1,500705 \\
 H = 1,139706 \cdot 10^{-4} & g = 3,122199 \cdot 10^8 & n = 6,537154 \cdot 10^{-1} \\
 K = 9,949927 \cdot 10^{-5} & h = 1,999850 \cdot 10^5 & q = 6,25 \cdot 10^1 \\
 L = 7,241165 \cdot 10^{-5} & k = 1,72 & r = 1,310268 \cdot 10^1 \\
 M = 7,676621 \cdot 10^{-1} & l = 1,362926 \cdot 10^{16} & z = 1,5108 \cdot 10^{-5} \\
 N = 1,052358 \cdot 10^{-11} & & 
 \end{array}$$

$V_\tau$  ist

$$V = \tau \frac{dU_\tau}{d\tau} = -2g\tau^2 + 6ht^{-6}$$

eine von  $U_\tau$  abgeleitete Unterfunktion und

$$\frac{h_\tau}{\text{kJ/kg}} = \sum_{v=0}^9 b_{hv} \tau^v$$

das Polynom mit den zehn dimensionslosen Koeffizienten:

$$\begin{array}{ll}
 b_{h0} = -3,74448692 \cdot 10^4 & b_{h4} = -1,97694002 \cdot 10^7 \\
 b_{h1} = 4,66453368 \cdot 10^5 & b_{h5} = 2,89492399 \cdot 10^7 \\
 b_{h2} = -2,66687677 \cdot 10^6 & b_{h6} = -2,83099327 \cdot 10^7 \\
 b_{h3} = 9,03027153 \cdot 10^6 & \\
 \\ 
 b_{h7} = 1,78089426 \cdot 10^7 & \\
 b_{h8} = -6,53467601 \cdot 10^6 & \\
 b_{h9} = 1,06519853 \cdot 10^6 & 
 \end{array}$$

Außerdem treten hier noch vier weitere Konstanten auf, die sich aber aus bereits bekanntem wie folgt ergeben:

$$Q = \frac{2G}{l} = \frac{2 \cdot 4,17 \cdot 10^1}{1,362926 \cdot 10^{16}} = 6,1191876 \cdot 10^{-17}$$

$$u = \frac{3,4}{2 \cdot 3,4 - 1} = 5,8620689 \cdot 10^{-1}$$



$$w = \frac{1}{3,4 - 1} = 4,1666667 \cdot 10^{-1}$$

$$y = \frac{1m}{2} = \frac{1,362926 \cdot 10^{16} \cdot 1,500705}{2} = 1,0226748 \cdot 10^{16}$$

Der Wert von  $I_h$  wurde in HDAMP angegeben.

Eingabegrößen		Ausgabegrößen	
Temperatur	(°C)	Enthalpie des flüssigen Wassers	
Druck	(bar)	(kJ/kg)	

### UP\_PSIDA

Funktion UP zur Bestimmung des verbleibenden Dampfgehaltes (Mol%) im Prozeßgasstrom.

Der erste Satz läßt bereits erkennen, daß das genannte Unterprogramm nur in Verbindung mit der Taupunktbestimmung benötigt wird.

Der verbleibende Dampfanteil berechnet sich nach folgender Formel:

$$PSIDA = 4.619 \cdot 10^{-3} \frac{(t + 273,15) \cdot (1 - X_{H_2O})}{(p - p_d(t)) v_d''(t)}$$

wobei für  $p_d(t)$  die Funktion PDAMP und für  $v_d''(t)$  die Funktion VDAMP aufgerufen werden muß.

Eingabegrößen		Ausgabegrößen	
Temperatur	(°C)	Dampfgehalt des im Prozeßgasstromes verbleibenden Wassers	
Druck	(bar)	(Mol%)	
Wassergehalt d. feuchten Gases	(Mol%)		

3.3.3 UP TAUP

Funktion UP zur Bestimmung des Taupunktes eines feuchten Prozeßgasstromes mittels Intervallschachtelung. Im Programm wird das UP PSIDA aufgerufen; die Starttemperaturen sind  $T = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $T = 374 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Eingabegrößen	Ausgabegrößen
Druck (bar) Wassergehalt (Mol%) $X_{\text{H}_2\text{O}}$	Taupunkttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

3.3.4 UP IDREAK

Subroutine UP zur Berechnung eines idealen adiabaten Reaktors mittels Intervallschachtelung.

In einem idealen adiabaten Reaktor findet kein Wärmeaustausch mit der Umgebung statt, d.h. es treten keine Wärmeverluste auf und es herrscht Gleichgewicht, somit wird die adiabate Grenztemperatur erreicht.

Der Grundgedanke beim Aufbau dieses Programms ist die Tatsache, daß die Differenzenthalpie zwischen Eintritt und Austritt des Reaktors Null sein muß.

$$\Delta H = 0$$

Zu diesem Zweck werden die Unterprogramme Enthalpie (UP ENTH) und das Gleichgewichtsprogramm (UP METHAU) von H. Neis /10/ benötigt. Die Enthalpie des Eintrittsgasstromes ist durch die Versuchsdaten vorgegeben, durch Einschachtelung der Temperatur und den dazugehörigen Gleichgewichtsdaten kann die Enthalpie des Austrittsgasstromes schnell berechnet werden und die Differenzenthalpie strebt innerhalb weniger Schritte gegen Null.

Eingabegrößen		Ausgabegrößen	
Eintrittstemperatur	(°C)	adiabate Grenz-	
Austrittsdruck	(bar)	temperatur	(°C)
Differenzdruck über den Reaktor	(bar)	Gleichgewichts-	
Eintrittsmolenströme der Einzelkomponenten	(kmol/s)	zusammensetzung	(Mol%)
Eintrittsgaszusammen- setzung	(Mol%)		
Massenstrom	(kg/s)		
Molekulargewichte der Einzelkomponenten	(kg/kmol)		

Mit den genannten Größen ist die Anzahl der Eingangswerte überbestimmt, denn im Programm könnten:

- die Molekulargewichte gespeichert,
- die Eingangszusammensetzung berechnet

$$X_i = \frac{\dot{n}_i}{\dot{n}} \quad \text{da } \dot{n} = \sum_i \dot{n}_i$$

- und der Massenstrom berechnet werden.

$$\dot{m} = \dot{n} \cdot \bar{M} \quad \text{mit } \bar{M} = \sum_i X_i \cdot M_i$$

Da im Hauptprogramm jedoch alle Angaben vorliegen, wurde auf eine Berechnung verzichtet.

### 3.3.5 UP\_SRAPPR

Subroutine UP zur Berechnung der Gleichgewichtstemperatur einer Reaktion für die Komponenten CH<sub>4</sub>, CO und CO<sub>2</sub>.

Das Programm überprüft für die genannten Gaskomponenten, ob die gemessene Gasaustrittszusammensetzung bei der gemessenen Austrittstemperatur dem Gleichgewicht entspricht und übergibt die

Gleichgewichtstemperaturen an das Hauptprogramm. Die Rechnung erfolgt wieder mittels Intervallschachtelung und mit dem Unterprogramm METHAU. Für die Komponenten  $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}$  ist die Programmierung einfach zu gestalten, da die  $\text{CH}_4$ - bzw.  $\text{CO}$ -Gehalte mit steigender Temperatur im interessierenden Temperaturbereich von 200 bis 1000 °C monoton fallen bzw. steigen. Das gilt jedoch nicht für  $\text{CO}_2$ , das im genannten Temperaturbereich ein Maximum aufweist. Speziell für  $\text{CO}_2$  wurde deshalb ein weiteres Unterprogramm (UP  $\text{TCO}_2$ ) geschrieben, daß bei gegebenem Druck und der Eingangszusammensetzung den Maximalwert der Kurve und die dazugehörige Temperatur berechnet.

Da bei der Methanisierung die Gleichgewichtstemperaturen von  $\text{CO}$  und  $\text{CO}_2$  eng beieinander liegen, läßt sich der für die weitere Rechnung benötigte Temperaturbereich, links oder rechts der zum Maximalwert gehörenden Temperatur, so programmtechnisch leicht festlegen.

Eingabegrößen		Ausgabegrößen	
Austrittstemperatur	(°C)	Gleichgewichtstemperaturen	
Austrittsdruck	(bar)	$T_{\text{CH}_4}$	(°C)
Eintritts- und Austrittsgaszusammensetzung	(Mol%)	$T_{\text{CO}_2}$	(°C)

### 3.3.6 UP METHAU

Subroutine UP zur Berechnung der Gleichgewichtszusammensetzung von H. Neis /10/.

Bei der Berechnung der Gleichgewichte sind grundsätzlich homogene Gassysteme und heterogene Systeme mit Kohlenstoff als Bodenkörper zu unterscheiden. Das vorliegende Unterprogramm behandelt ausschließlich die homogene Gasphase.

Da das Programm METHAU nicht selbst erarbeitet, sondern übernommen wurde, sollen hier nur die notwendigen Schritte zur Einbindung in das ADAM-Auswerteprogramm beschrieben werden.

Das Programm METHAU besteht aus Steuer- und Arbeitsprogrammen, die über einen COMMON-Block miteinander in Verbindung stehen.

Bevor also im Auswerteprogramm ADAM mit "Call METHAU " das Unterprogramm aufgerufen werden kann, ist folgendes vorzunehmen:

#### Eingabegrößen

- Der gleiche COMMON-Block muß auch im Auswerteprogramm ADAM vereinbart sein;
- IZAEHL = 0;
- ITAB = 0, bei Einzelberechnung  
ITAB = 1, bei Erstellung einer Tabelle;
- IDC = 0, kein Dampf-/Kohlenstoffverhältnis (D/C) vorgegeben,  
= 1, D/C-1 bezogen auf das Anfangsgas,  
= 2, D/C-2 bezogen auf das reduzierte Gas,  
= 3, D/CH<sub>4</sub>-3 bezogen auf das Anfangsgas,  
= 4, D/CH<sub>4</sub>-4 bezogen auf das red. Gas;
- IRED = 1, HKW + H<sub>2</sub>O = CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>  
= 2, HKW + H<sub>2</sub>O = CH<sub>4</sub> + CO  
= 3, HKW + H<sub>2</sub> = CH<sub>4</sub>  
= 4, HKW + H<sub>2</sub>O = H<sub>2</sub> + CO } Reduzierung der höheren Kohlenwasserstoffe
- ITROCK=0, Ausgabe einer feuchten Gaszusammensetzung,  
=1, Ausgabe einer trockenen Gaszusammensetzung;
- Temperatur,Angabe in Grad Kelvin (K)
- Druck,      Angabe in physikalischen Atmosphären (atm)
- Gaszusammensetzung, Angabe in Molprozent.

FF(1)	≙	CH <sub>4</sub>
FF(2)	≙	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
FF(3)	≙	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
FF(4)	≙	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>

FF(5)	≐	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
FF(12)	≐	H <sub>2</sub> O
FF(13)	≐	H <sub>2</sub>
FF(14)	≐	CO
FF(15)	≐	CO <sub>2</sub>
FF(16)	≐	N <sub>2</sub>

### Ausgabegrößen

Gleichgewichtszusammensetzung (Mol%) feucht oder trocken je nach Schlüsselangabe ITROCK

YY	≐	H <sub>2</sub> O	St	= 0.0	≐	H <sub>2</sub> O
U	≐	CH <sub>4</sub>	UT		≐	CH <sub>4</sub>
V	≐	CO	VT		≐	CO
W	≐	CO <sub>2</sub>	WT		≐	CO <sub>2</sub>
XX	≐	H <sub>2</sub>	RT		≐	H <sub>2</sub>
Z	≐	N <sub>2</sub>	ZT		≐	N <sub>2</sub>

### 3.3.7 UP\_Stoffw

Subroutine UP zur Berechnung der Stoffdaten eines Gasgemisches mit den Komponenten CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O von B. Höhlelein /11/.

Das genannte Programm wurde ebenfalls übernommen, so daß auch hier nur die Anpassung an das Auswertprogramm beschrieben wird.

### Eingabegrößen

- Der die einzelnen Unterprogramme verbindende COMMON-Block muß im Auswertprogramm vereinbart sein;
- Temperatur           Angabe in Grad Celsius
- Druck                 Angabe in physikalischen Atmosphären (atm)
- Gaszusammensetzung   Angabe in Molprozent

X(1)	≅	H <sub>2</sub> O
X(2)	≅	CH <sub>4</sub>
X(3)	≅	CO
X(4)	≅	CO <sub>2</sub>
X(5)	≅	H <sub>2</sub>
X(6)	≅	N <sub>2</sub>

### Ausgabegrößen

Dichte $\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Wärmekapazität $c_{pm}$	kJ/(kg Grad)
Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	W/(m Grad)
Viskosität $\eta$	kg/m s)
Prandtl-Zahl $Pr$	-

### 3.3.8 UP\_FTINT

Funktion UP zur Ermittlung der Rußgrenzen bei Abkühlung von Reformergas.

Mit Hilfe des Programms wird untersucht, ob Rußbildung thermodynamisch möglich ist. Dabei ist zu beachten, daß diese Untersuchungen auf Einzelreaktionen bezogen sind, hier speziell

- Methanzerfall,  $C + 2H_2 \rightleftharpoons CH_4$
- Boudouard-Reaktion,  $C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO$

Für die einzelnen Reaktionen wurden die Rußgrenzen /14/ in Abhängigkeit von der Temperatur programmiert. Ferner muß die Gleichgewichtskonstante  $K_p$  für die betreffende Reaktion berechnet werden.

$K_p$ -Werte entsprechend den vorliegenden Partialdrücken

$$K_p = \lg \frac{p_{\text{CH}_4}}{(p_{\text{H}_2})^2} \quad \text{Methanzerfall}$$

$$K_p = \lg \frac{(p_{\text{CO}})^2}{p_{\text{CO}_2}} \quad \text{Boudouard}$$

#### Eingabegrößen

- XZ      Temperaturfeld
- Y2      YY-Wert (Rußgrenze), der den einzelnen Temperaturen zugeordnet ist; die Ziffer 2 zeigt, daß es sich um die Boudouard-Reaktion handelt.
- KP2     Gleichgewichtskonstante für diese Reaktion
- NRK     Eine Abfrage, ob der YY-Wert als Funktion der Temperatur steigend oder fallend ist und dient damit der Auffindung der bezüglich KP nächst höheren bzw. tieferen Stützstelle. Bei der Boudouard-Reaktion steigt der YY-Wert.

#### Ausgabegrößen

- $T_{\text{Rußgrenze}}$       Temperatur der Rußgrenze in Kelvin.

### 3.4 Test des Auswerteprogramms ADAM

Vor Inbetriebnahme der Versuchsanlage ADAM I wurde das Programm mit mehreren Simulationstestläufen, entsprechend den verschiedenen Koppungsmöglichkeiten der Reaktoren bzw. Wasserdampfzugabe, auf volle Funktionsfähigkeit überprüft. Zuvor wurden alle Unterprogramme ihrerseits mit Hilfe kleiner Haupt-(Rahmen-)Programme getestet, die dergestalt aufgebaut waren, daß bekannte Literaturdaten unter Verwendung der Unterprogramme berechnet werden mußten.



### 3.5 Beschreibung aller Variablen

#### 3.5.1 Datei ADAMKONS

169,161,172,173,151,152,174,153,175,154	....	TTAB(i)
176,176,177,150,156,178,157,179,180,158	....	TTAB(i)
181,159,182,183	....	TTAB(i)
165,192,193,194,195,196,197	....	PTAB(i)
162,198,163,164,200	....	DPTAB(i)
166,167,170	....	VTAB(i)
201,202,203,204	....	PLTAB(i)
194	....	H2OTAB
4, 4, 4, 4, 4, 4, 4	....	PTRNP(i)
40,40,40,40,40,40,40	....	PTREB(i)
4, 4, 4, 4, 4	....	DPTRNP(i)
3,10,3,3,0.049033	....	DPTREB(i)
4	....	VTRNP(1)
4, 4	....	HELP1,HELP2
4	....	VTRNP(3)
37.4	....	VTREB(1)
85,320	....	HELP1, HELP2
320	....	VTREB(3)
0, 0, 0, 0	....	PLTRNP(i)
100,300,300,200	....	PLTREB(i)
4	....	H2ONP
200	....	H2OEB
4	....	TTRNP
400	....	TTREB
2.0, 1.6, 1.6	....	HOE1, HOE2, HOE3
0.0040,0.0040,0.0045	....	DKAT1, DKAT2

#### Eingabedaten

Variable	Einheit		Bedeutung
TTAB(i)	(-)	Tab steht für Tabel- lierung der Kanal- Nummern von:	Temperatur T(i)
PTAB(i)	(-)		Druck p(i)
DPTAB(i)	(-)		Differenzdruck DIP(i)
VTAB(i)	(-)		Volumenstrom VA(i)
PLTAB(i)	(-)		Elektrische Leistung PL(i)
H2OTAB	(-)		Wasserzugabe AMH20

Die Abkürzung TR für Transmitter, NP für Nullpunkt und EB für Endbereich und die entsprechenden Einheiten wurden bereits erläutert. Die Größen HELP1 und HELP2 sind momentane Hilfsgrößen, mit deren Hilfe der Meßbereich der Turbinenradzähler im Recyclestrom hinter dem Kompressor festgelegt ist. Diese Größen werden im Programm mehrfach benutzt, und können, nachdem sie ihre Hilfsfunktion ausgeführt haben, überschrieben werden. Je nach Art des Verfahrens, wird der größere oder kleinere Turbinenradzähler verwendet; an das Auswerteprogramm wird jedoch nur ein Wertepaar, d.h. ein VTRNP(2) und ein VTREB(2), übergeben.

HOE1, ...	(m)	Höhe der Katalysatorschüttung im 1. Reaktor
DKAT1,...	(m)	Durchmesser des Katalysatorkornes im 1. Reaktor

### 3.5.2 Datai ADAMHAND

44o	....	MP
.113o4,.o9843,.o8961,.65493,.o4399	....	PSI (1,j)
.34797,.o5293,.o7583,.45633,.o6695	....	PSI (2,j)
.53347,.o1667,.o6361,.29863,.o8762	....	PSI (3,j)
.53347,.o1667,.o6361,.29863,.o8762	....	PSI (4,j)
.72522,.o     ,.o3389,.13241,.1o848	....	PSI (5,j)
.83o39,.o     ,.o1673,.o3111,.12177	....	PSI (6,j)
.83112	....	PSI (7,2)

### Eingabedaten

MP	(-)	Meßpunktnummer	
PSI(i,j)	(-)	Molenbrüche der trockenen Gaszusammensetzung, wobei i den "Meßort" und j die "Gaskomponente" angibt	
		i = 1 bis 7	
		1 Eingang ADAM (VIPEIN)	GC1
		2 vor R1o1	GC2

3 hinter R1o1	GC3
4 Vor R1o2	GC4
5 Hinter R1o2	GC5
6 Hinter R1o3	GC6
7 Ausgang ADAM (VIPAUS)	Binos

j = 2 bis 6

2  $\hat{=}$  CH<sub>4</sub>

3  $\hat{=}$  CO

4  $\hat{=}$  CO<sub>2</sub>

5  $\hat{=}$  H<sub>2</sub>

6  $\hat{=}$  N<sub>2</sub>

Ausnahme: Örtlichkeit 7 (Ausgang ADAM). Es handelt sich um ein Betriebsmeßgerät, das nur eine Gaskomponente erfassen kann; hier speziell CH<sub>4</sub>.

### 3.5.3 Datei ADAMBAND bzw. von Online-Datei gelesen

MESSPUNKTAUFNAHME  
MESSPUNKTNUMMER : 440  
MIN , MAX : 0,210

ONLINE UEBERTRAGUNG READING 440 IN ORDNUNG

MESSPUNKT : 440

GEMESSEN AM 25. 3.1979 UM 9:19:27 UHR

0	.014241	1	.016312	2	.015824	3	.017027	4	.013092
5	.000018	6	.014457	7	.016504	8	.012213	9	.020973
10	.012662	11	.011463	12	.015517	13	.025118	14	.007756
15	.001045	16	.001156	17	.015229	18	.003861	19	.004035
20	.029203	21	-.000001	22	-.000007	23	-.000004	24	-.000004
25	-.000005	26	-.000006	27	.000000	28	-.000004	29	-.000005
30	.036335	31	.036346	32	.035790	33	.035675	34	.025954
35	.025909	36	.020537	37	.020327	38	.019666	39	.020071
40	.033372	41	.034013	42	.014221	43	.013095	44	.006343
45	.014876	46	.012933	47	.016413	48	.015203	49	.015065
50	-.000002	51	.002853	52	-.000003	53	.022208	54	.022217
55	-.000002	56	.022408	57	.022450	58	.006040	59	.000537
60	.010724	61	.000584	62	-.000004	63	.003540	64	.016868
65	.000411	66	.010549	67	.0063784	68	.007915	69	.010008
70	.009350	71	.013087	72	.025701	73	.027154	74	.028213
75	.029421	76	.030340	77	.000004	78	.033795	79	.034882
80	.026966	81	.029066	82	-.000005	83	.025852	84	.034034

85	.033919	86	.033943	87	-.000005	88	.023954	89	.026834
90	.021770	91	.028181	92	.023326	93	.022743	94	.023168
95	.022814	96	.023264	97	.022835	98	-.000006	99	-.000008
100	.011659	101	.003397	102	.036233	103	.036251	104	.035572
105	.035378	106	-.000004	107	-.000006	108	-.000007	109	-.000003
110	-.000006	111	-.000009	112	-.000007	113	-.000004	114	-.000004
115	-.000006	116	-.000006	117	-.000006	118	-.000005	119	-.000006
120	-.000005	121	-.000003	122	-.000004	123	-.000004	124	-.000005
125	-.000012	126	-.000005	127	-.000003	128	-.000009	129	-.000010
130	-.000009	131	-.000005	132	-.000008	133	-.000008	134	-.000006
135	-.000007	136	-.000015	137	-.000007	138	-.000007	139	-.000005
140	-.000009	141	-.000010	142	-.000006	143	-.000006	144	-.000010
145	-.000012	146	-.000007	147	-.000006	148	-.000011	149	-.000011
150	.027995	151	.009928	152	.009390	153	.012332	154	.024986
155	.007999	156	.010890	157	.018548	158	.010473	159	.012581
160	.009751	161	.009732	162	.004134	163	.003956	164	.004137
165	.014530	166	.013074	167	.013252	168	.013246	169	.000606
170	.012066	171	.009861	172	.009233	173	.001669	174	.012357
175	.012199	176	.024464	177	.011188	178	.010858	179	.018158
180	.014177	181	.010244	182	.012617	183	.000925	184	-.000002
185	.021227	186	.024140	187	.010948	188	.018158	189	.010948
190	.012656	191	.000600	192	.017210	193	.014488	194	.014414
195	.014452	196	.014577	197	.014385	198	.015924	199	.024218
200	.012401	201	.234650	202	.685400	203	1.002730	204	4.253800
205	3.066300	206	-1.207940	207	-.935680	208	-.465110	209	-.741310
210	-1.461100								

Das Beispiel zeigt eine vollständige Online-Übertragung aller digitalen Meßwerte von EVA 1 und ADAM 1; ab Kanal Nr. 150 beginnen die ADAM-Meßwerte.

### Eingabedaten

MP (-) Meßpunktnummer  
DIG(i) (mV) digital erfaßte Meßwerte

### 3.5.4 Auswerteprogramm ADAM (Symbolverzeichnis)

A (-) Hilfsgrößen  
ABE (kJ/s) abgeführte Energie  
ABS (-) Absolutwert einer Größe  
ALPHA (-) Durchflußzahl einer Blende  
AMH2o (kg/h) Massendurchsatz des Wassers

AN1	(kmol/s)	Molenströme der einzelnen Gaskomponenten an der "örtlichkeit" 1 entsprechend Abbildung 2
AN7 ID oder I EQ oder E		Der Zusatz ID bzw. I bedeutet, daß hier die Molenströme eines idealen adiabaten Reaktors berechnet wurden. Die Buchstaben EQ bzw. E beziehen sich auf Gleichgewicht
C	(-)	Kohlenstoff
CP	(kJ/(kg GRD)	Spezifische Wärmekapazität
DH	(kJ/s)	Differenzenthalpie
DIP	(bar)	Differenzdruck
DT11(i)	(Grad)	Abstand von einer Rußgrenze
DT11CO	(Grad)	Approach der gemessenen Temperatur zur Gleichgewichtstemperatur von CO
DTAU	(Grad)	Abstand von der Taupunkttemperatur
EGM	(kg/kmol)	Mittleres Molgewicht
ETA	(kg/(m s)	dynamische Zähigkeit
EXPA	(-)	Expansionszahl einer Blende
GM(i)	(kg/kmol)	Molgewicht der Komponente (i)
G	(kg/s)	Massenstrom
G1H	(kg/h)	Stündlicher Massenstrom
HELP,HILF	(-)	Hilfsgröße
H	(kJ/s)	absoluter Enthalpiestrom
OEKV	(-)	Öffnungsverhältnis einer Blende bei Betriebstemperatur
PL	(kW)	elektrische Leistung
PR	(-)	Prandtl-Zahl
PSI(i)	(-)	Molenbruch der trockenen Gaszusammensetzung
P6	(bar)	Druck
P(i)	(bar)	
QB	(Nm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h))	Querschnittsbelastung des Katalysators
QK	(kmol/(m <sup>3</sup> h))	absoluter Umsatz jeweils bezogen auf CH <sub>4</sub> , CO, CO <sub>2</sub>
Q	(%)	Relativer Umsatz jeweils bezogen auf CH <sub>4</sub> , CO und CO <sub>2</sub>

Re	(-)	Reynoldszahl
RHO	(kg/m <sup>3</sup> )	Dichte
Rohrf	(m <sup>2</sup> )	Rohrnenndurchmesser (für Blendenmessung)
SAN	(kmol/s)	Gesamtmolstrom
SPSI	(-)	Summe Molenbruch der trockenen Gasanalyse = 1
SV	(1/h)	Raumgeschwindigkeit
TAU	(°C)	Taupunkttemperatur
TBCO	(°C)	Temperatur der Rußgrenze, hier ermittelt über Boudouardreaktion
TIDE	(°C)	Adiabate Grenztemperatur
VA(i)	(m <sup>3</sup> /h)	Volumendurchsatz
VCN	(-)	Verhältnis C/N
VN1	(Nm <sup>3</sup> /s)	Volumenstrom
VN1H	(Nm <sup>3</sup> /h)	stündl. Volumenstrom
WAF	(-)	"Wirkungsgrad" der Anlage
WAV	(kJ/s)	Wärmeverlust
W	(m/s)	Gasgeschwindigkeit
XF(i)	(-)	Molenbruch der feuchten Gaszusammen- setzung
Y	(%)	Relativer Umsatz bezogen auf den Eingang der Anlage jeweils für die Komponenten CH <sub>4</sub> , CO und CO <sub>2</sub>
Z	(-)	Verhältnis von real zu ideal freige- setzter Energie im Reaktor
ZUE	(kJ/s)	Zugeführte Energie

Die o.g. Symbole werden im Programm mehrfach verwendet. Eine zusätzliche Ziffer kennzeichnet die "örtlichkeit" entsprechend Abb. 2.

### 3.5.5 Übersicht Temperaturmeßstellen

---

Bezeichnung im Programm	Örtlichkeit in der Anlage	Kanalzuordnung
T (1)	TE 101; Eingang ADAM	169
T (2)	TE 133; Eintritt R104	160
T (3)	TE 114; Austritt R104	172
T (4)	TE 116; Dampfzugabe	173
T (5)	TE 107; Austritt K101	161
T (6)	TE 115; Eintritt H105	152
T (7)	TE 134; Austritt H105	174
T (8)	TE 117; Eintritt R101	153
T (9)	TE 118; Eintritt Katalysatorbett R101	175
T (10)	TE 119; Austritt Katalysatorbett R101	154
T (11)	TE 102; Austritt R101	176
T (12)	- ; Sammelrohr E101	176
T (13)	TE 136; Austritt E101	177
T (14)	TE 106; vor K101	155
T (15)	TE 108; Eintritt R102	156
T (16)	TE 120; Eintritt Katalysatorbett R102	178
T (17)	TE 121; Austritt Katalysatorbett R102	157
T (18)	TE 110; Austritt R102	179
T (19)	TIC 5 ; Austritt E102	180
T (20)	TE 122; Eintritt R103	158
T (21)	TE 123; Eintritt Katalysatorbett R103	181
T (22)	TE 124; Austritt Katalysatorbett R103	159
T (23)	TE 112; Austritt R103	182
T (24)	TE 113; Ausgang ADAM	183

### 3.5.6 Übersicht Druckmeßstellen

Bezeichnung im Programm	Örtlichkeit in der Anlage	Kanalzuordnung
P (1)	PI 8; Eingang ADAM	165
P (2)	PT42; Druck nach K1o1	192
P (3)	PI 5; Austritt R1o1	193
P (4)	PI16; Druck vor K1o1	194
P (5)	PI 6; Austritt R1o2	195
P (6)	PI 7; Austritt R1o3	196
P (7)	PIG9; Ausgang ADAM	197

### 3.5.7 Übersicht Differenzdruckmeßstellen

DIP (1)	PDI 1; R1o1	162
DIP (2)	PDT 4; K1o1	198
DIP (3)	PDI 2; R1o2	163
DIP (4)	PDI 3; R1o3	164
DIP (5)	FI 2 ; Ausgang ADAM	200

### 3.5.8 Übersicht Meßstellen der elektrischen Leistung

PL 2	H1o3	2o1
PL 6 = H1 + H2	H1o5/1	2o2
	H1o5/2	2o3
PL 63	K1o1	2o4

### 3.5.9 Wasserzugabe

AMH2o	FIC 5	184
-------	-------	-----



### 3.5.1o Turbinenradzähler

Bezeichnung im Programm	Örtlichkeit in der Anlage	Kanalzuordnung
VA (1)	Fl 1; Eingang ADAM	166
VA (2)	entweder Fl 3a; nach K1o1 (kleiner)	167
	oder Fl 3b; nach K1o1 (großer Volumenstrom)	168
VA (3)	FY4; vor K1o1	17o

4. Auswertung des Meßpunktes 44o

Blatt 1 - 6

MP Tag Mon Jahr Std Min Sek Zahl Anf Ende (D. Kanäle)  
 44o 25 3 1979 9 19 27 211 o 21o

Auswertung ADAM I		Übersicht Analysenmeßstellen					Versuch	44o
Ort		GC 1	GC 2	GC 3	GC 4	GC 5	GC 6	BINOS 7
Trockene Gaszusammensetzung (PSI)								
	H <sub>2</sub> O	o.0000	o.0000	o.0000	o.0000	o.0000	o.0000	--
	CH <sub>4</sub>	o.113o	o.348o	o.5335	o.5335	o.7252	o.83o4	o.8311
	CO	o.o984	o.o529	o.o167	o.o167	o.0000	o.0000	--
	CO <sub>2</sub>	o.o896	o.o758	o.o636	o.o636	o.o339	o.o167	--
	H <sub>2</sub>	o.6549	o.4563	o.2986	o.2986	o.1324	o.o311	--
	N <sub>2</sub>	o.o44o	o.o67o	o.o876	o.o876	o.1o85	o.1218	--
Verhältnis C/N		3.4221	3.56o3	3.5o23	3.5o23	3.4989	3.4784	--
Feuchte Gaszusammensetzung (XF)								
	H <sub>2</sub> O	o.00o6	o.1919	o.2982	o.2982	o.3884	o.43o6	--
	CH <sub>4</sub>	o.113o	o.2812	o.3744	o.3744	o.4436	o.4728	o.8295
	CO	o.o984	o.o428	o.o117	o.o117	o.0000	o.0000	--
	CO <sub>2</sub>	o.o896	o.o613	o.o446	o.o446	o.o2o7	o.oo95	--
	H <sub>2</sub>	o.6545	o.3688	o.2o96	o.2o96	o.o81o	o.o177	--
	N <sub>2</sub>	o.o44o	o.o541	o.o615	o.o615	o.o664	o.o693	--
Max. Abweichung (Y) aus O/H,O/C,C/H für H <sub>2</sub> O(%)		o.oo	3.88	2.o1	2.o1	o.88	4.38	--

Auswertung	ADAM I	VKZ 0111		ITURB 1		ISCH 1	Versuch 440	
Ort	VIP EIN	H 103		R 104		DS WA	MIP 1	DS REC
Gemessene Größen								
$T_{EIN} / T / T_{AUS}$ (Grd. Celsius)	15.15	15.15	242.71	242.71	227.18	0.00	--	244.34
$P_{EIN} / P / P_{AUS}$ (bar)	27.32	27.32	27.32	27.32	27.27	--	--	34.02
Berechnete Größen								
M (kg/h)	264.406	264.406		264.406		0.000	264.406	621.732
VN (Nm <sup>3</sup> /h)	535.259	535.259		535.259		--	535.259	881.050
$T_{Tau}$ (Grd. Cel.)	--	--		--		--	--	168.91
DT (Grd.)	--	--		--		--	--	--
PL (KW)	--	50.00		--		--	--	--
DH (kJ/s)	--	47.76		-3.37		--	--	--
WAV (kJ/s)	--	2.24		--		--	--	--
XF (-)	GC 1	GC 1		GC 1				GC3/GC5/GC6
H <sub>2</sub> O	0.0006	0.0006		0.0006		0.0000	0.0006	0.2982
CH <sub>4</sub>	0.1130	0.1130		0.1130		--	0.1130	0.3744
CO	0.0984	0.0984		0.0984		--	0.0984	0.0117
CO <sub>2</sub>	0.0896	0.0896		0.0896		--	0.0896	0.0446
H <sub>2</sub>	0.6545	0.6545		0.6545		--	0.6545	0.2096
N <sub>2</sub>	0.0440	0.0440		0.0440		--	0.0440	0.0615

Auswertung	ADAM I	VKZ 0111	ITURB 1	ISCH 1	Versuch 440	
Ort	MIP 2A	H 105	E 101	MIP 2B	E 102	E 103/105
Gemessene Größen						
$T_{EIN} / T / T_{AUS}$ (Grd. Celsius)	231.07	231.07 303.53	591.99 275.07	275.07	R 103 EIN 441.85 257.63 309.77 23.12	
$P_{EIN} / P / P_{AUS}$ (bar)	27.27	27.27 27.25	27.22 27.13	27.13	27.13 27.47	27.44 26.96
Berechnete Größen						
M (kg/h)	886.138	886.138	886.138	264.406	264.406	264.406
VN (Nm <sup>3</sup> /h)	1416.308	1416.308	1255.761	374.711	347.632	334.047
$T_{Tau}$ (Grd. Cel.)	--	150.91	169.05	--	180.68	184.43
DT (Grd.)	--	80.17	106.02	--	73.74	--
PL (KW)	--	50.64	--	--	--	--
DH (kJ/s)	--	47.44	-225.96	--	-36.96	-122.91
WAV (kJ/s)	--	3.20	--	--	--	--
XF (-)			GC 3		GC 5	GC 6
H <sub>2</sub> O	0.1857	0.1857	0.2982	0.2982	0.3884	0.4306
CH <sub>4</sub>	0.2756	0.2756	0.3744	0.3744	0.4436	0.4728
CO	0.0445	0.0445	0.0117	0.0117	0.0000	0.0000
CO <sub>2</sub>	0.0616	0.0616	0.0446	0.0446	0.0207	0.0095
H <sub>2</sub>	0.3777	0.3777	0.2096	0.2096	0.0810	0.0177
N <sub>2</sub>	0.0549	0.0549	0.0615	0.0615	0.0664	0.0693

Auswertung		ADAM I		VKZ 0111		ITURB 1		ISCH 1		Versuch 440	
Ort		VIP AUS		DS KON		E 104		DS KOM		K 101	
Gemessene Größen											
T <sub>EIN</sub> / T / T <sub>AUS</sub> (Grd. Celsius)		23.12		23.12		275.07 196.49		196.49		196.49 244.34	
P <sub>EIN</sub> / P / P <sub>AUS</sub> (bar)		26.96		26.96		27.13 27.03		27.03		27.03 34.02	
DP (bar)		0.02575		--		--		--		7.45250	
Berechnete Größen											
M (kg/h)		Blende 148.95 150.19		115.458		1794.557		1794.557		1794.557	
VN (Nm <sup>3</sup> /h)		190.41 192.00		--		2543.051		2543.051		2543.051	
T <sub>Tau</sub> (Grd. Cel.)		--		--		168.91		--		168.91	
DT (Grd.)		--		--		27.57		--		27.57	
PL (KW)		--		--		--		--		85.08	
DH (kJ/s)		--		--		-98.13		--		58.07	
WAV (kJ/s)		--		--		--		--		27.01	
XF (-)						GC3/GC5/GC6		GC3/GC5/GC6		GC3/GC5/GC6	
H <sub>2</sub> O		0.0010		1.0000		0.2982		0.2982		0.2982	
CH <sub>4</sub>		0.8295		--		0.3744		0.3744		0.3744	
CO		0.0000		--		0.0117		0.0117		0.0117	
CO <sub>2</sub>		0.0167		--		0.0446		0.0446		0.0446	
H <sub>2</sub>		0.0311		--		0.2096		0.2096		0.2096	
N <sub>2</sub>		0.1216		--		0.0615		0.0615		0.0615	
Energie-Bilanz		ZUE = - 492.44 kJ/s				ABE = 483.96 kJ/s				WAF = 0.983 (-)	

Auswertung		ADAM I		Versuch		440	
Ort		R 101		R 102		R 103	
Gemessene Größen							
T <sub>EIN</sub>	Reaktor	302.93		267.80		257.63	
T <sub>EIN</sub>	KAT-Bett	299.73		267.02		252.05	
T <sub>AUS</sub>	KAT-Bett	604.42		451.14		308.90	
T <sub>AUS</sub>	Reaktor	591.99		441.85		309.77	
(Grd. Celsius)							
P <sub>AUS</sub>	(bar)	27.22		27.13		27.44	
DP	(bar)	0.02512		0.00000		0.02569	
Berechnete Größen							
M	(kg/h)	886.138		264.406		264.406	
VN <sub>EIN/AUS</sub>	Nm <sup>3</sup> /h	1416.308/ 1255.761		374.711/ 347.632		347.632/ 334.047	
WAV	(kJ/s)	-3.10		0.80		-2.13	
DH REAL	(kJ/s)	210.40		35.24		10.24	
DH IDEAL	(kJ/s)	208.49		33.96		11.84	
T <sub>AUS</sub>	IDEAL						
(Grd. Celsius)		602.22		445.18		317.10	
XF REAL	(-)	GC 3		GC 4		GC 6	
	H <sub>2</sub> O	0.2982		0.3884		0.4306	
	CH <sub>4</sub>	0.3744		0.4436		0.4728	
	CO	0.0117		0.0000		0.0000	
	CO <sub>2</sub>	0.0446		0.0207		0.0095	
	H <sub>2</sub>	0.2096		0.0810		0.0177	
	N <sub>2</sub>	0.0615		0.0664		0.0693	
XF IDEAL	(-)						
	H <sub>2</sub> O	0.3042		0.3941		0.4323	
	CH <sub>4</sub>	0.3789		0.4473		0.4734	
	CO	0.0109		0.0004		0.0000	
	CO <sub>2</sub>	0.0427		0.0189		0.0056	
	H <sub>2</sub>	0.2011		0.0726		0.0202	
	N <sub>2</sub>	0.0622		0.0666		0.0685	
XF EQUAL	(-)						
	H <sub>2</sub> O	0.3024		0.3911		0.4331	
	CH <sub>4</sub>	0.3772		0.4447		0.4736	
	CO	0.0112		0.0005		0.0000	
	CO <sub>2</sub>	0.0422		0.0185		0.0043	
	H <sub>2</sub>	0.2041		0.0774		0.0192	
	N <sub>2</sub>	0.0629		0.0678		0.0698	

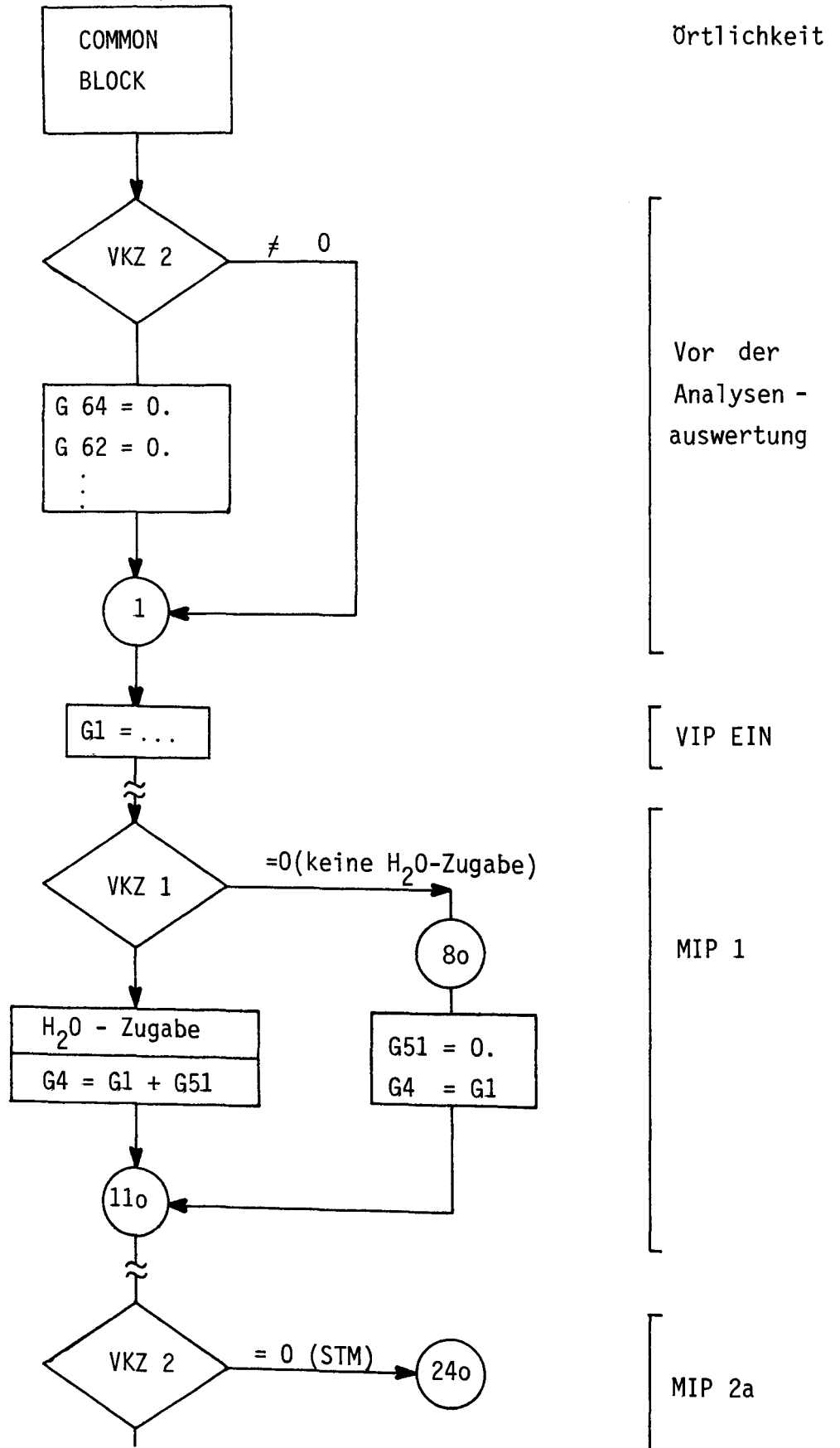
Approach (Grd.)											
CH <sub>4</sub>		4.71			3.76				6.49		
CO		2.94			-138.44				0.82		
CO <sub>2</sub>		21.71			15.09				68.04		
Faktor Z (-)		1.009			1.038				0.865		
VN AUS (Nm <sup>3</sup> /h)											
REAL		1255.761			347.632				334.047		
IDEAL		1249.819			345.877				336.966		
EQUAL		1253.499			347.301				336.999		
Rel. Umsatz (%)											
Q CH <sub>4</sub>	Q	Q									
CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	-53.14	32.13	20.77	-65.87	20.75	45.10	-51.97	0.00	55.82
QID CH <sub>4</sub>	QID CO	QID CO <sub>2</sub>	-55.43	32.83	22.59	-68.22	20.03	48.22	-73.99	-0.01	74.01
QEQ CH <sub>4</sub>	QEQ CO	QEQ CO <sub>2</sub>	-54.94	32.59	22.87	-67.07	19.95	48.77	-74.97	0.01	79.83
Rel. Umsatz (%) Bez. auf Eingang											
CH <sub>4</sub>			-79.36			-93.19			-96.91		
CO			47.99			52.34			52.34		
CO <sub>2</sub>			31.02			40.49			44.49		
Abs. Umsatz (kmol/m <sup>3</sup> /h)											
CH <sub>4</sub>			-11.20			-6.80			-2.01		
CO			6.77			2.14			0.00		
CO <sub>2</sub>			4.38			4.66			2.16		
SV (l/h)			4453.80			4108.67			4178.27		
W (m/s)			0.19			0.13			0.13		
QB (Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)			8907.60			6573.45			6685.14		
ETA (kg/m/s)											
EIN AUS			0.0000221	0.0000302		0.0000203	0.0000254		0.0000193	0.0000210	
RHO (kg/m <sup>3</sup> )											
EIN AUS			7.9889688	5.8771563		9.6210279	7.6988239		10.9264278	10.2172823	
PR (-)											
EIN AUS			0.52	0.63		0.61	0.70		0.70	0.76	
RE (-)											
EIN AUS			279.04	230.64		255.53	203.06		338.54	308.09	
Abstand zur Rußgrenze BCO / MZ (Grd. Celsius)											
KAT-Bett AUS			9.73	23.09		181.38	42.87		30.29	40.96	
Reaktor AUS			-2.69	35.51		172.10	52.16		31.15	40.10	
Kühler EIN			-2.69	35.51							
Kühler AUS			-319.61	352.43		-15.33	239.59				

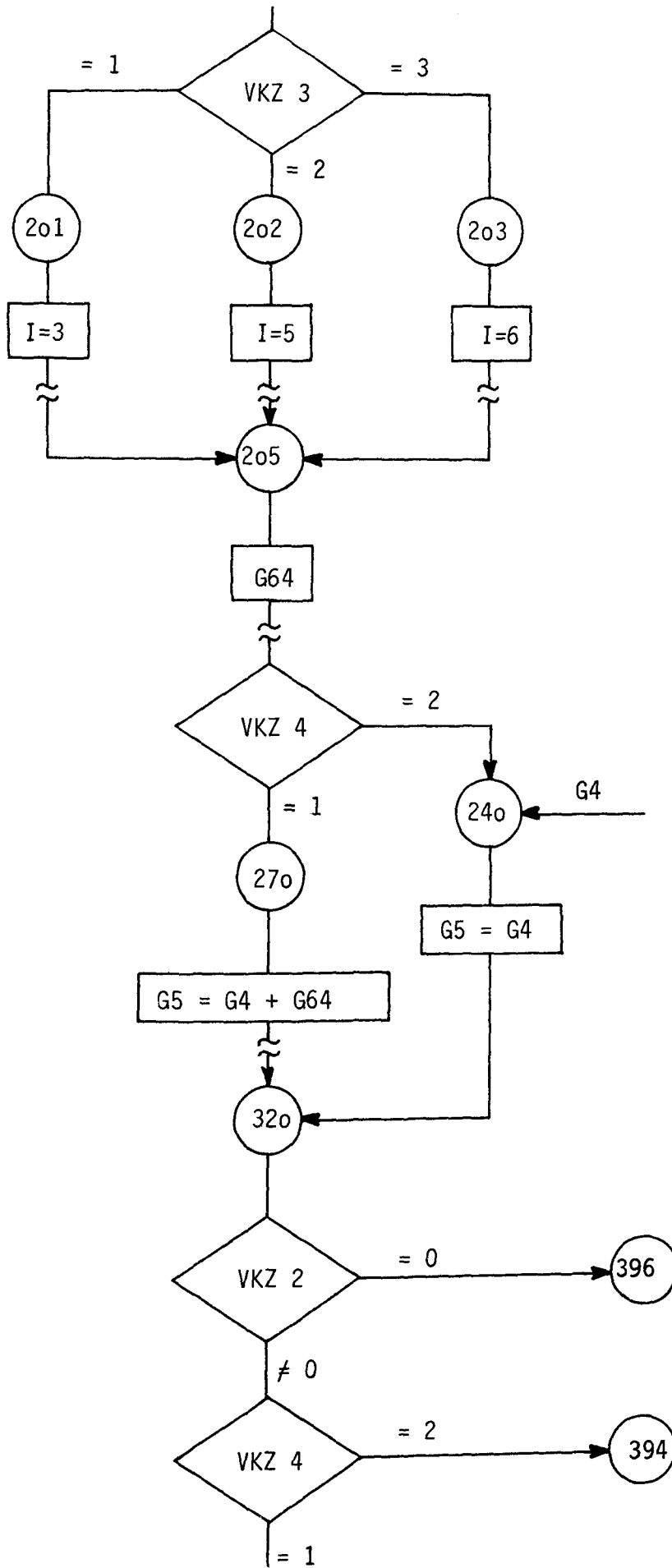


## 5. Übersicht Kennzifferabfrage

### OBERSICHT KENNZIFFERABFRAGE

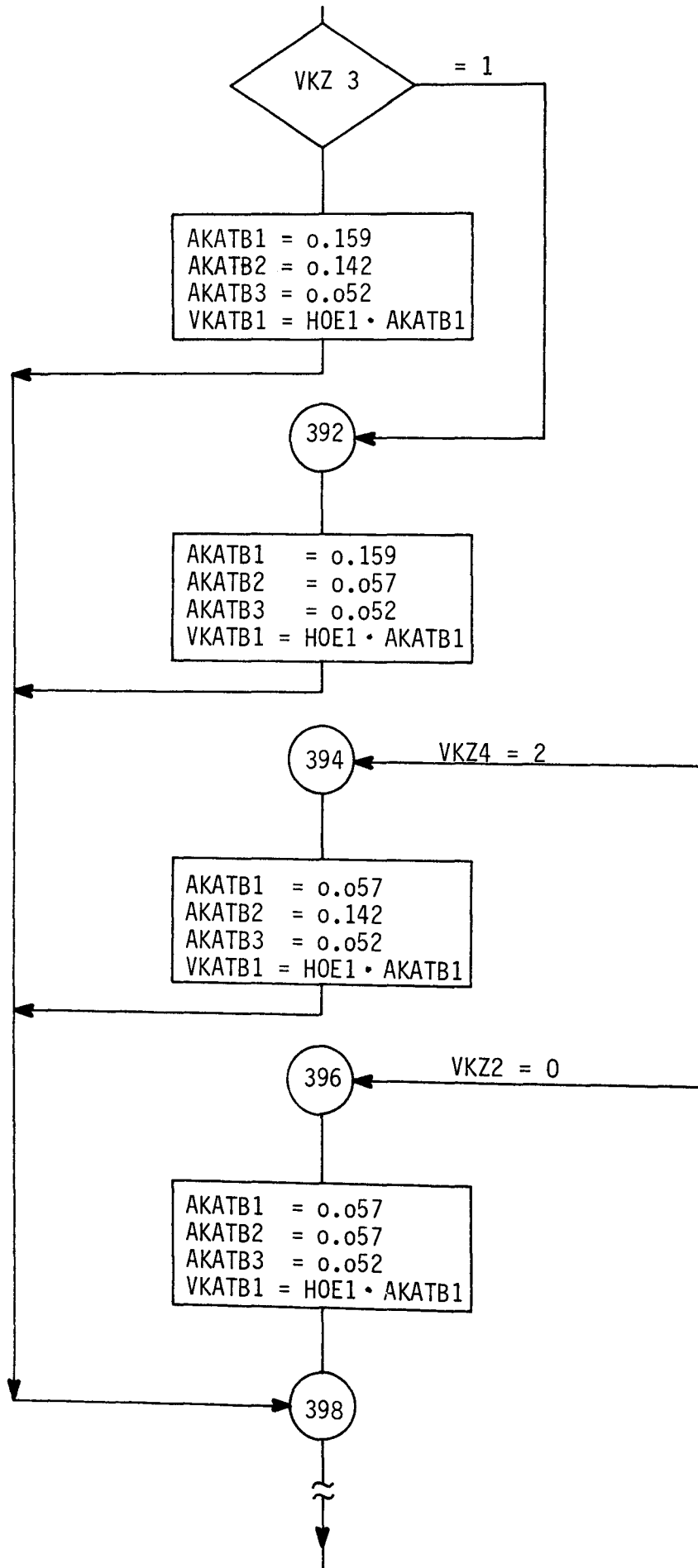
(dargestellt am Beispiel des Massenstromes)



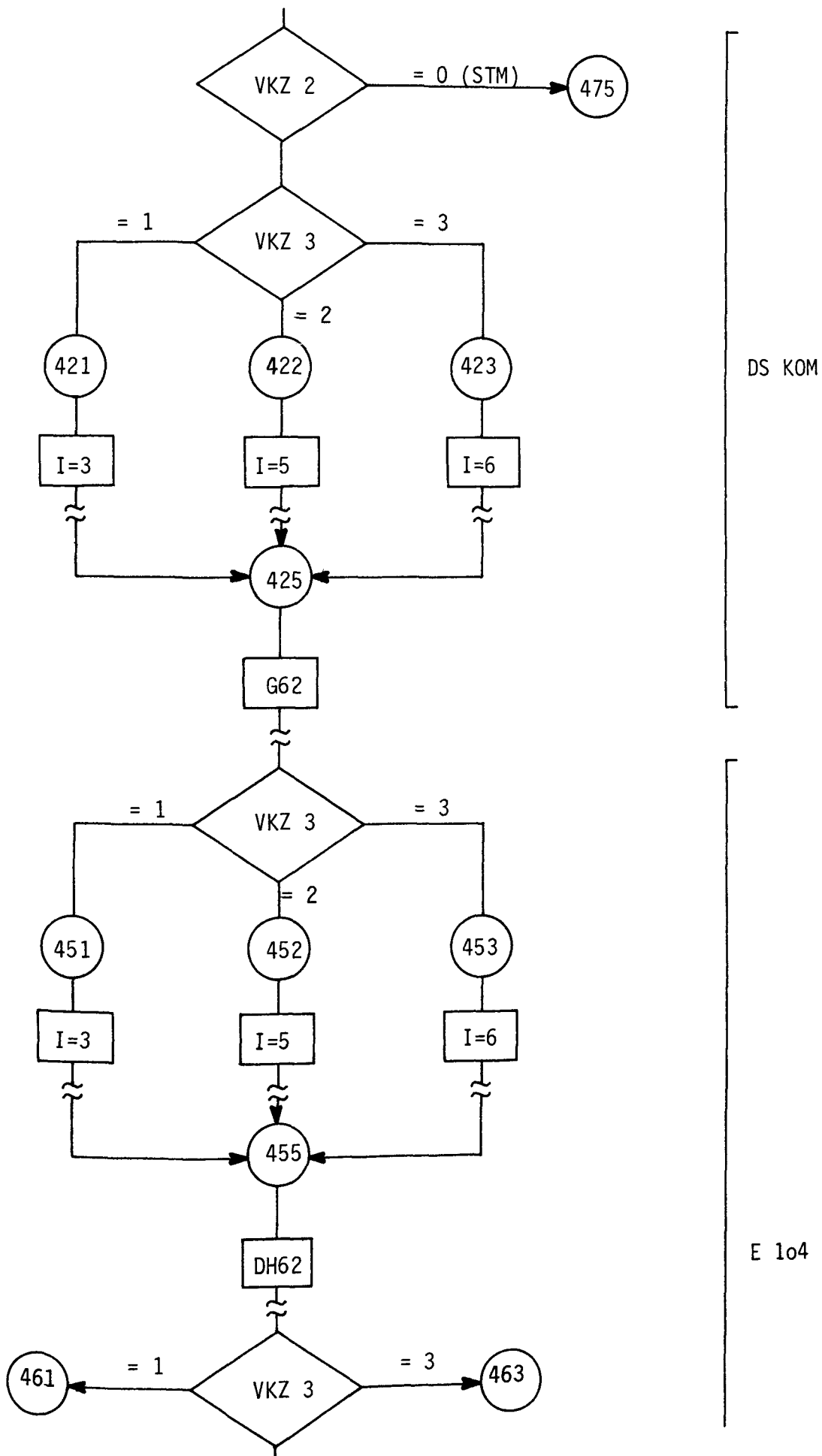


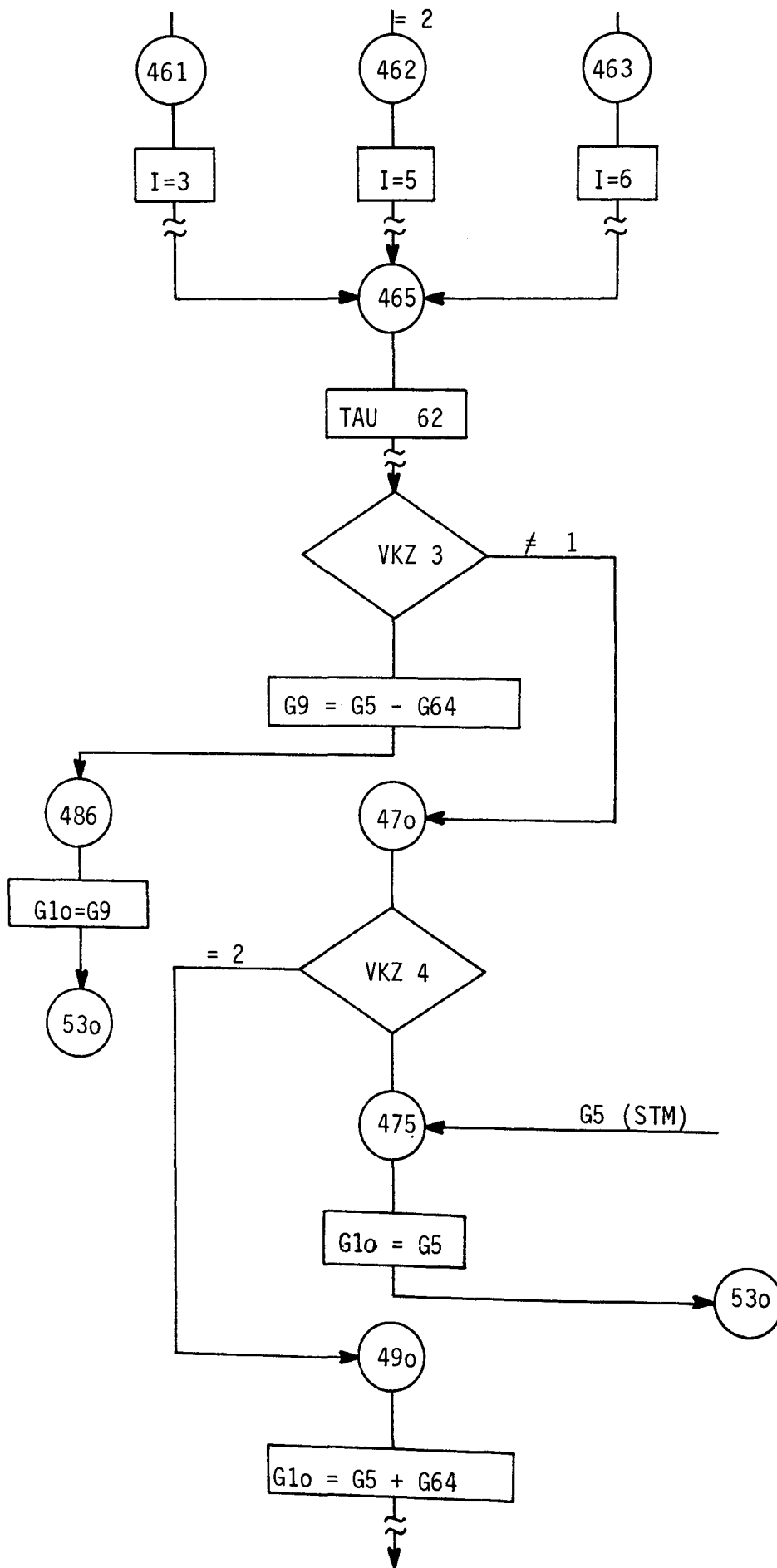
MIP 2a

R 1o1



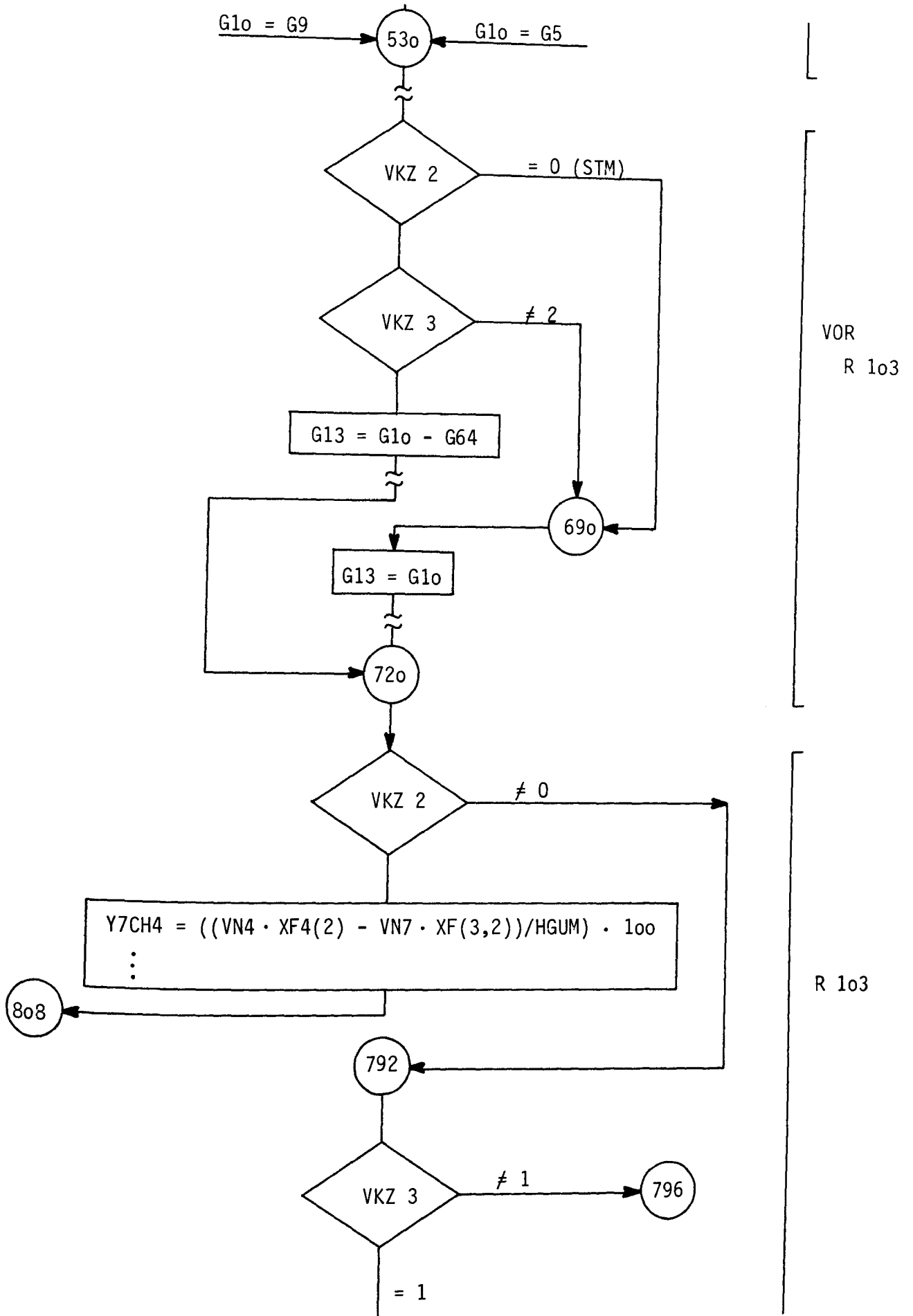
R 101

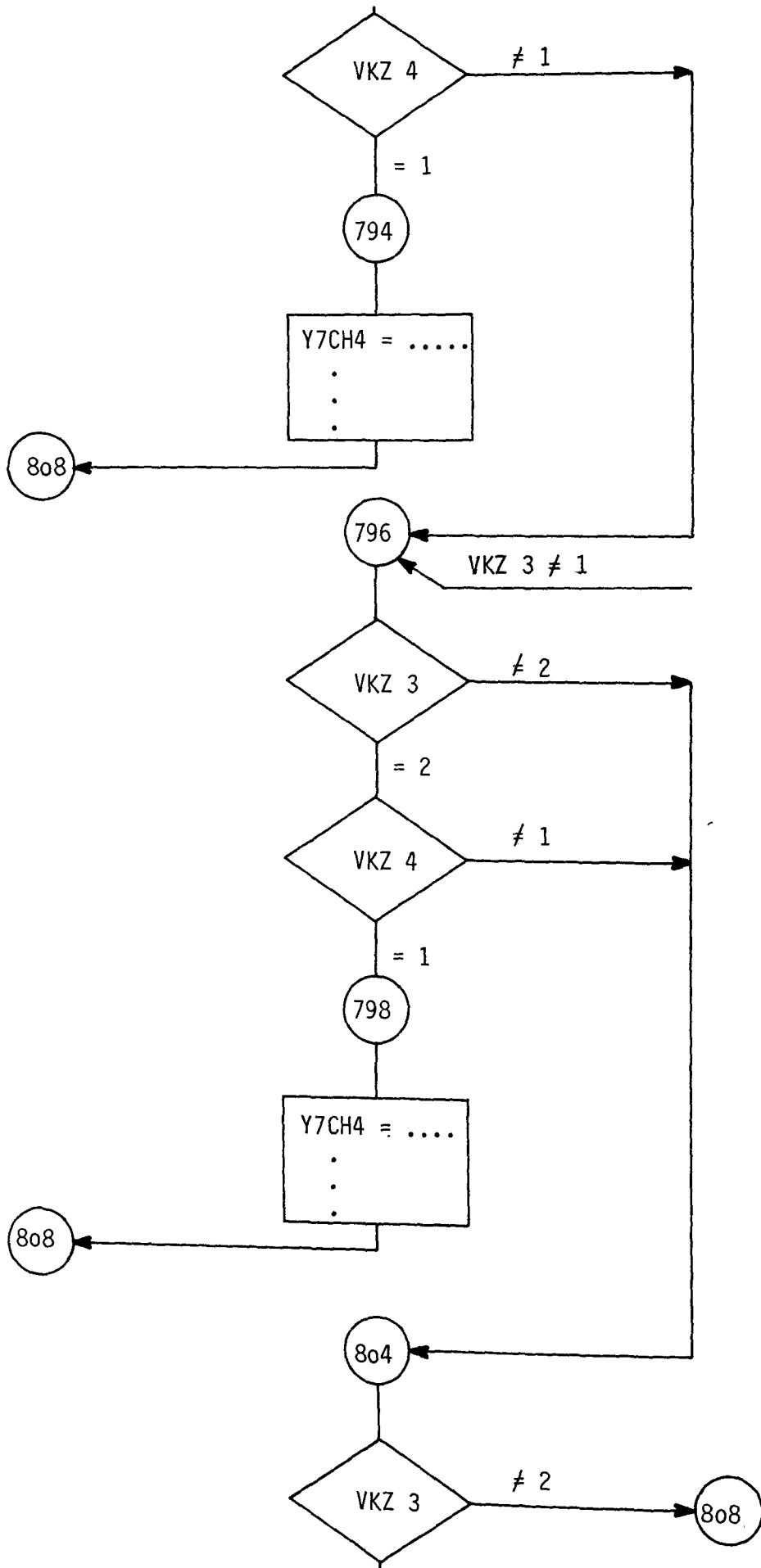




E 104

MIP  
2B

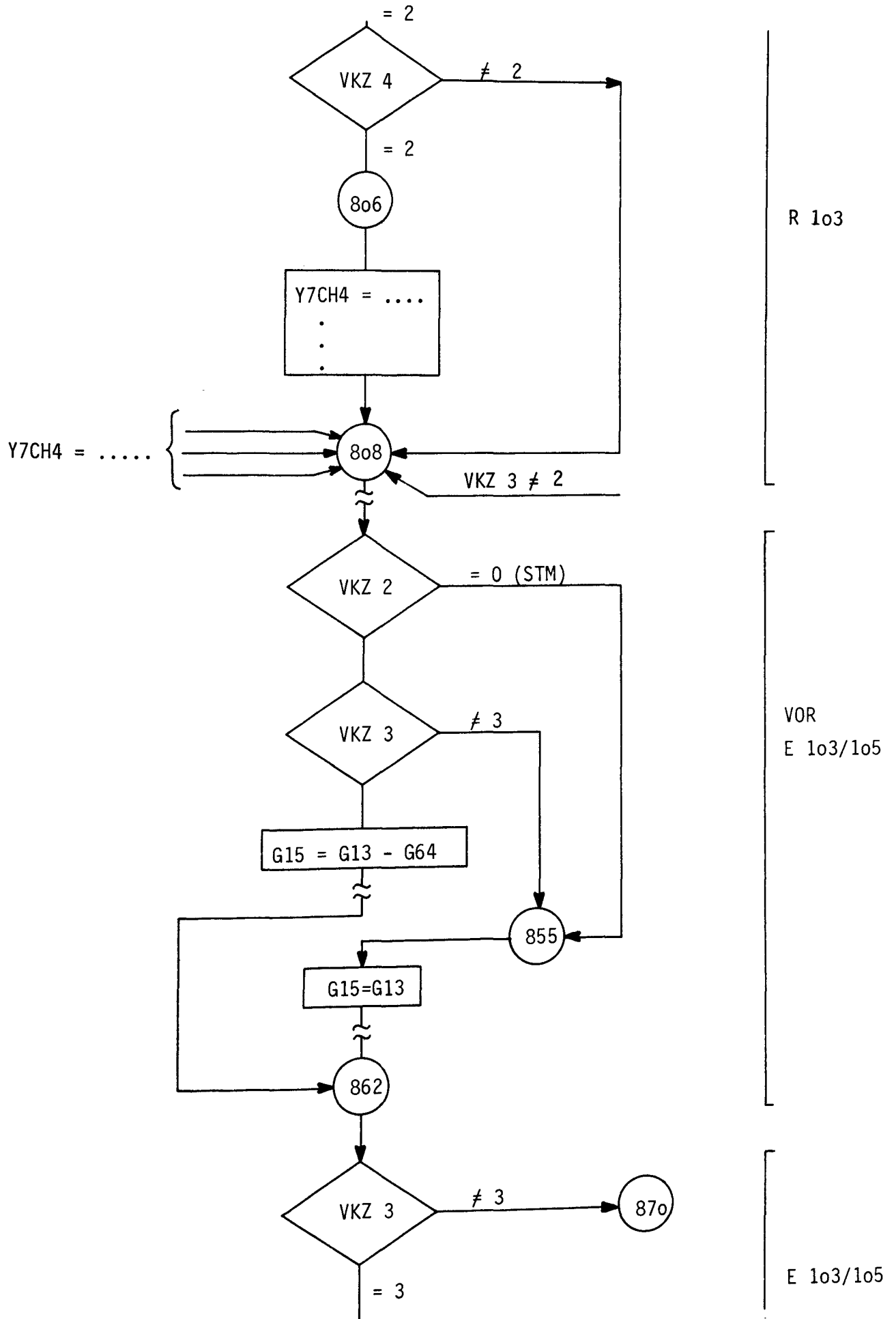


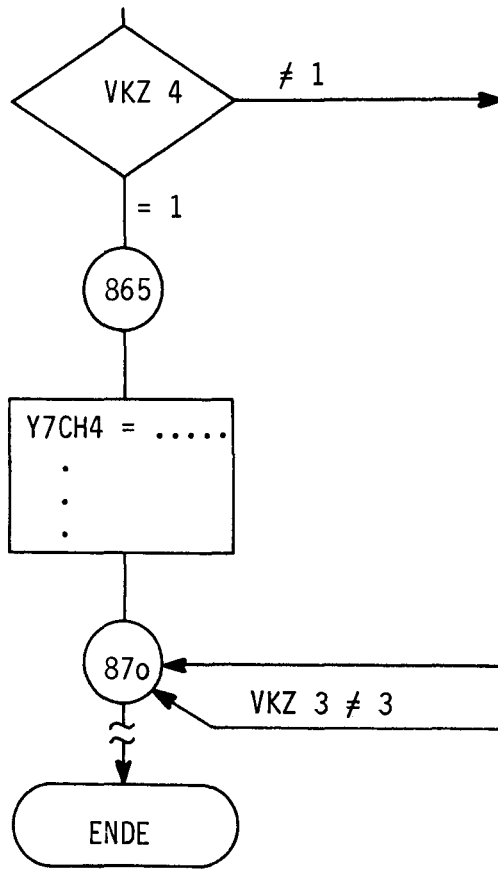


R 103



65

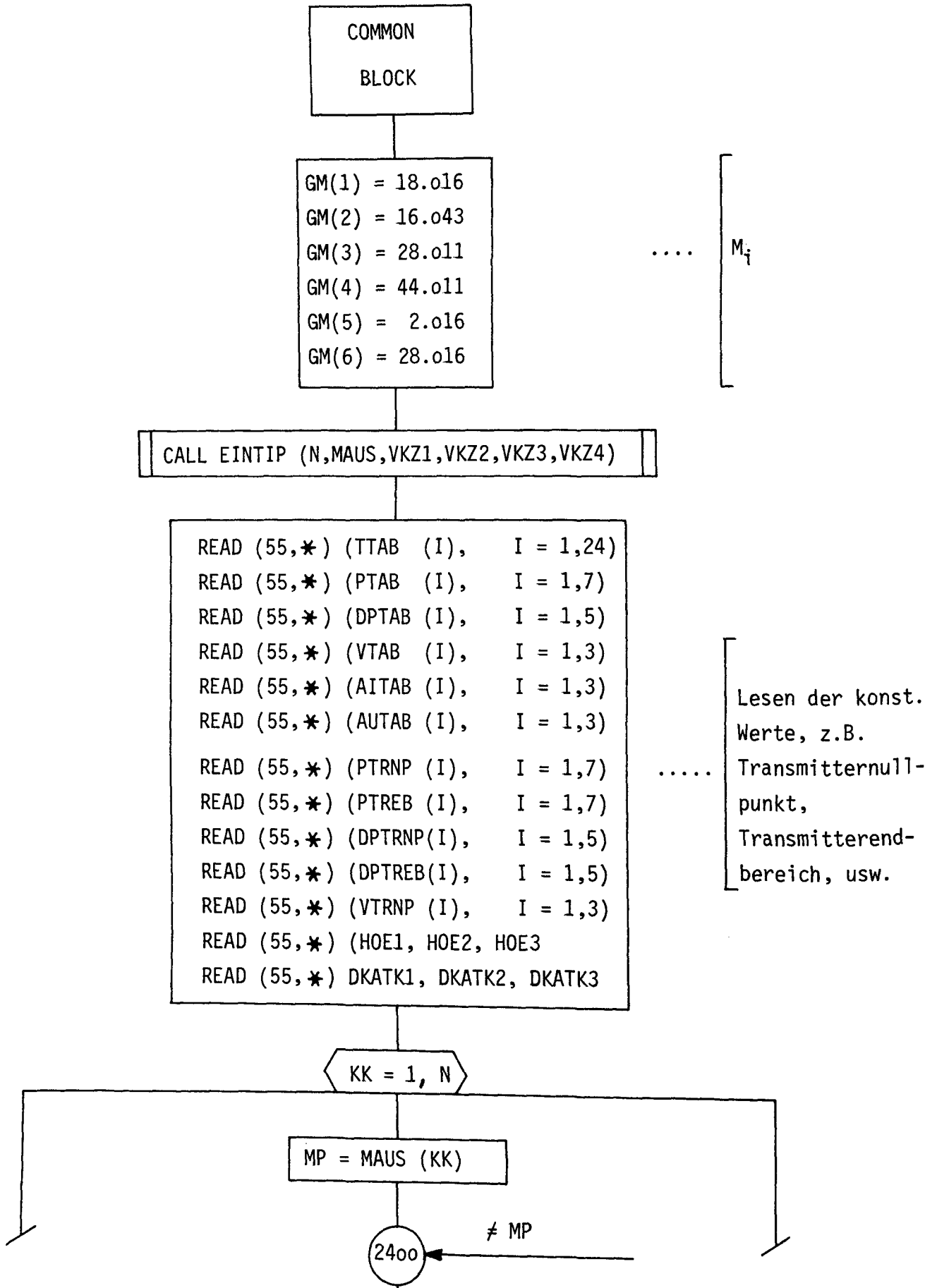


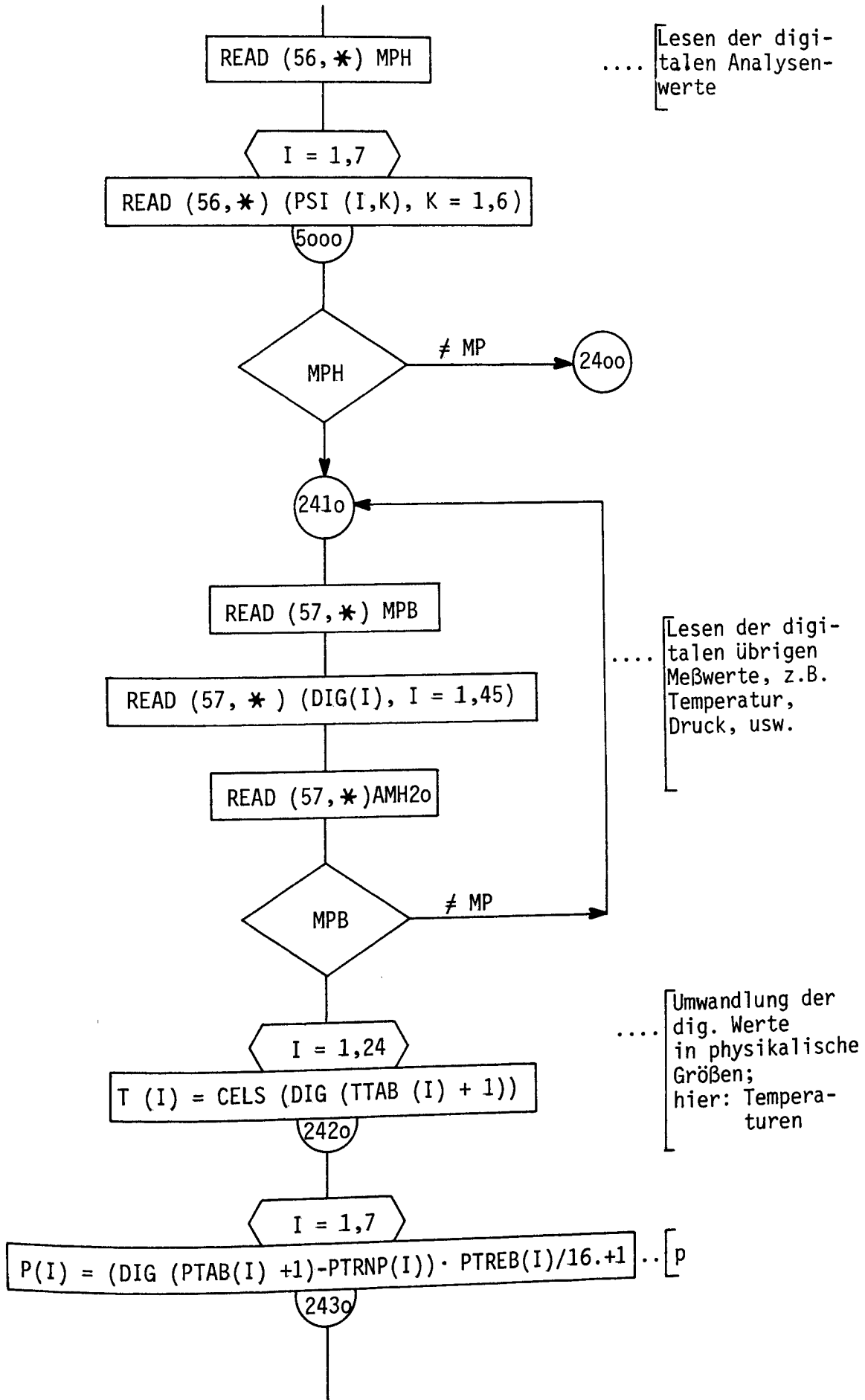


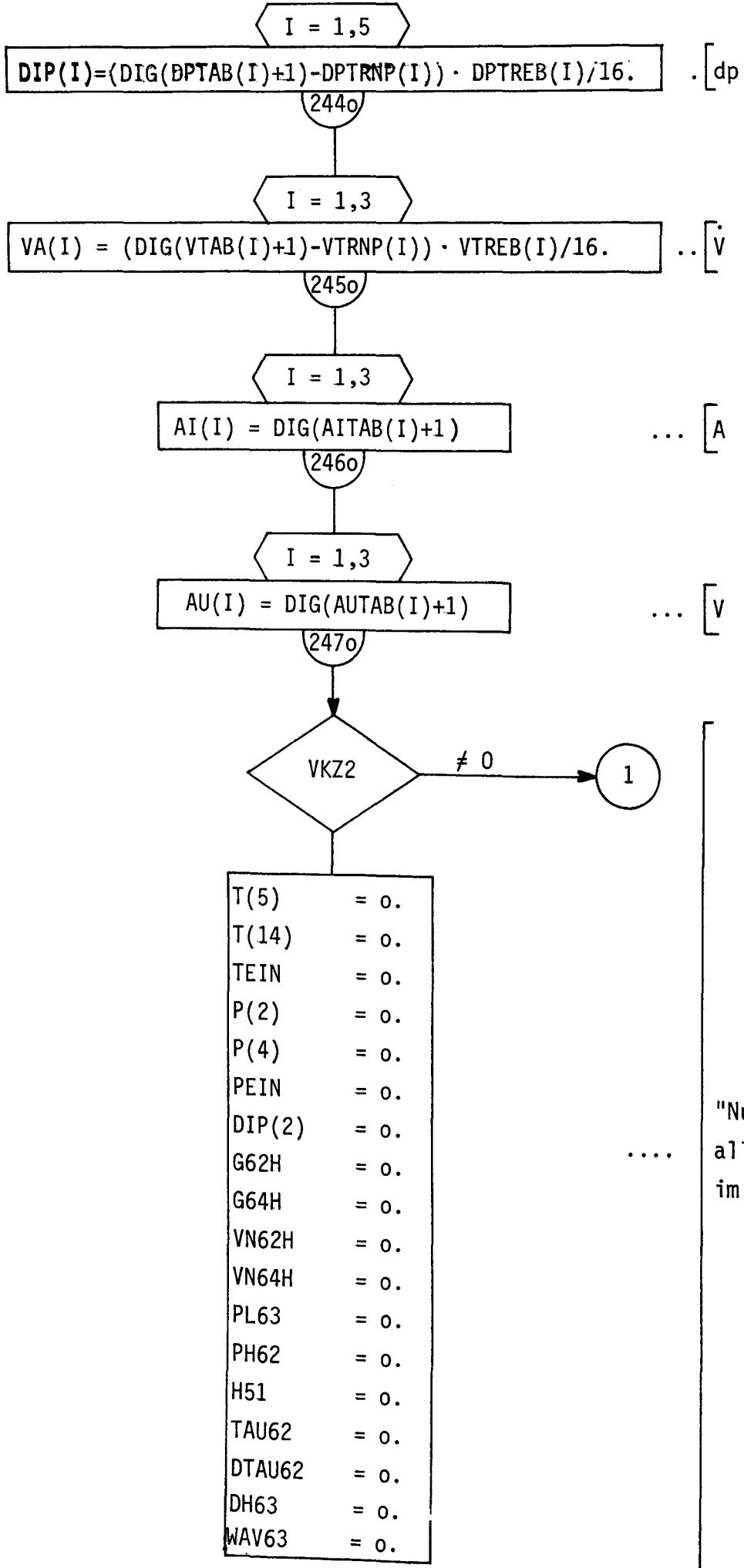
E 103/105

## 6. Programmablaufplan

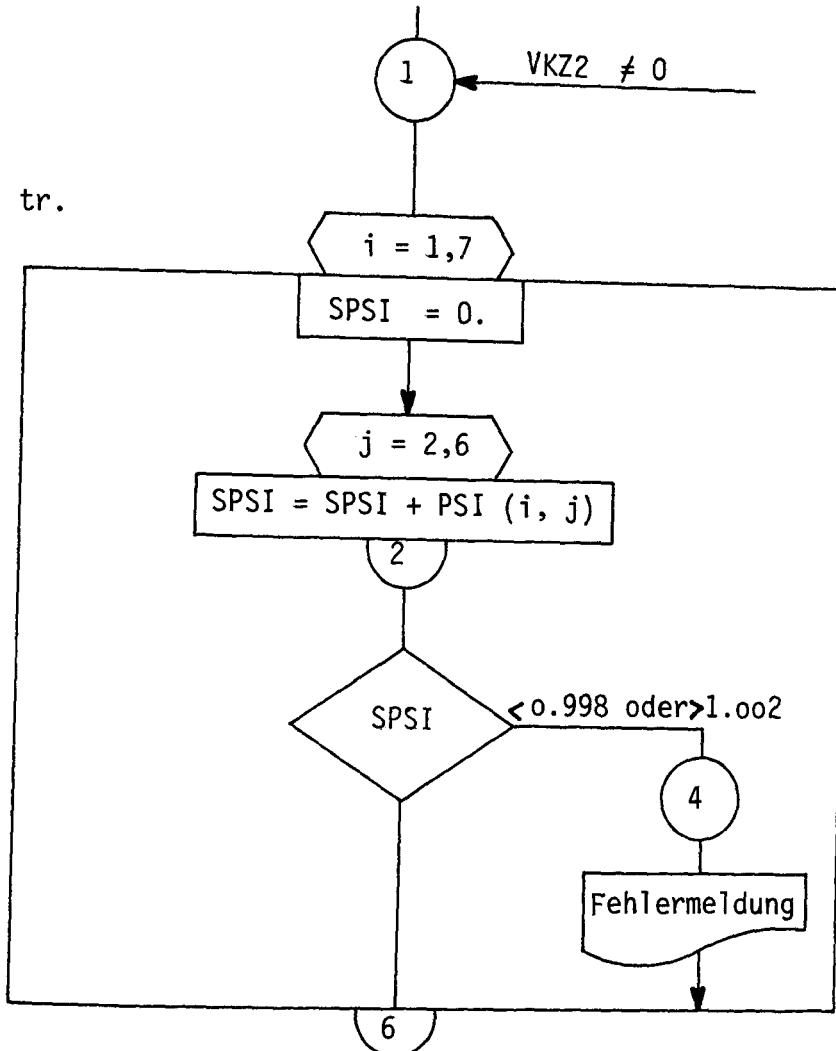
## Flußdiagramm vom Auswerteprogramm ADAM







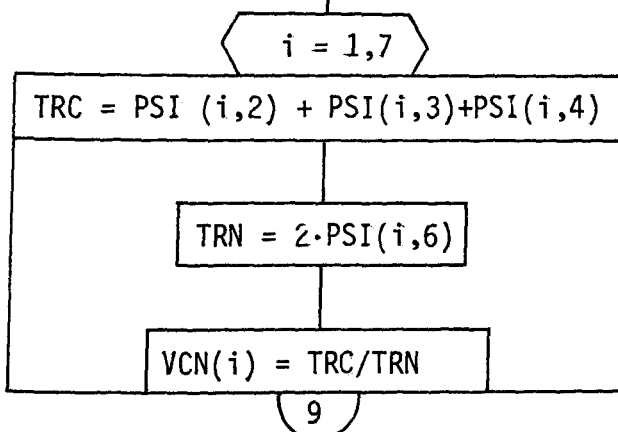
Analysen tr.



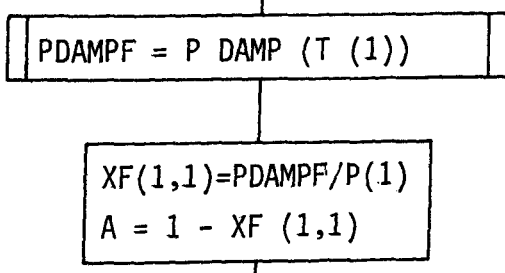
Überprüfung  
der  
7 GC's  
 $\sum \psi_j = 1$

Analysen tr.

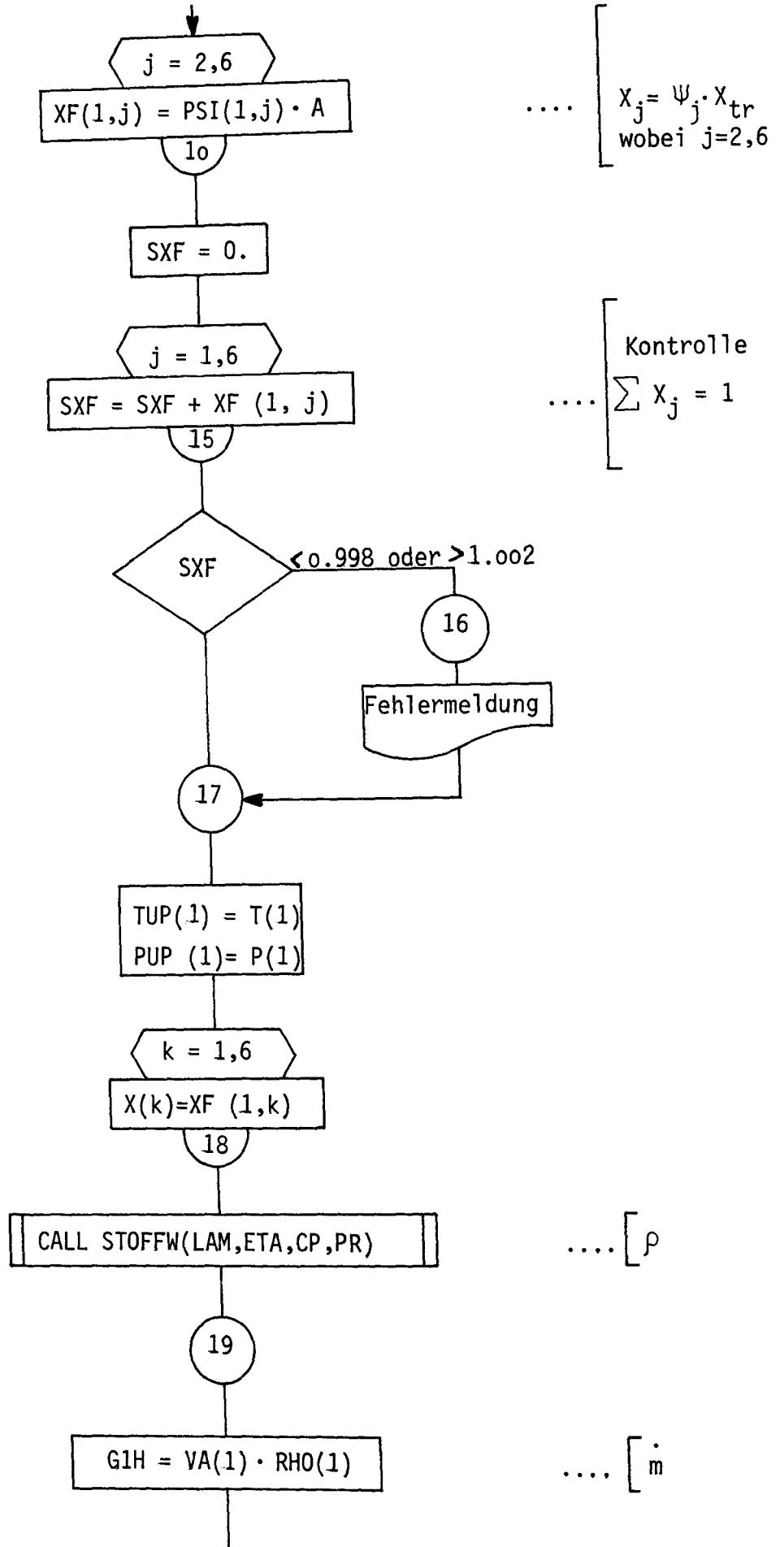
VIP EIN



Kontrolle,  
ob C : N  
konstant



$p_{H_2O}$  gesätt.  
 $x_{tr} = 1 - x_{H_2O}$





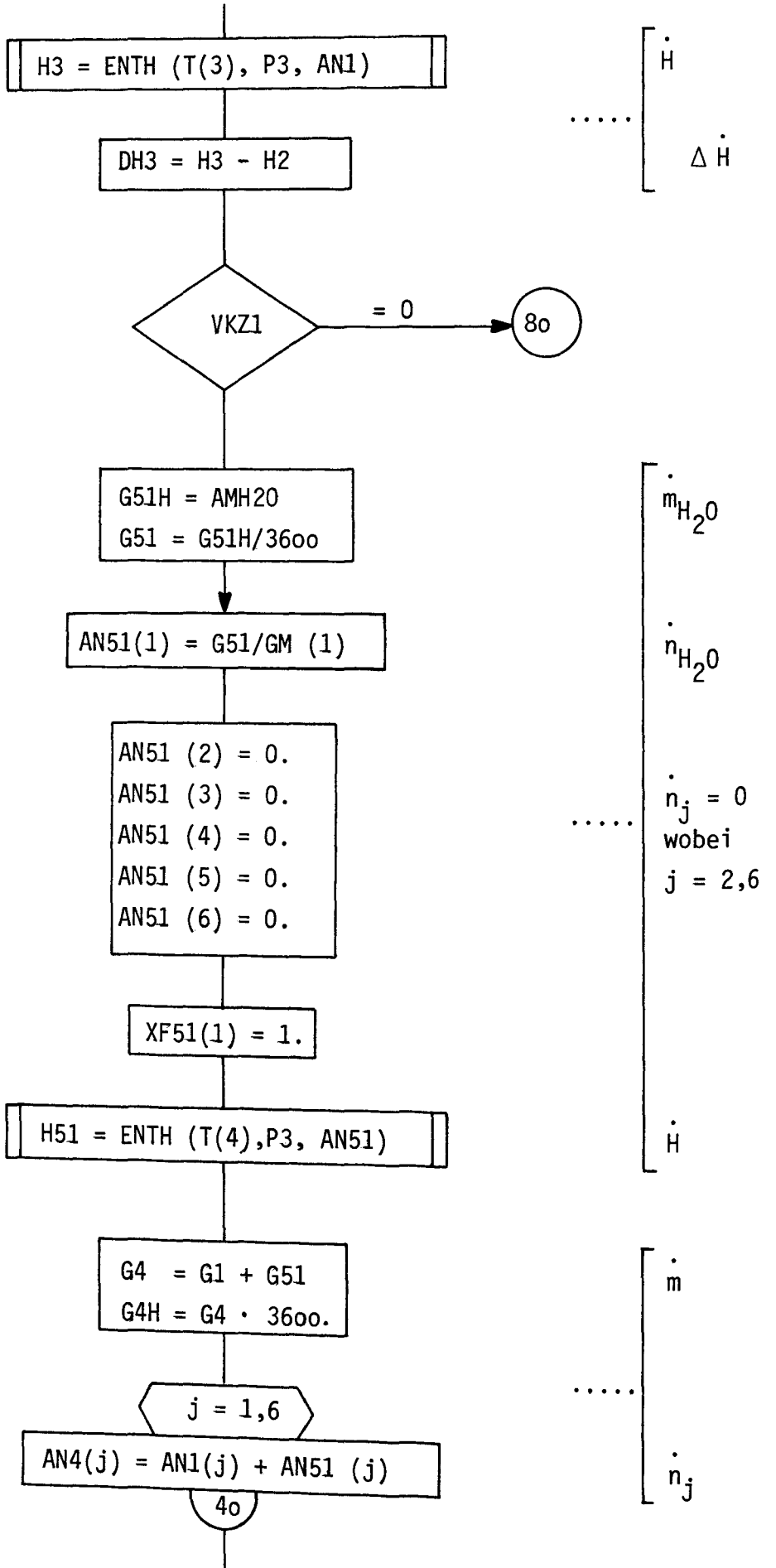


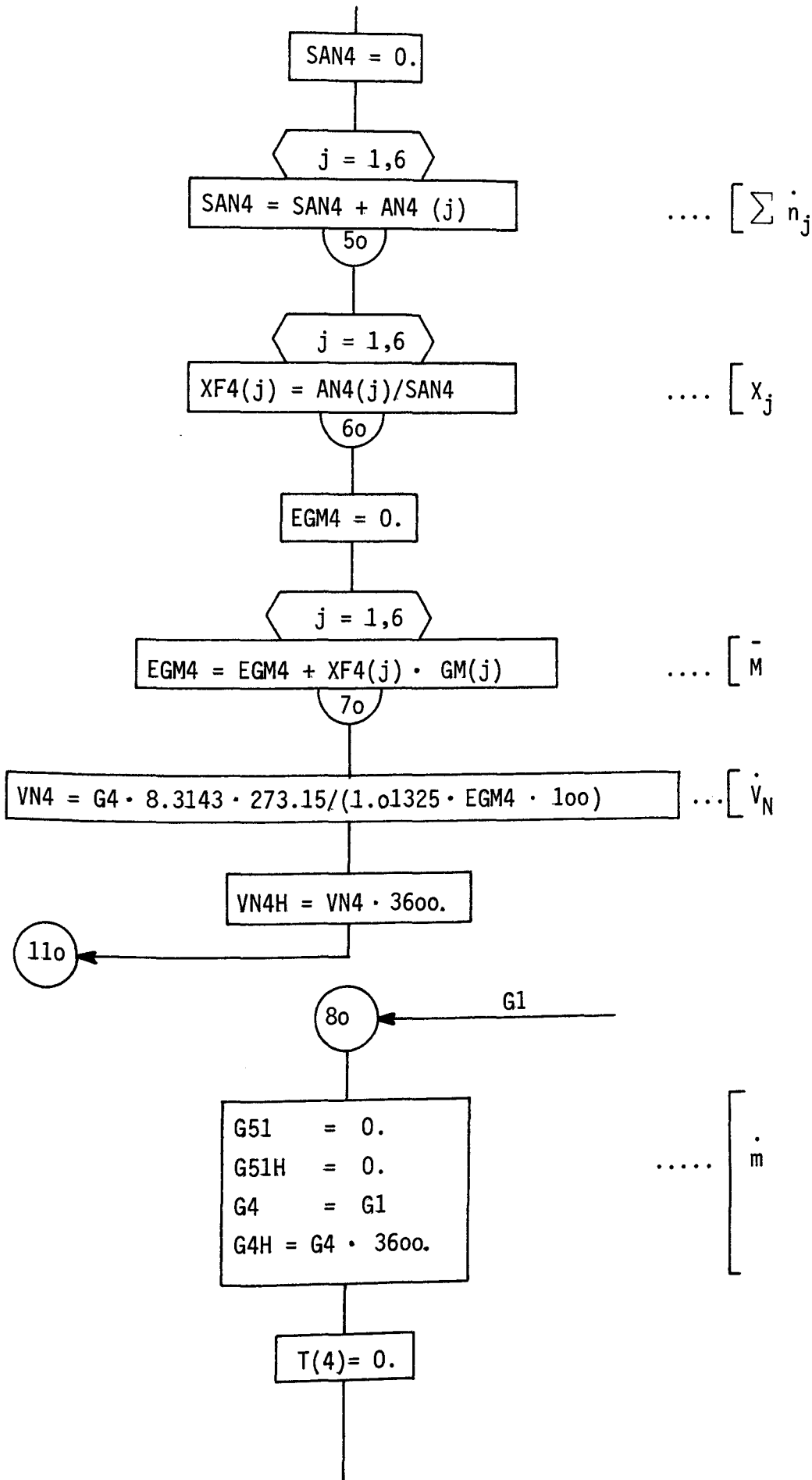
R1o4

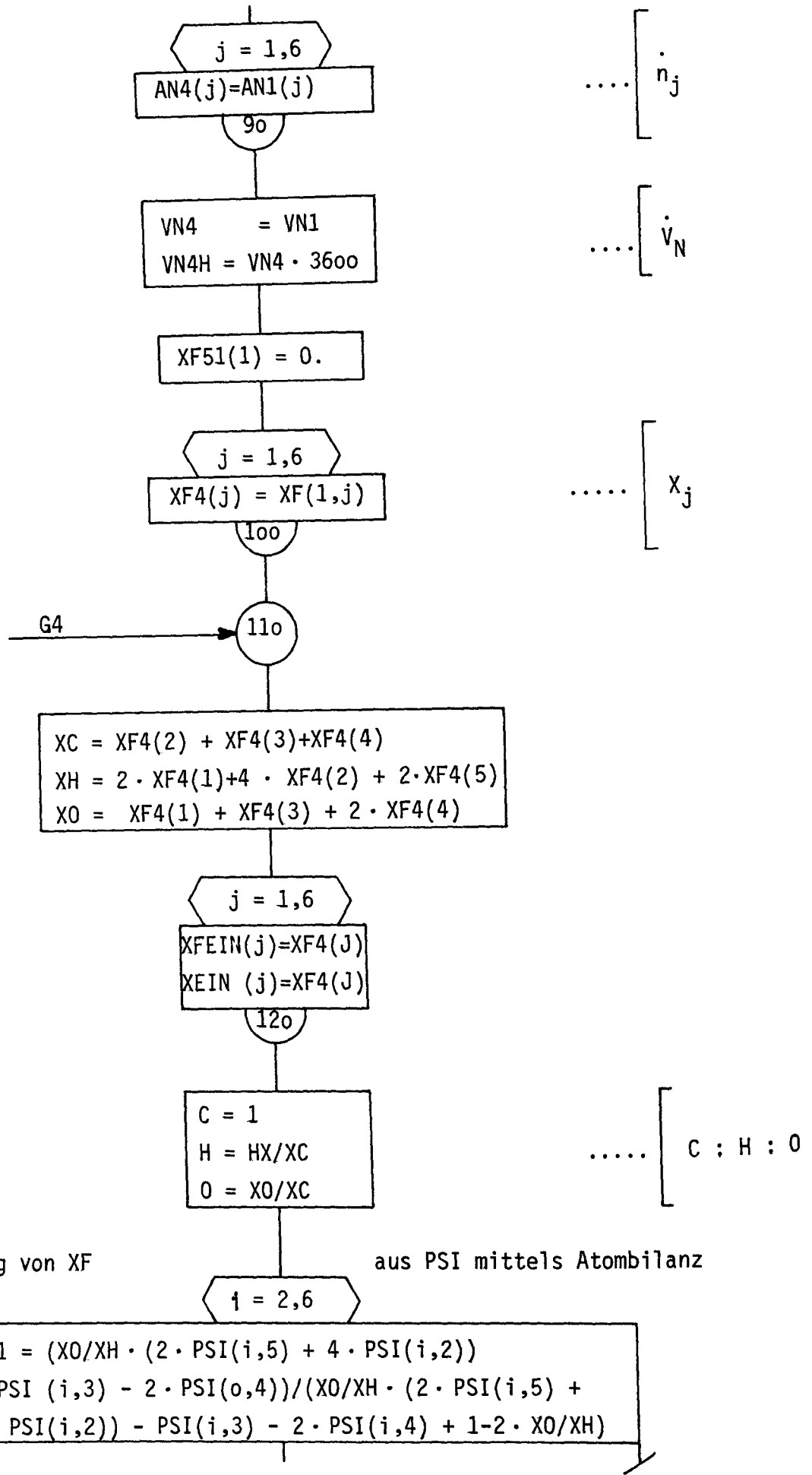
DS WA

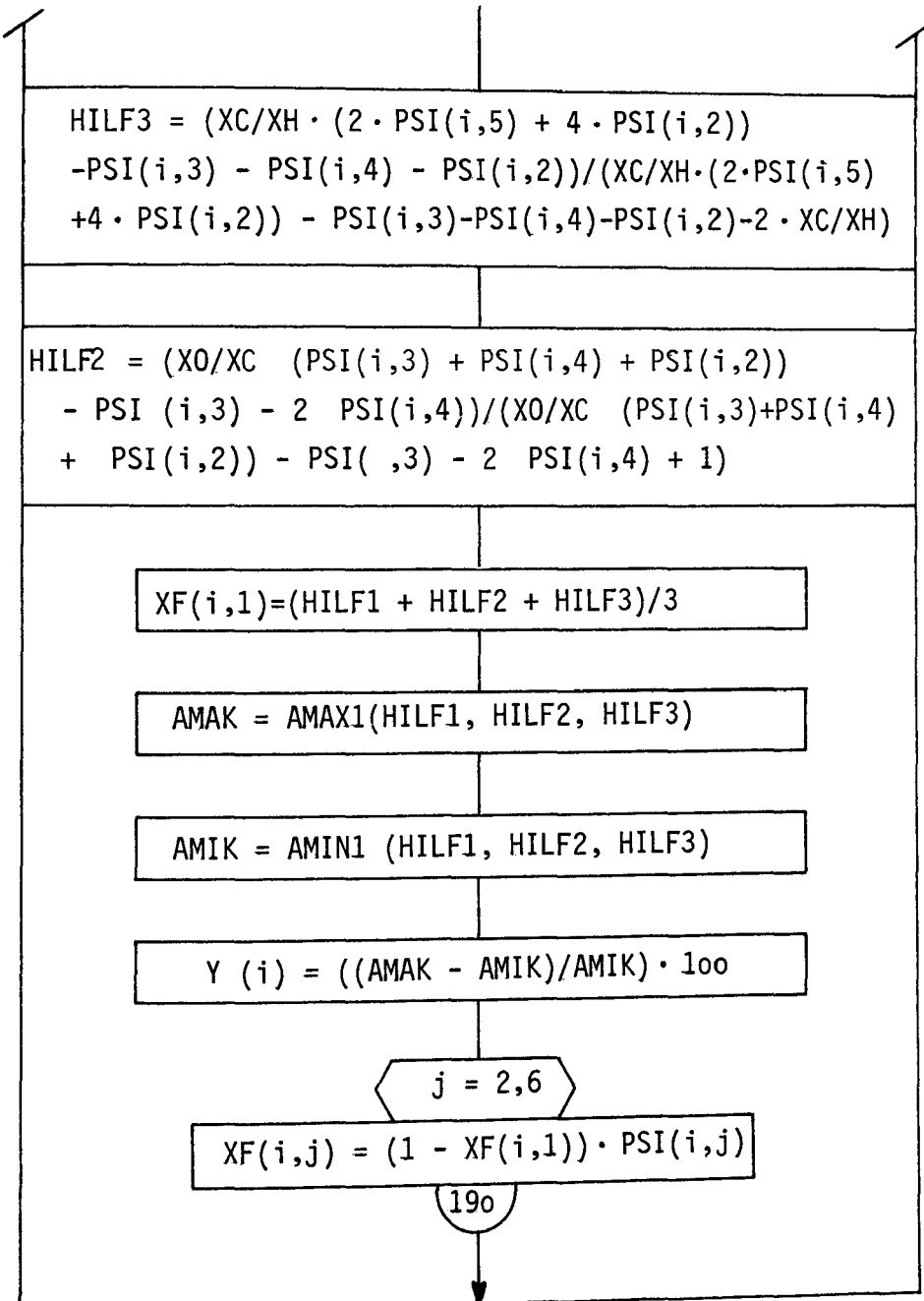
DS WA

MIP 1



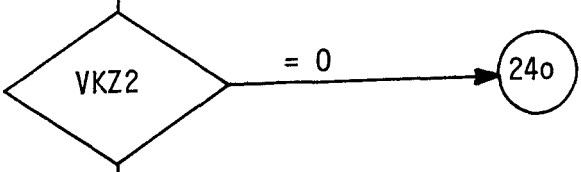




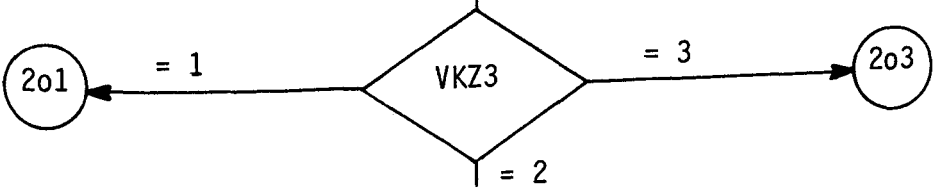


Mittelung für  $X_{H_2O}$   
 max.  $X_{H_2O}$   
 min.  $X_{H_2O}$   
 ...  
 $X_{H_2O}$  [%]  
 $X_j = (1 - X_{H_2O})$

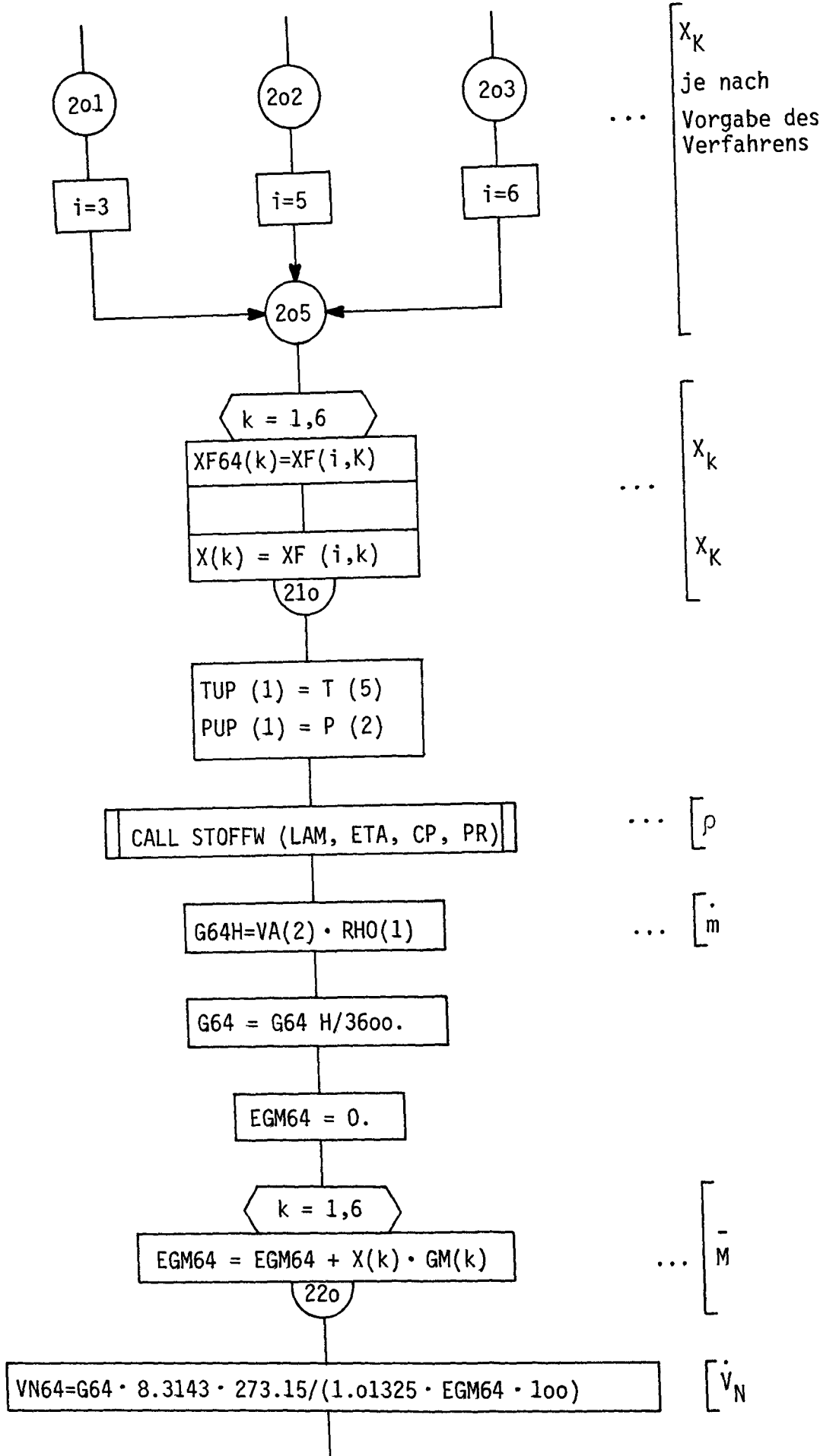
XF



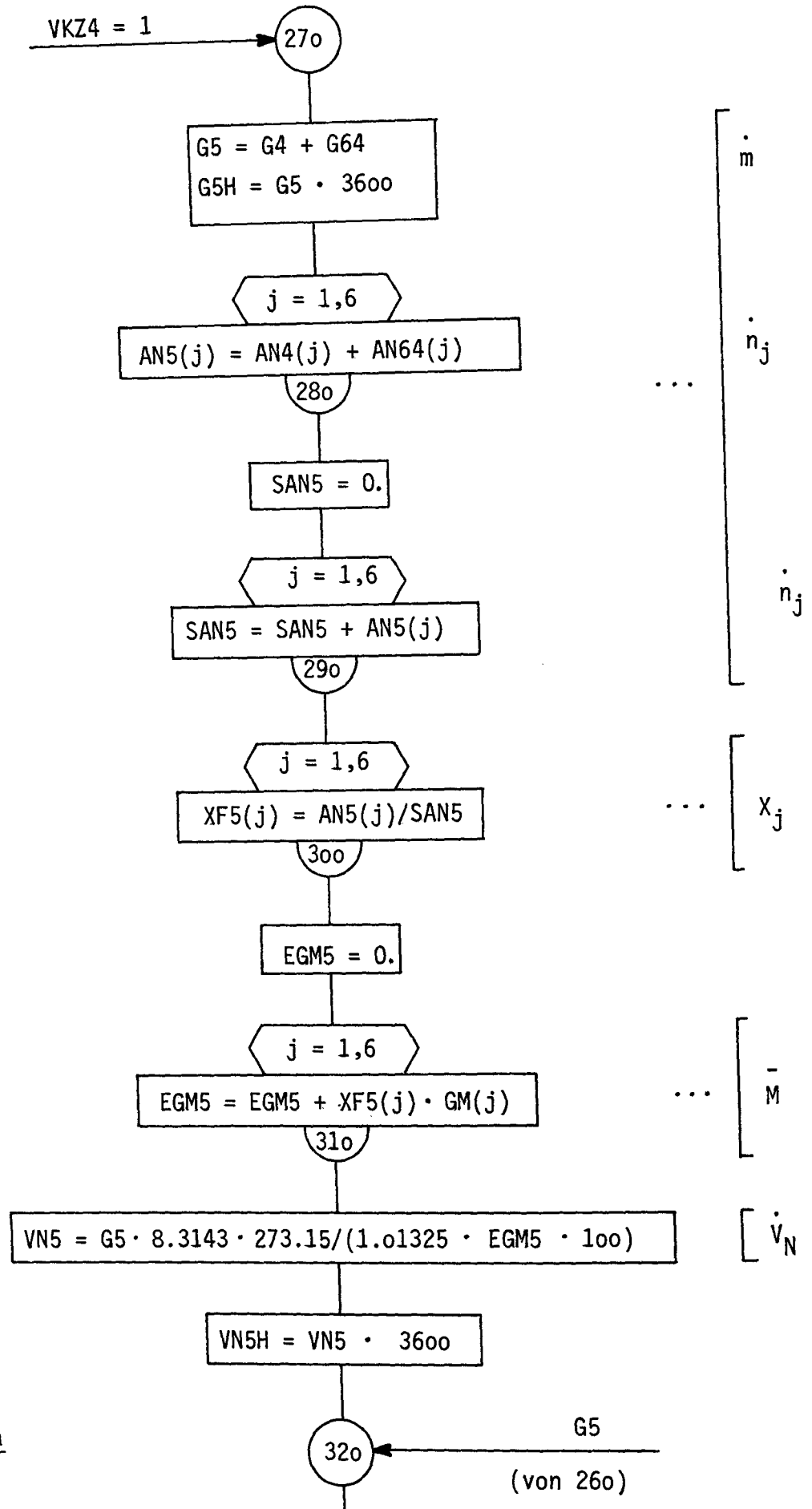
DS Rec



...  
 $X_K$   
 je nach Vorgabe des Verfahrens

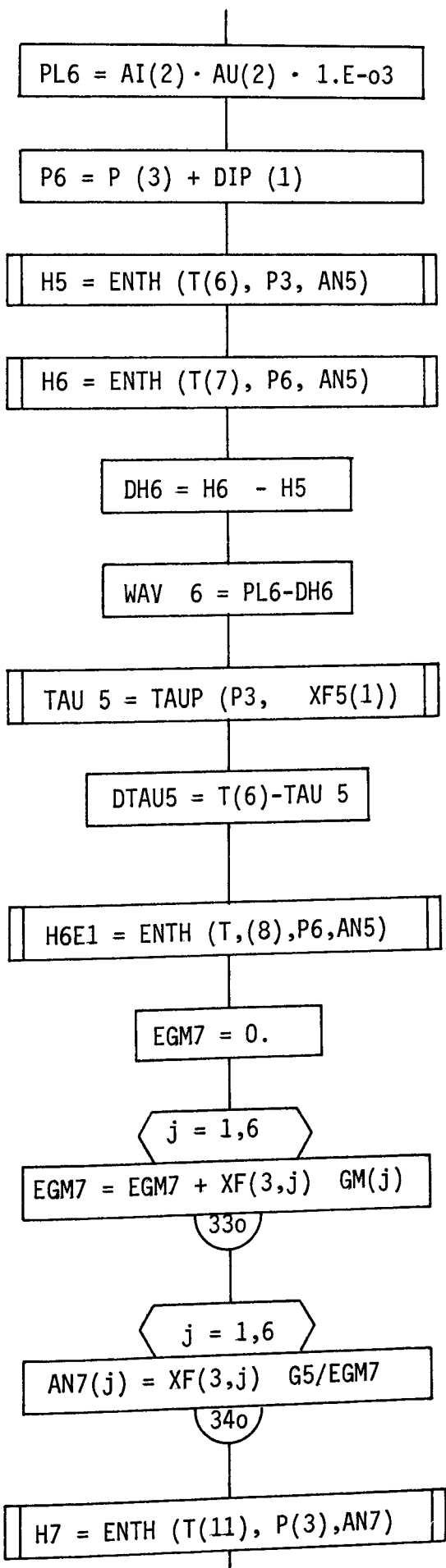








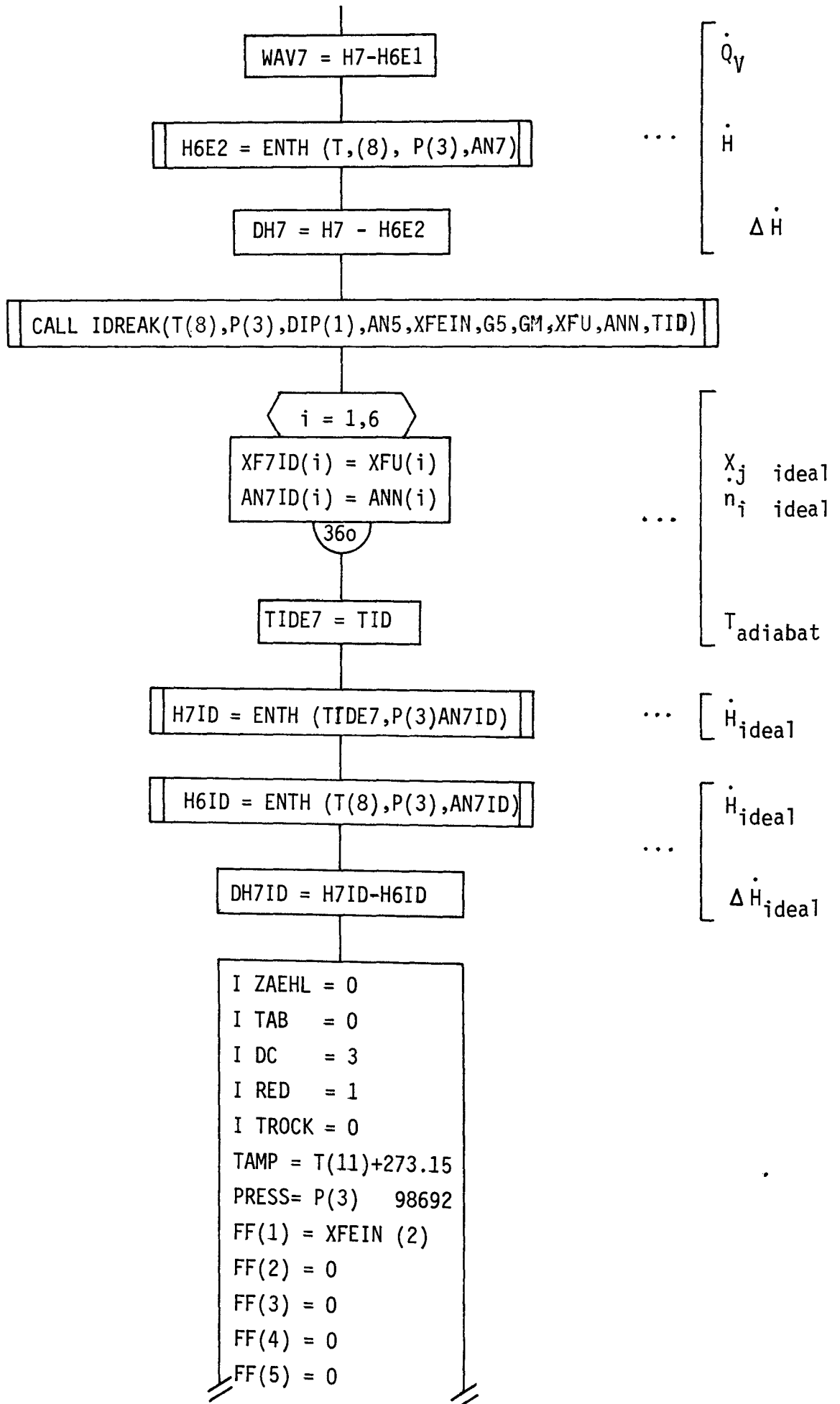
H 1o5

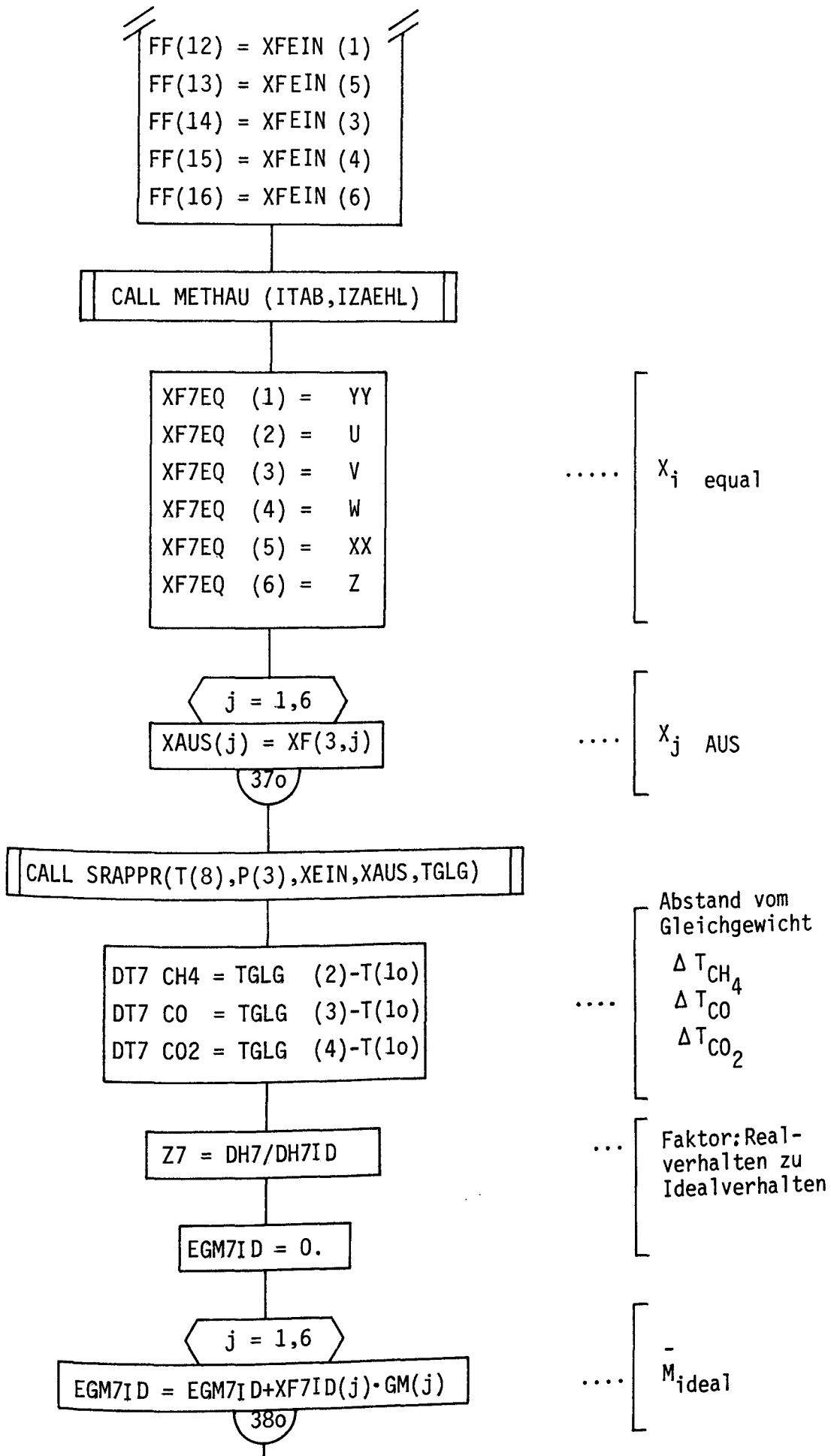


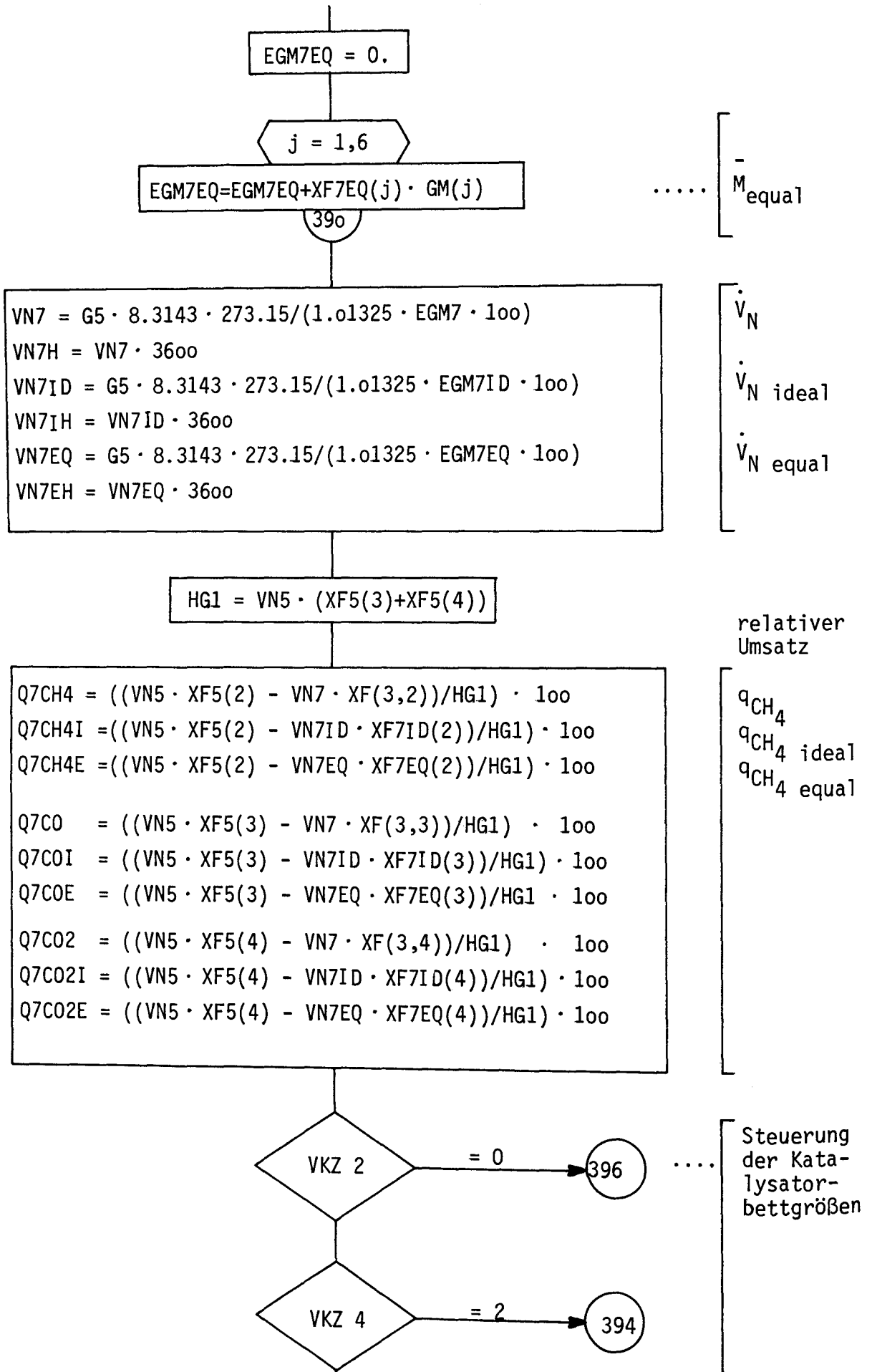
$P_{e1}$   
 $p$   
 $\dot{H}$   
 $\dot{H}$   
 $\Delta \dot{H}$   
 $\dot{Q}_V$   
 $T_{\text{Taupunkt}}$   
 .....  
 $\Delta T$   
 vom Taupunkt  
 $\dot{H}$   
 $\dot{H}$   
 $\dot{n}_j$   
 $\dot{H}$

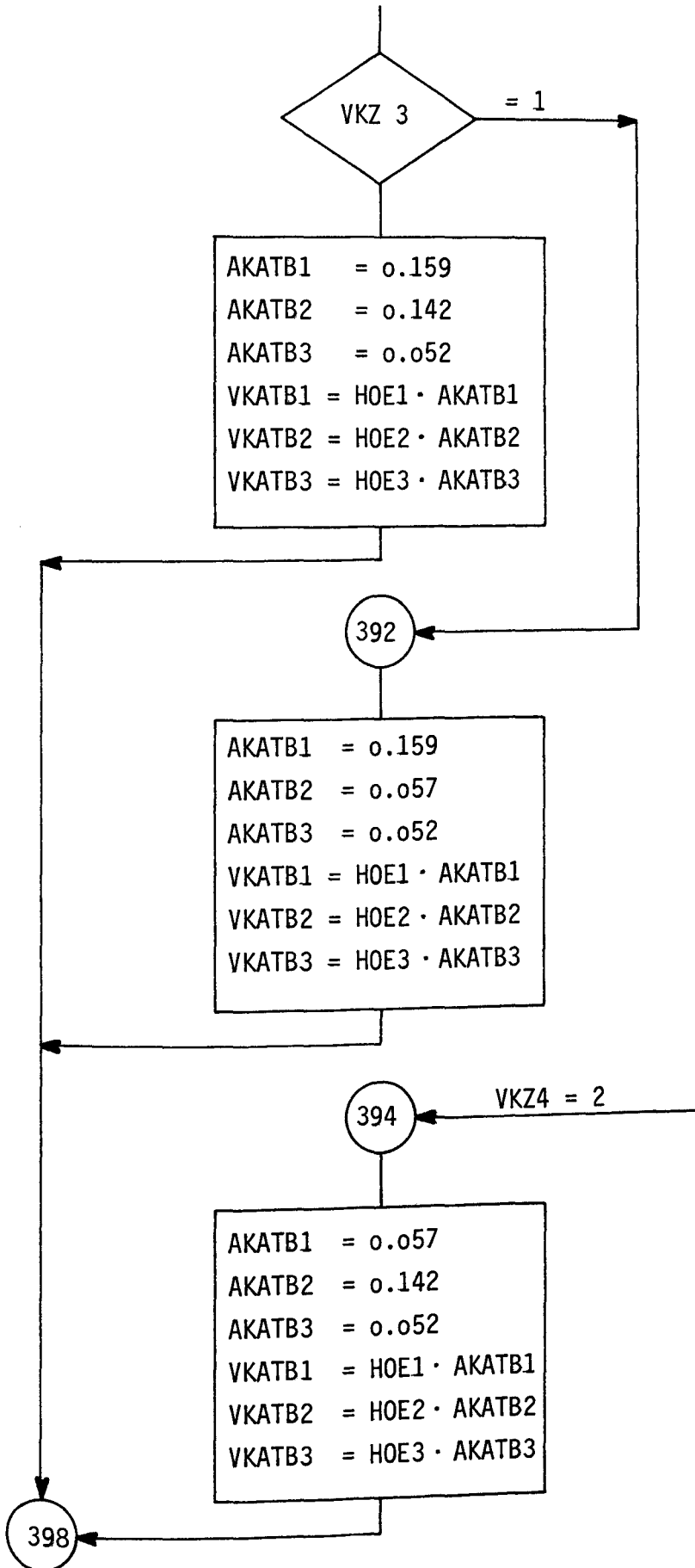
H 1o5

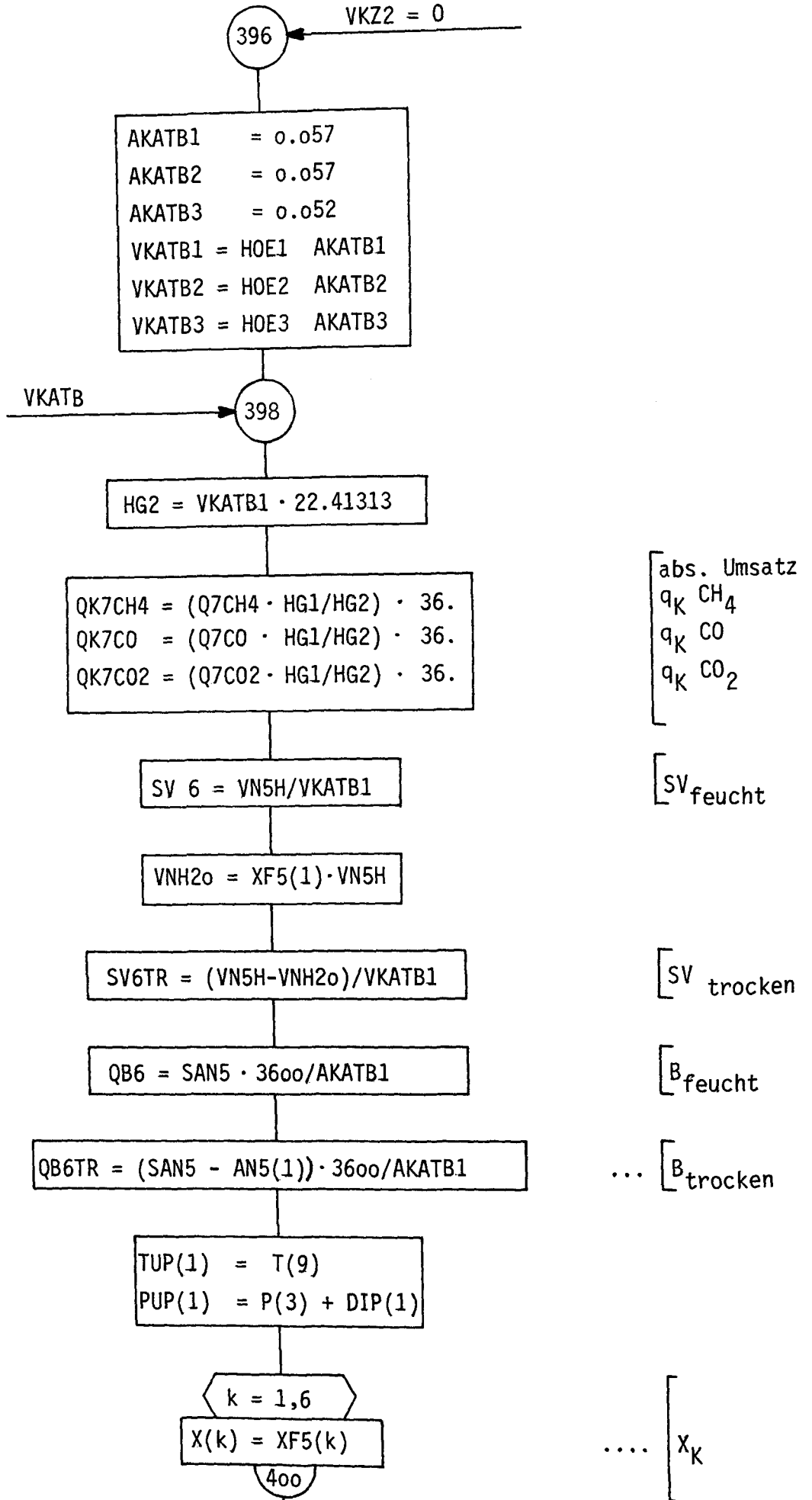
R 1o1











CALL STOFFW (LAM,ETA,CP,PR)

ETA6 = ETA  
RHO6 = RHO(1)  
PR6 = PR

R1o1  
Eintritt  
?, S  
Pr

TUP(1) = T(1o)  
PUP(1) = P(3)

k = 1,6

X(k) = XF(3,k)

41o

CALL STOFFW(LAM,ETA,CP,PR)

ETA7 = ETA  
RHO7 = RHO(1)  
PR7 = PR

R1o1  
Austritt  
?, S  
Pr

W6 = (VN5 · (T(9)+273.15) · 1.o1325)/((P(3)+DP(3)) · 273.15 · AKATB)  
W7 = (VN7 · (T(1o)+273.15) · 1.o1325)/(P(3) · 273.15 · AKATB)  
RE6= RHO6 · W6 · DKATK/ETA6  
RE7= RHO7 · W7 · DKATK/ETA7

W<sub>ein</sub>  
W<sub>aus</sub>  
Re<sub>ein</sub>  
Re<sub>aus</sub>

REAL \* 8 Y1(23), Y2(23), Y3(23), Y4(23), XZ(23), XINP, KP1, KP2, KP3, KP4  
DATA XZ/3oo., 35o, 4oo., 45o., 5oo., 55o., 6oo., 65o., 7oo., 75o., 8oo., 85o.,  
9oo., 95o., 1oo., 1o5o.,  
11oo., 115o., 12oo., 125o., 13oo., 135o., 14oo./  
DATA Y1/24.67o364, 19.59343o, 15.636729, 12.52o128, 1o.o26284,-  
7.9913454, 6.2943o77, 4.8489132, 3.5943489, 2.4913254,-  
1.513168, o.64266735,-.1326263oo,-o.82234341,-1.437294o,-  
-1.9876127,-2.4858837,-2.9451o94,-3.3763351,-3.78533o8,-  
-4.1719532,-4.521369o,-4.7997618/

DATA Y2/-2o.8o5542,-16.577o72,-13.3o5765,-1o.749969,-8.7228432,-  
 -7.o832853,-5.7275553,-4.581784,-3.5941o48,-2.73o5775,-1.969738o,-  
 -1.2966747,-o.7o111346,-o.17476118,o.29o81219,o.7o45o354,-  
 1.o776672, 1.4196768, 1.74o8829, 2.o46298o, 2.334547o,-  
 2.5933142, 2.7926636/

DATA Y3/8.81528oo, 6.956995o, 5.5oo3796, 4.3448849, 3.41287o4,-  
 2.6457272, 2.o0o42o6, 1.446352o, o.962o685o, o.5335167,-  
 o.15157872, -o.1897o293, - o.4949978o, -o.76776189, -o.1o117884,-  
 -1.231o896, -1.43o5897, -1.61476o4,-1.7875767,-1.952o111,-  
 -2.1o7o652, -2.2479248, -2.3617258/

$$PP = P(3) \cdot .986923$$

$$KP1 = \text{ALOG } 1o \left( \frac{PP \cdot XF(3,1) \cdot PP \cdot XF(3,2)}{PP \cdot XF(3,3) \cdot (XF(3,5) \cdot PP) ** 3} \right)$$

$$KP2 = \text{ALOG } 1o \left( \frac{(PP \cdot XF(3,3)) ** 2}{PP \cdot XF(3,4)} \right)$$

$$KP3 = \text{ALOG } 1o \left( \frac{PP \cdot XF(3,2)}{(PP \cdot XF(3,5)) ** 2} \right)$$

$$TKMCO = \text{FTINT}(XZ, Y1, KP1, 0)$$

$$TMC07 = TKMCO - 273.15$$

$$TKBCO = \text{FTINT}(XZ, Y2, KP2, 1)$$

$$TBC07 = TKBCO - 273.15$$

$$TKMZ = \text{FTINT}(XZ, Y3, KP3, 0)$$

$$TMZ7 = TKMZ - 273.15$$

$$DT7(1) = T(1o) - TBC07$$

$$DT7(2) = T(11) - TBC07$$

$$DT7(3) = T(12) - TBC07$$

.....  $\left[ \begin{array}{l} T \\ \text{Rußgrenze} \\ \text{Boudouard} \end{array} \right.$

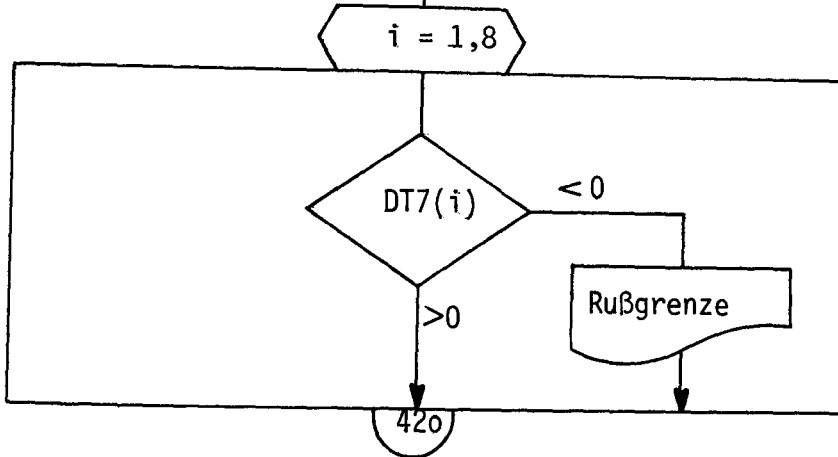
.....  $\left[ \begin{array}{l} T \\ \text{Rußgrenze} \\ \text{Methanzerfall} \end{array} \right.$

$\left[ \begin{array}{l} \Delta T \\ \text{Abstand} \\ \text{von} \end{array} \right.$



$$\begin{aligned} DT7(4) &= T(13) - TBC07 \\ DT7(5) &= T(10) - TMZ7 \\ DT7(6) &= T(11) - TMZ7 \\ DT7(7) &= T(12) - TMZ7 \\ DT7(8) &= T(13) - TMZ7 \end{aligned}$$

.....  
der  
Rußgrenze



Warnung an  
den  
Fahrer-  
ge-  
nieur

R1o1  
E1o1

$$P8 = P(5) + DIP(3)$$

$$H8 = ENTH(T(13), P8, AN7)$$

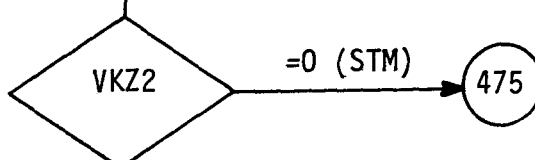
$$DH8 = H8 - H7$$

$$TAU8 = TAUP(P8, XF(3,1))$$

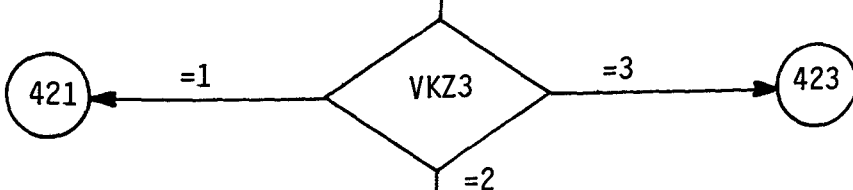
$$DTAU8 = T(13) - TAU8$$

.....  
 $\dot{H}$   
 $\Delta \dot{H}$   
 $T_{\text{Taupunkt}}$   
 $\Delta T_{\text{Taupunkt}}$

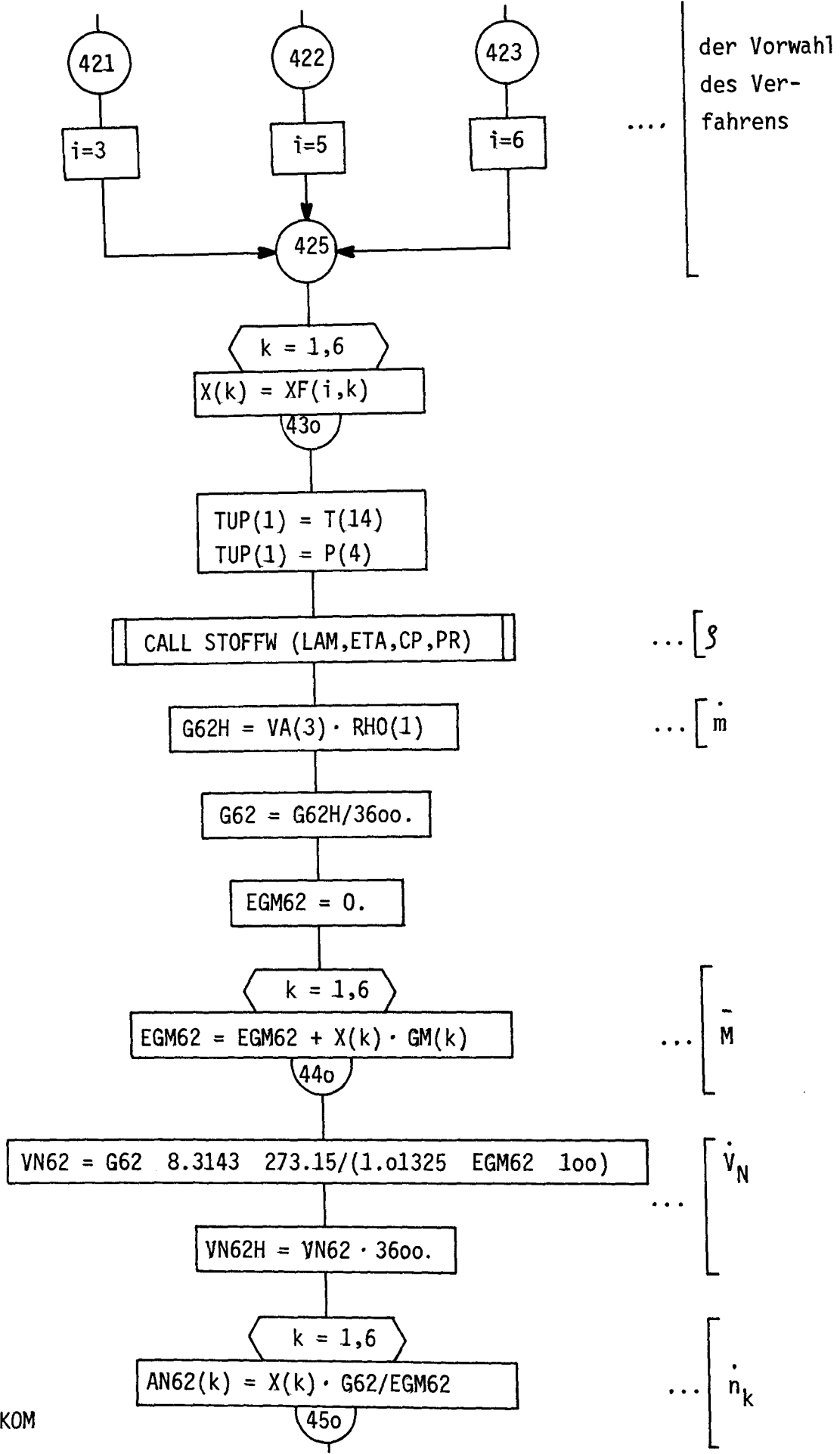
E1o1



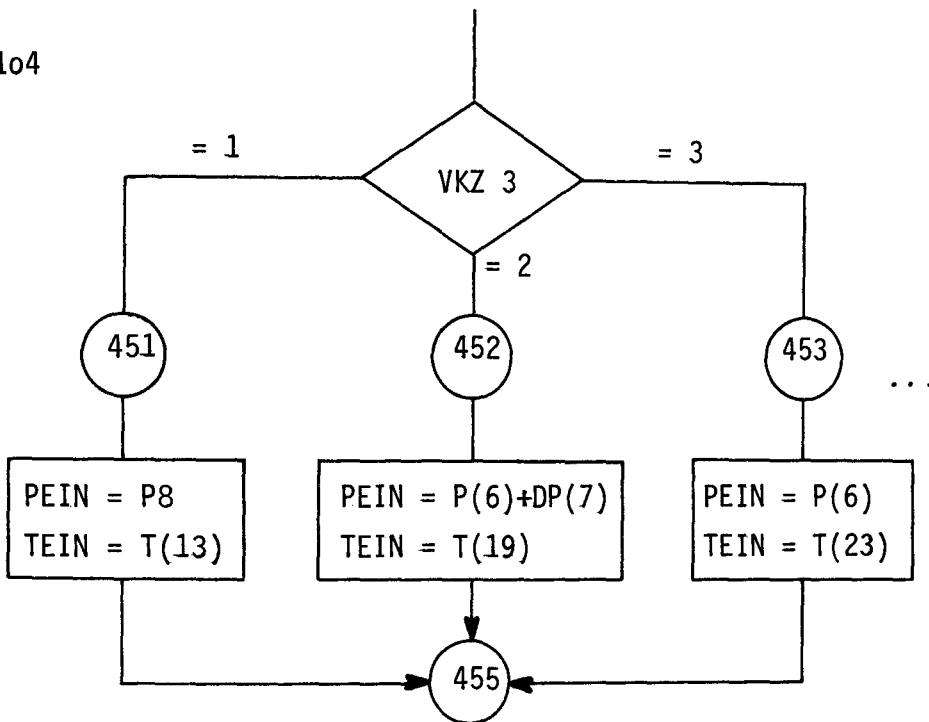
DS KOM



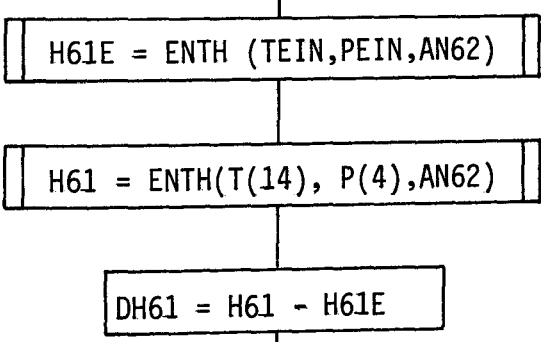
$X_i$   
gemäß



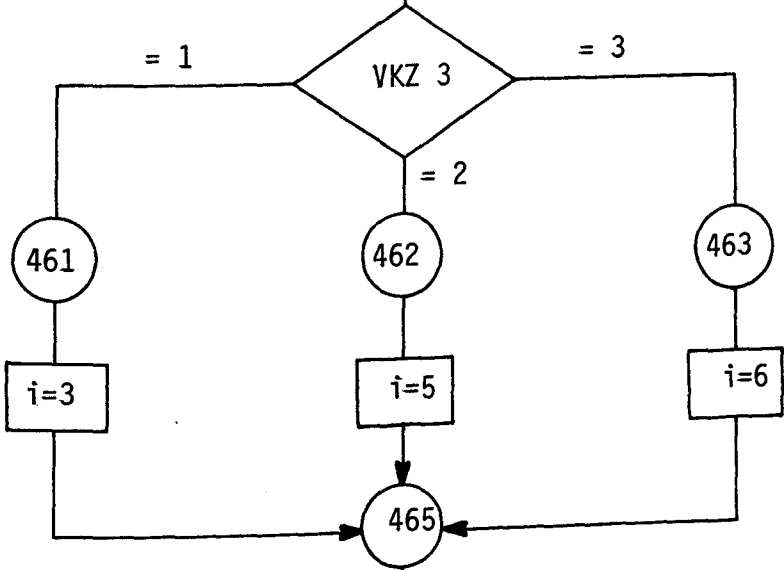
E1o4



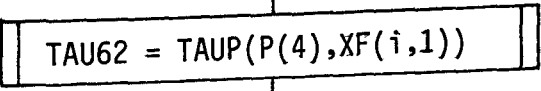
T, p  
gemäß der  
Vorauswahl  
des Ver-  
fahrens  
...



· H  
.....  
· H  
Δ H

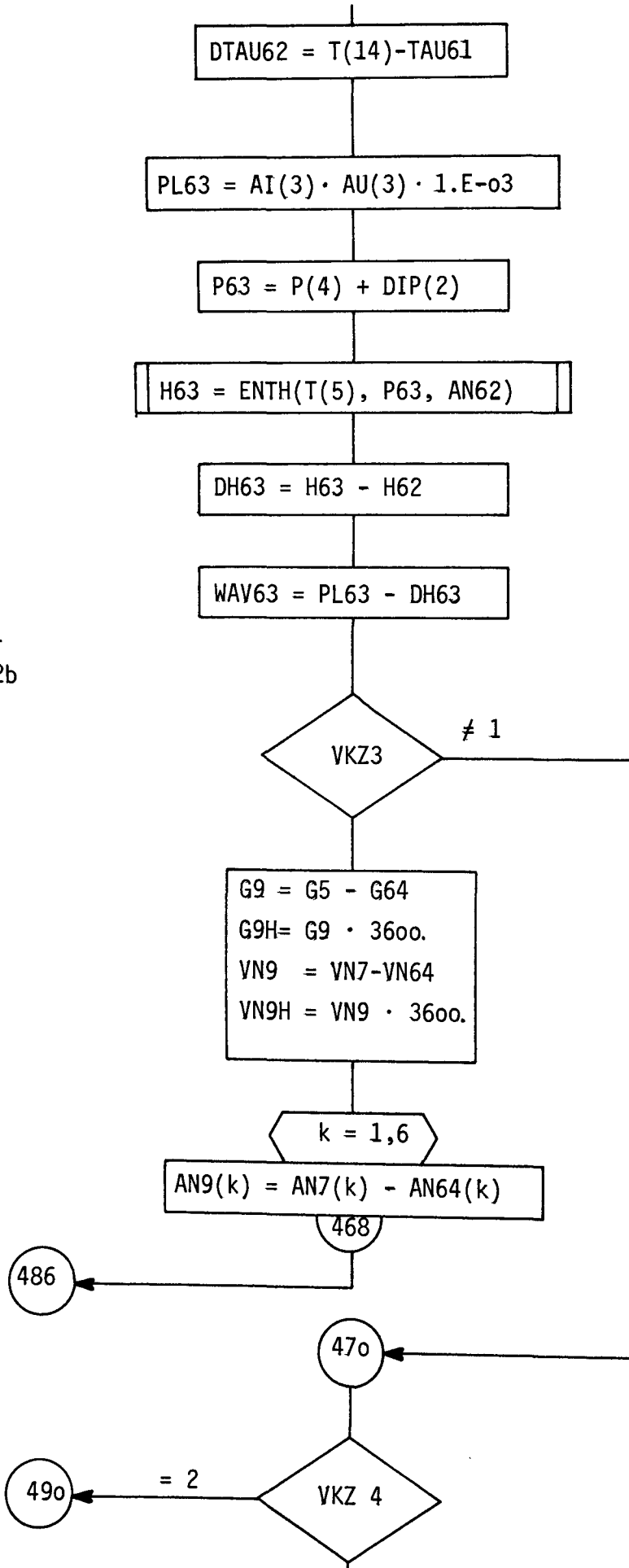


X<sub>i</sub>  
gemäß der  
Vorauswahl  
des Ver-  
fahrens  
...  
T<sub>Taupunkt</sub>



Elo4  
Klo1

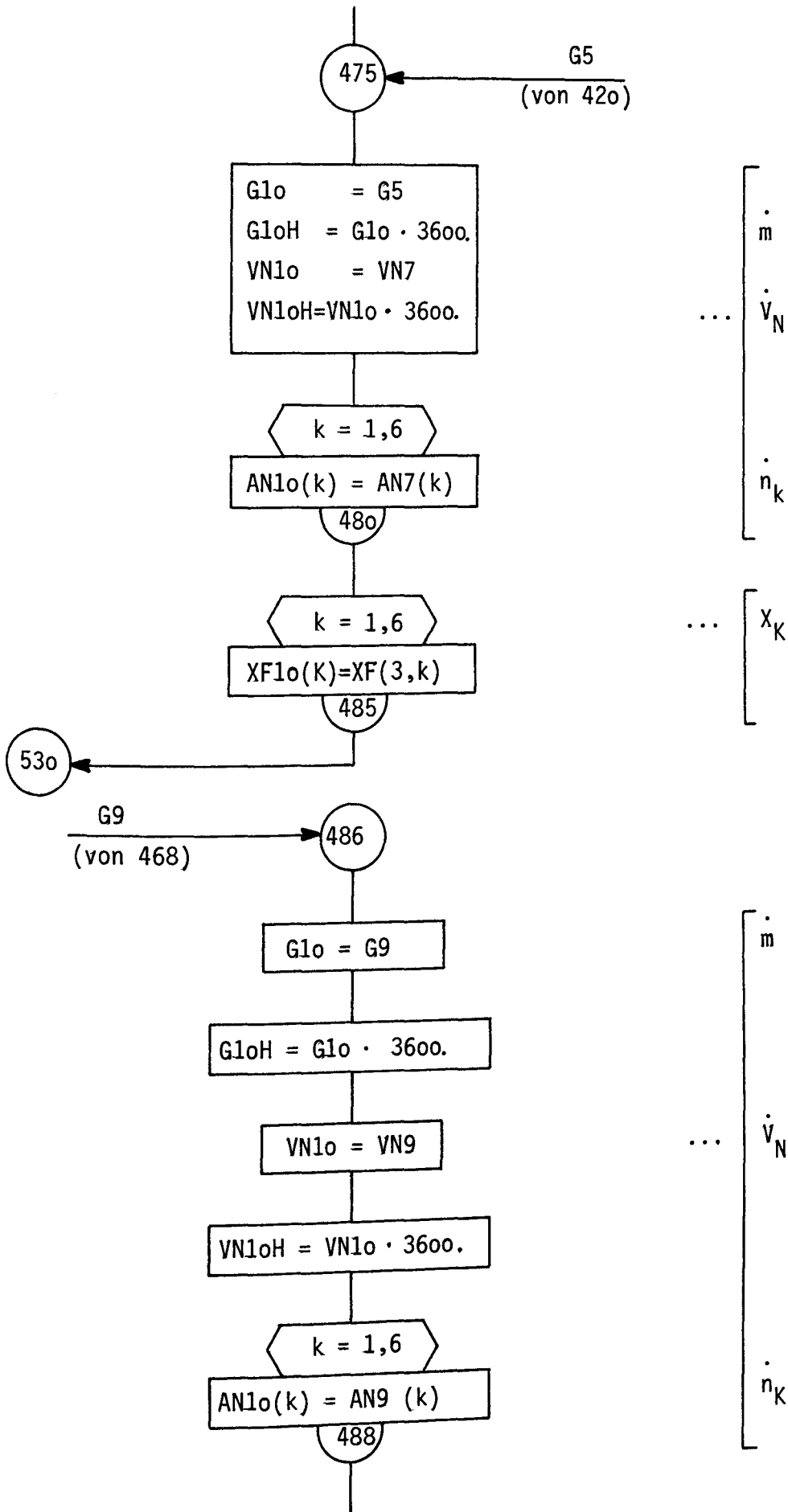
Klo1  
MIP2b

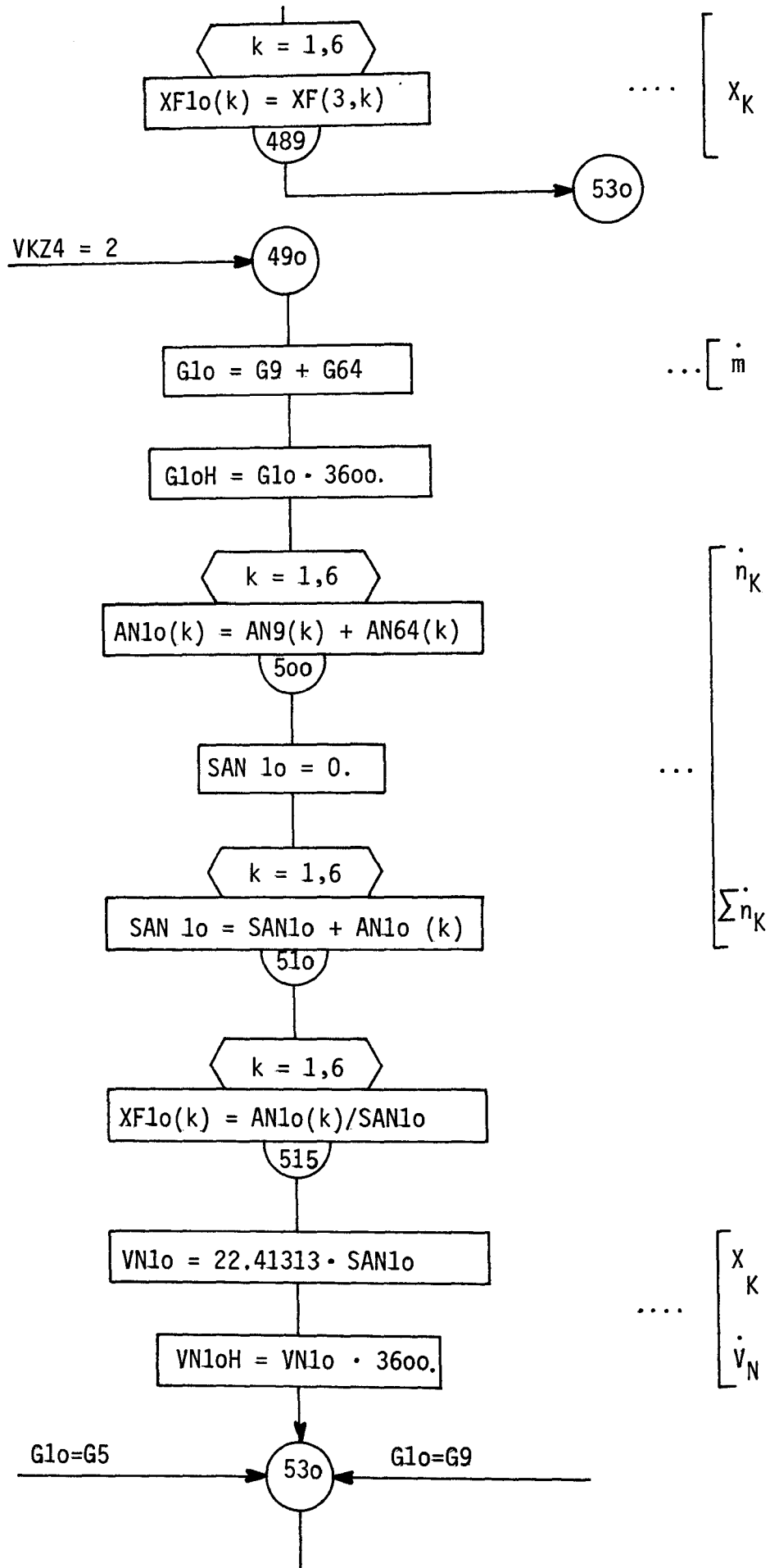


....  $\left[ \Delta T_{\text{Taupunkt}} \right]$

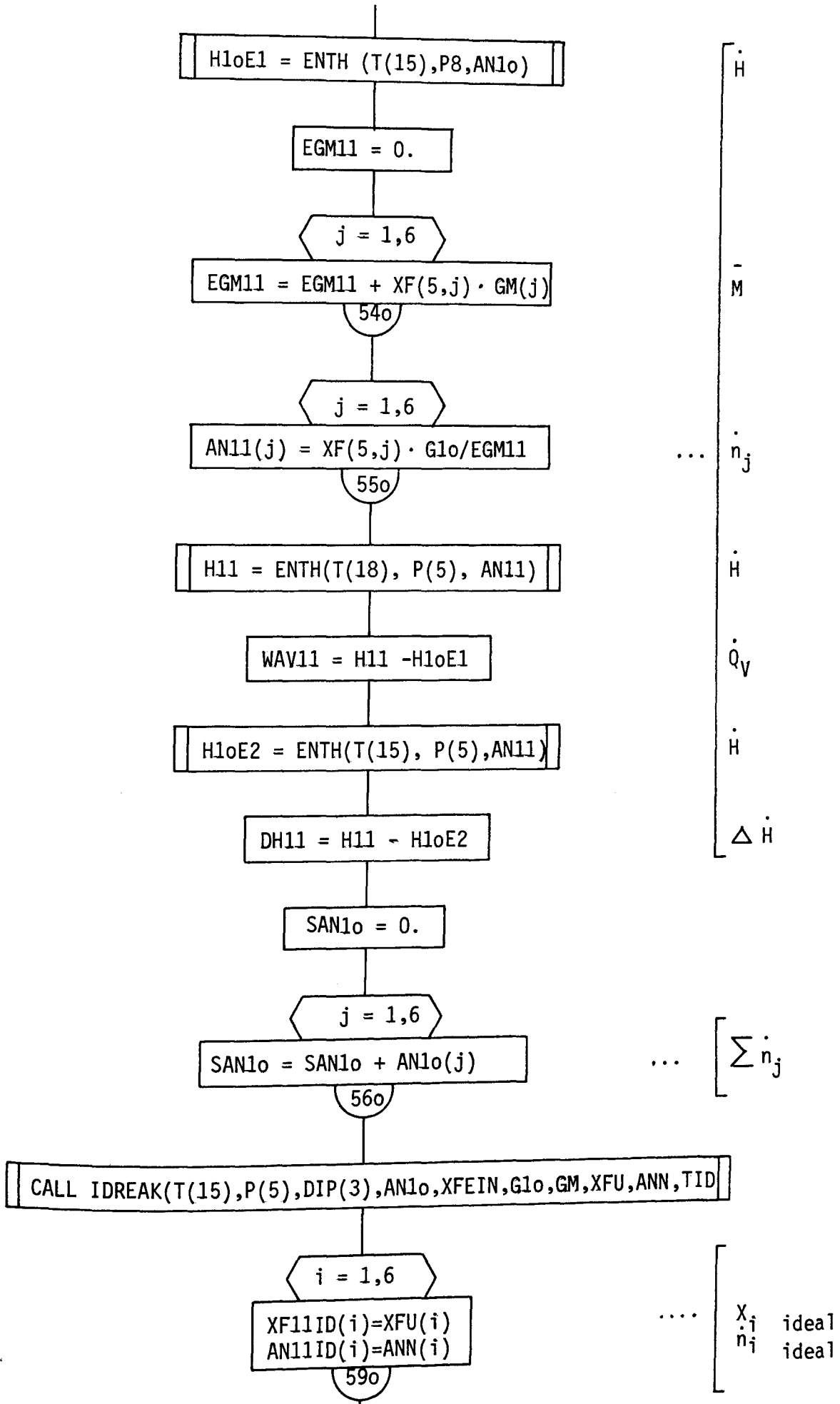
$\left[ \begin{array}{c} P_{e1} \\ p \\ \dots \\ \dot{H} \\ \Delta \dot{H} \\ \dot{Q}_v \end{array} \right]$

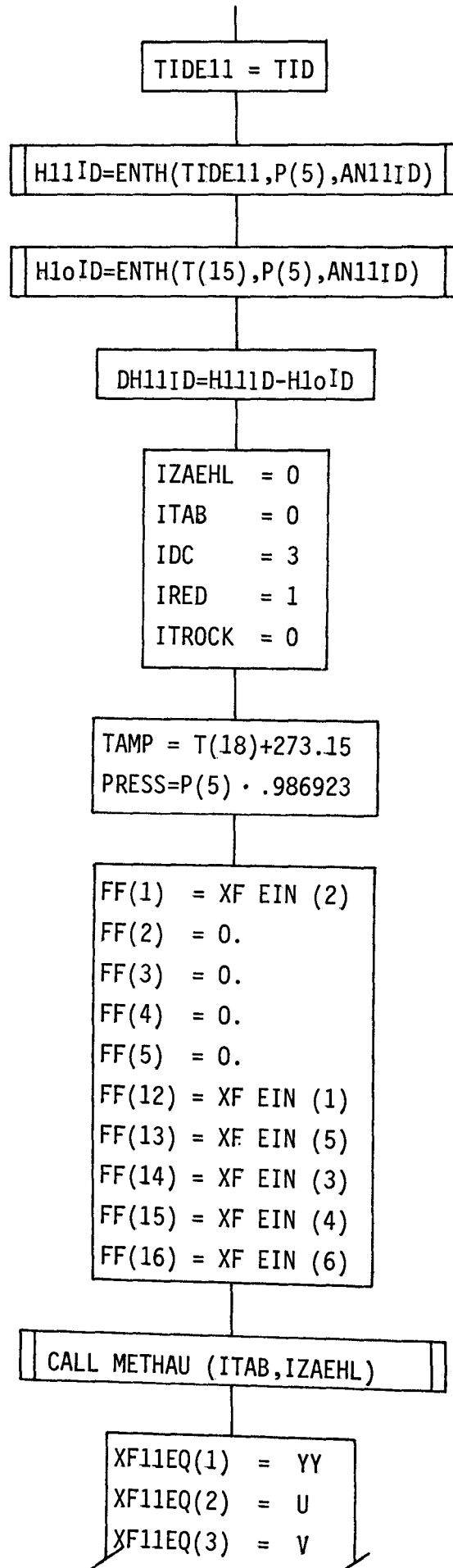
$\left[ \begin{array}{c} \dot{m} \\ \dots \\ \dot{V}_N \\ \dot{n}_k \end{array} \right]$





MIP2b  
R1o2





$T$  adiabat  
 $\dots$   
 $\dot{H}$  Aus ideal  
 $\dot{H}$  Ein ideal  
 $\Delta \dot{H}$  ideal

$\dots$   
 $X_i$  equal



```

XF11EQ(4) = W
XF11EQ(5) = XX
XF11EQ(6) = Z
    
```

```

j = 1,6
    
```

```

XAUS(j) = XF(5,j)
    
```

600

.....  $X_j$

```

CALL SRAPRR(T(17), P(5),XEIN,XAUS,TGLG)
    
```

```

DT11C4 = TGLG(2) - T(17)
DT11C0 = TGLG(3) - T(17)
DT11C2 = TGLG(4) - T(17)
    
```

.....  $\begin{bmatrix} \Delta T \text{ Abstand} \\ \text{vom Gleichgewicht} \\ \Delta T \text{ CH}_4, \text{CO}, \\ \text{CO}_2 \end{bmatrix}$

```

Z11 = DH11/DH11ID
    
```

..... Faktor Realverhalten zu Idealverhalten

```

EGM11ID = 0.
    
```

```

j = 1,6
    
```

```

EGM11ID=EGM11ID + XF11ID(j) * GM(j)
    
```

610

.....  $M_{\text{ideal}}$

```

EGM11EQ = 0.
    
```

```

j = 1,6
    
```

```

EGM11EQ=EGM11EQ + XF11EQ(j) * GM(j)
    
```

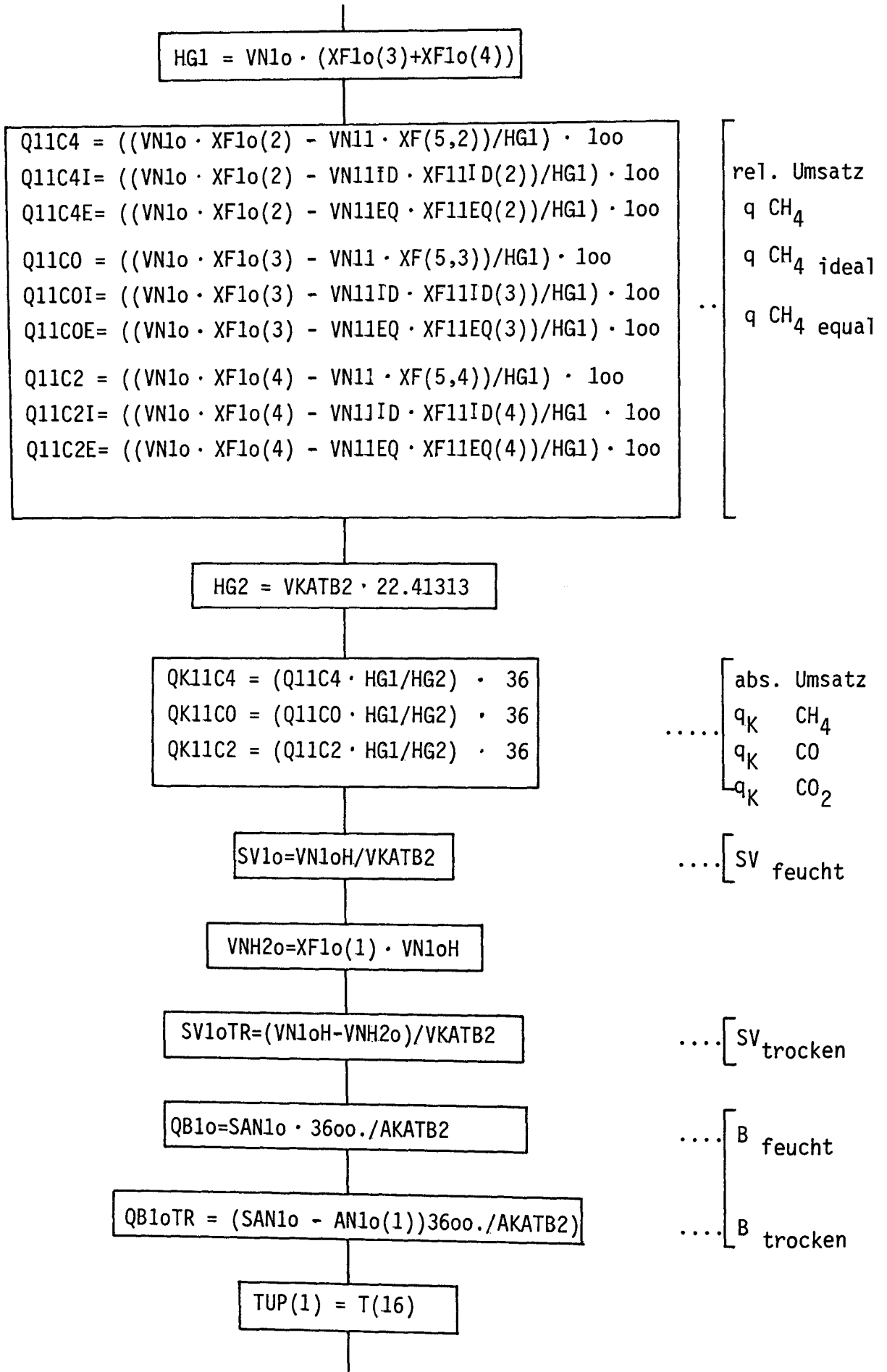
620

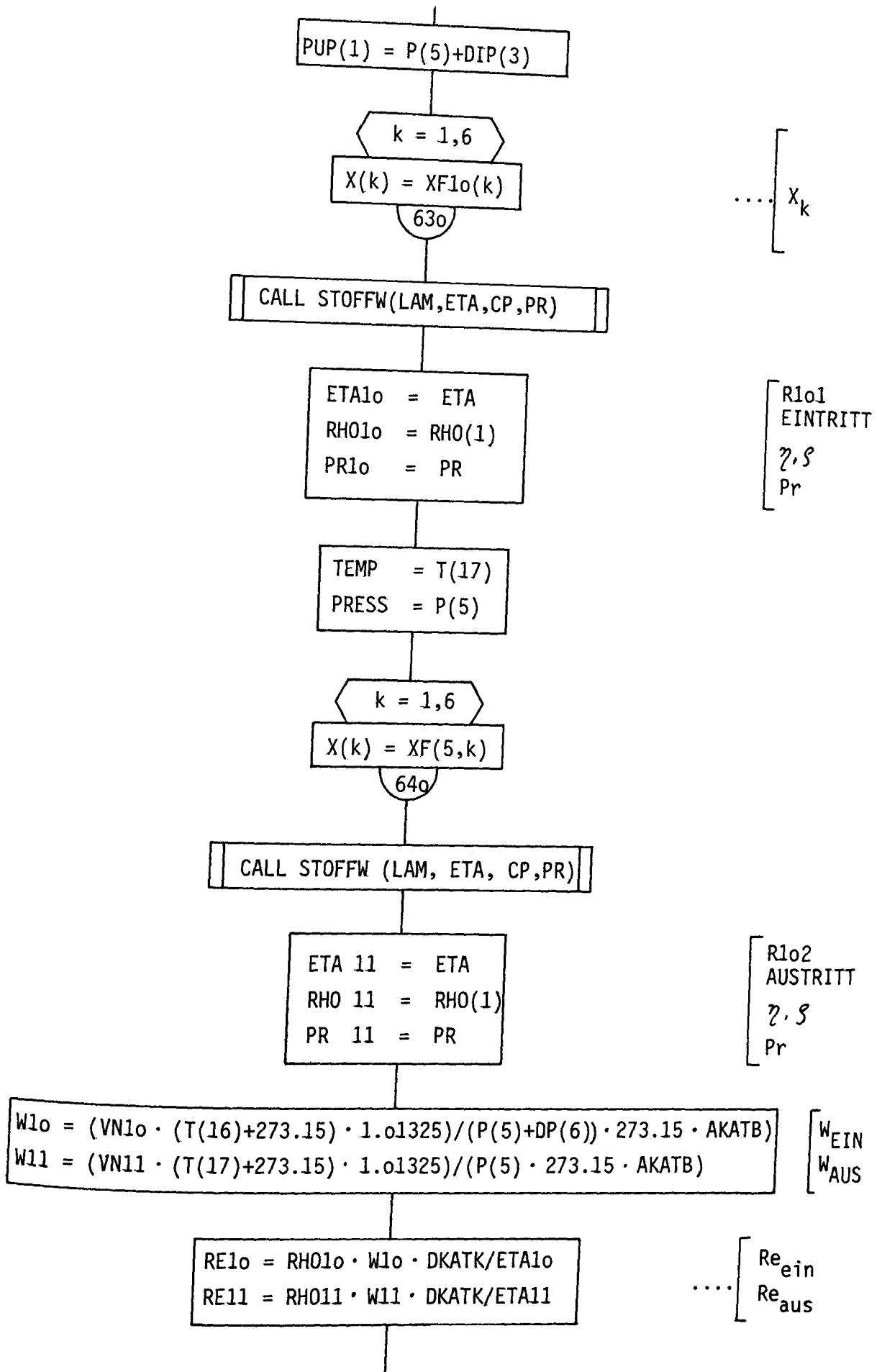
.....  $M_{\text{equal}}$

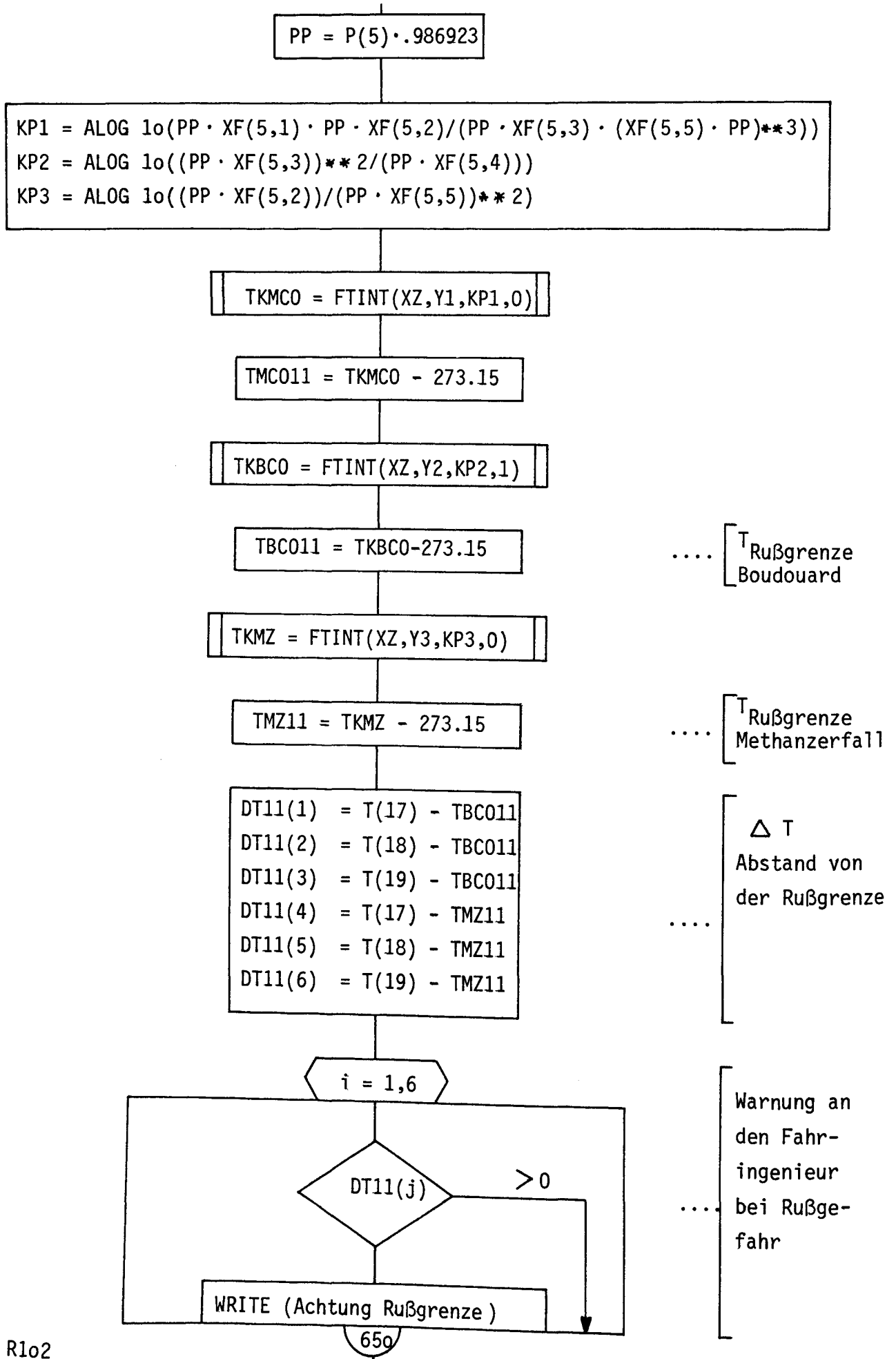
```

VN11 = G10 * 8.3143 * 273.15 / (1.01325 * EGM11 * 100)
VN11H = VN11 * 3600.
VN11ID = G10 * 8.3143 * 273.15 / (1.01325 * EGM11ID * 100)
VN11H = VN11ID * 3600.
VN11EQ = G10 * 8.3143 * 273.15 / (1.01325 * EGM11EQ * 100)
VN11EH = VN11EQ * 3600.
    
```

.....  $\begin{bmatrix} \dot{V}_N \\ \dot{V}_N \\ \text{ideal} \\ \dot{V}_N \\ \text{equal} \end{bmatrix}$







E1o2

$P12 = P(6) + DP(7)$

$H12 = ENTH(T(19), P12, AN11)$

$DH12 = H12 - H11$

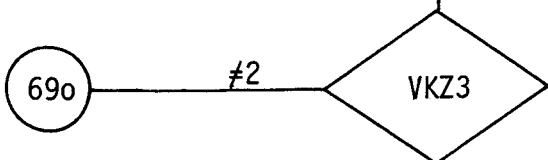
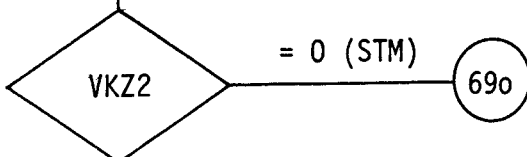
$TAU12 = TAUP(P12, XF(5,1))$

$DTAU12 = T(19) - TAU12$

$P$   
 $\dot{H}$   
 $\dots \dots \Delta \dot{H}$   
 $T_{\text{Taupunkt}}$   
 $\Delta T_{\text{Taupunkt}}$

E1o2

R1o3



$G13 = G1o - G64$

$G13H = G13 \cdot 36oo.$

$j = 1,6$

$AN13(j) = AN1o(j) - AN64(j)$

66o

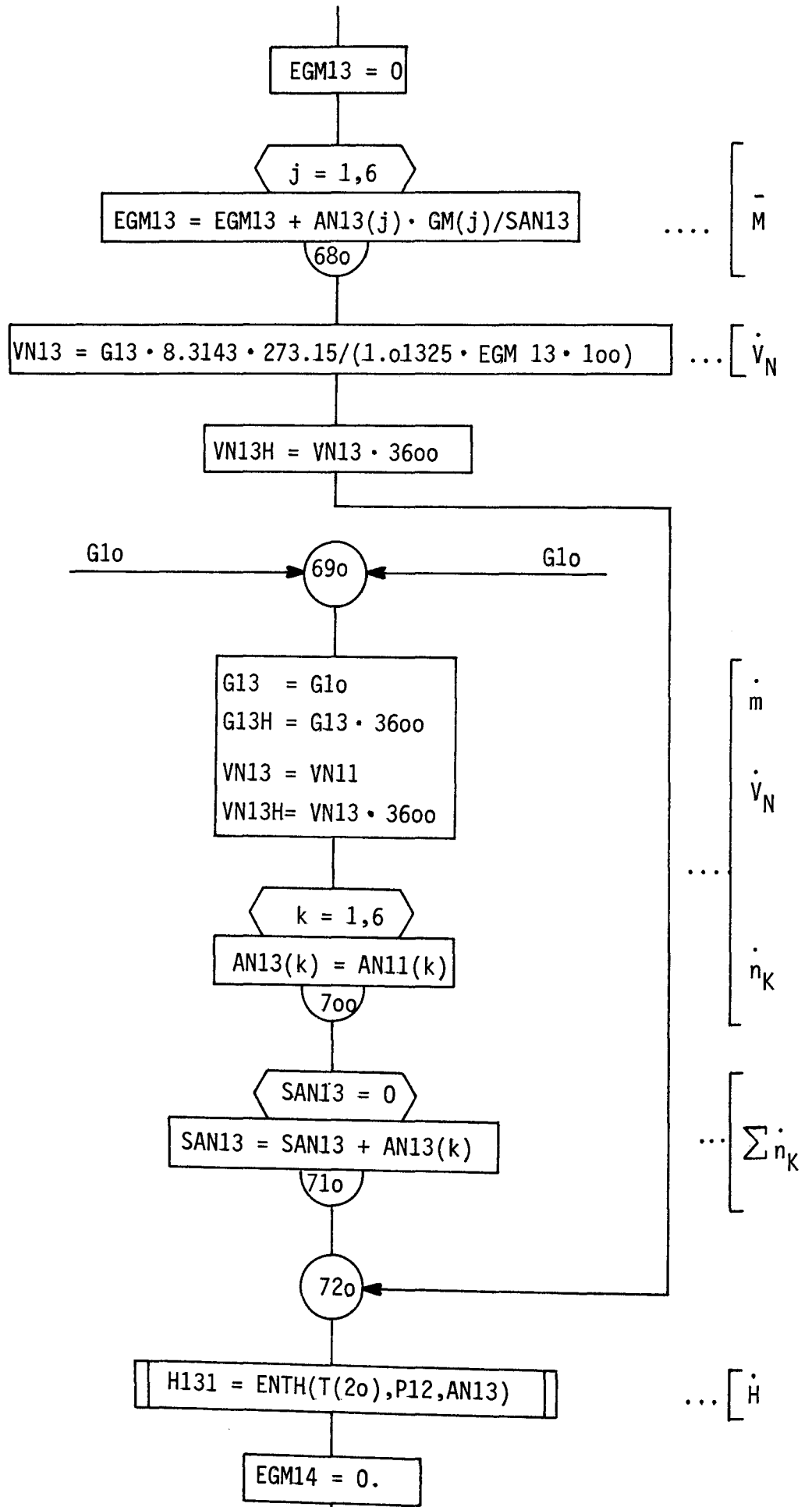
$SAN13=0$

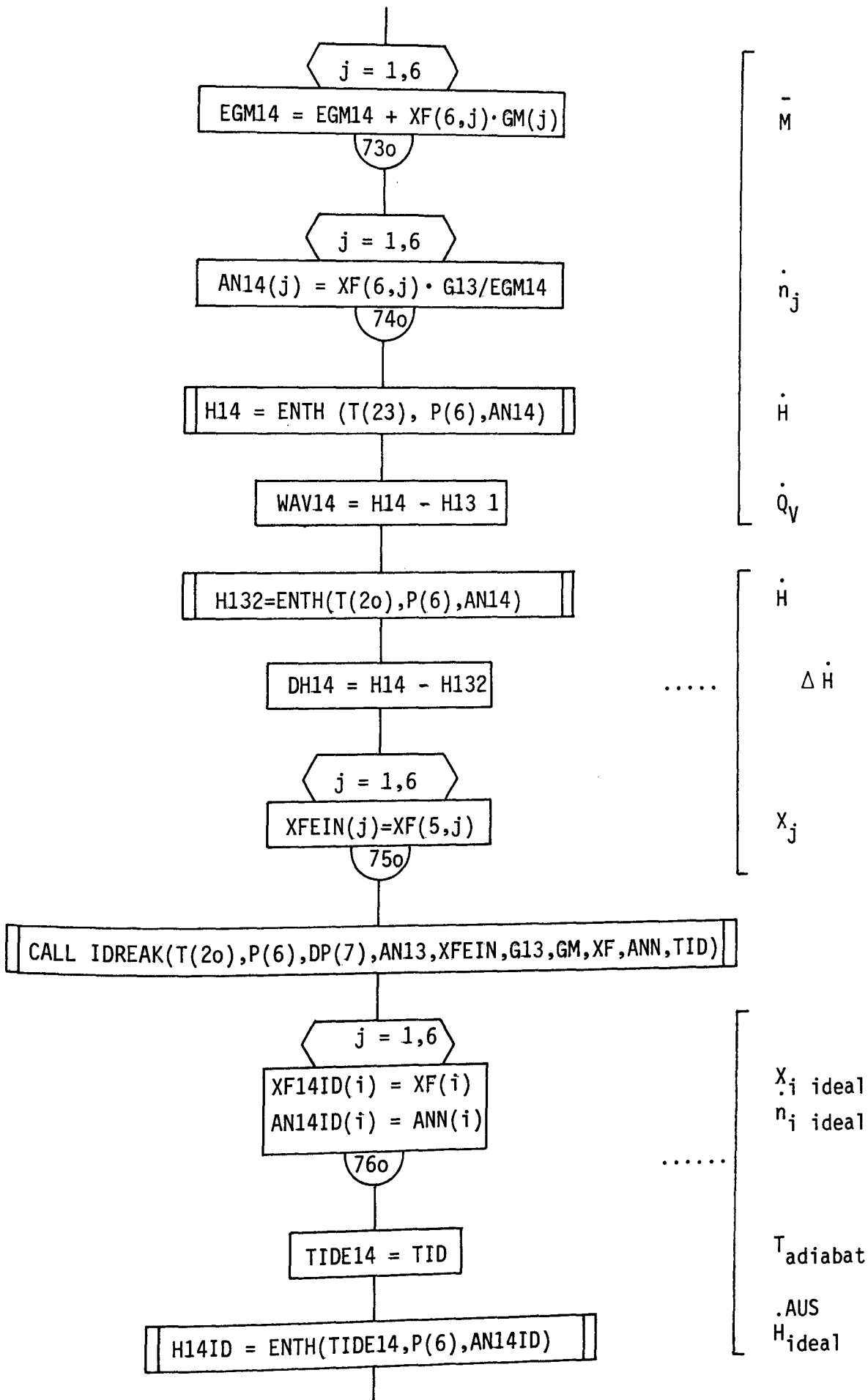
$j = 1,6$

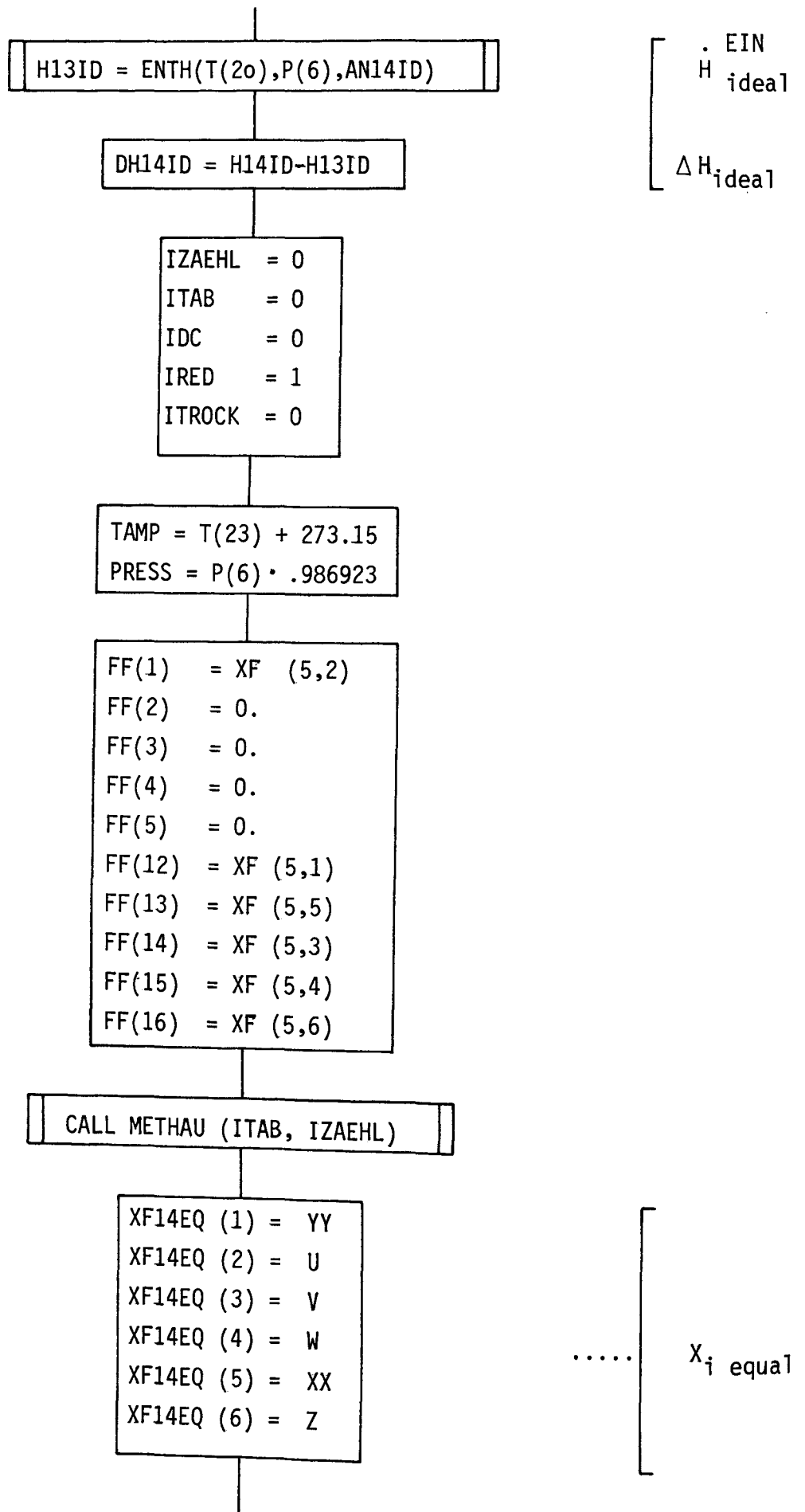
$SAN13 = SAN13 + AN13(j)$

67o

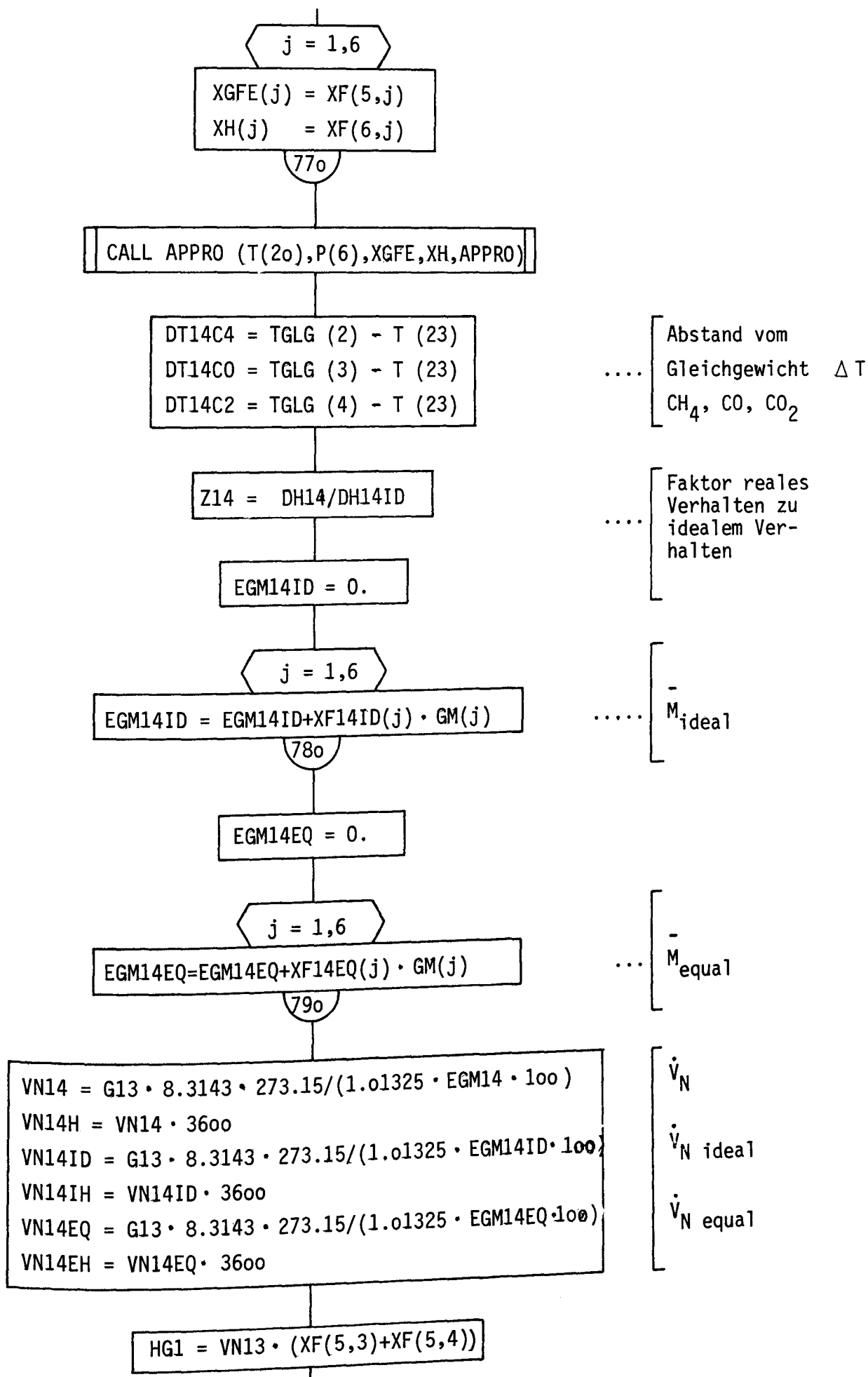
$\dot{m}$   
 $\dots \dots$   
 $\dot{n}_j$   
 $\sum \dot{n}_j$











$$\begin{aligned}
 Q14C4 &= ((VN13 \cdot XF(5,2) - VN14 \cdot XF(6,2))/HG1) \cdot 100 \\
 Q14C4I &= ((VN13 \cdot XF(5,2) - VN14ID \cdot XF14ID(2))/HG1) \cdot 100 \\
 Q14C4E &= ((VN13 \cdot XF(5,2) - VN14EQ \cdot XF14EQ(2))/HG1) \cdot 100 \\
 \\
 Q14C0 &= ((VN13 \cdot XF(5,3) - VN14 \cdot XF(6,3))/HG1) \cdot 100 \\
 Q14C0I &= ((VN13 \cdot XF(5,3) - VN14ID \cdot XF14ID(3))/HG1) \cdot 100 \\
 Q14C0E &= ((VN13 \cdot XF(5,3) - VN14EQ \cdot XF14EQ(3))/HG1) \cdot 100 \\
 \\
 Q11C2 &= ((VN13 \cdot XF(5,4) - VN14 \cdot XF(6,4))/HG1) \cdot 100 \\
 Q11C2I &= ((VN13 \cdot XF(5,4) - VN14ID \cdot XF14ID(4))/HG1) \cdot 100 \\
 Q11C2E &= ((VN13 \cdot XF(5,4) - VN14EQ \cdot XF14EQ(4))/HG1) \cdot 100
 \end{aligned}$$

$$HGUM = VN4 \cdot (XF4(3) + XF4(4))$$

VKZ2  $\neq 0$

$$\begin{aligned}
 Y7CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN7 \cdot XF(3,2))/HGZM) \cdot 100 \\
 Y7CO &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN7 \cdot XF(3,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y7CO2 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN7 \cdot XF(3,4))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y11CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN11 \cdot XF(5,2))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y11CO &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN11 \cdot XF(5,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y11CO2 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN11 \cdot XF(5,4))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN14 \cdot XF(6,2))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14CO &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN14 \cdot XF(6,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14CO2 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN14 \cdot XF(6,4))/HGUM) \cdot 100
 \end{aligned}$$

Rel. Umsatz  
gesamte An-  
lage, d.h.  
über alle  
Reaktoren

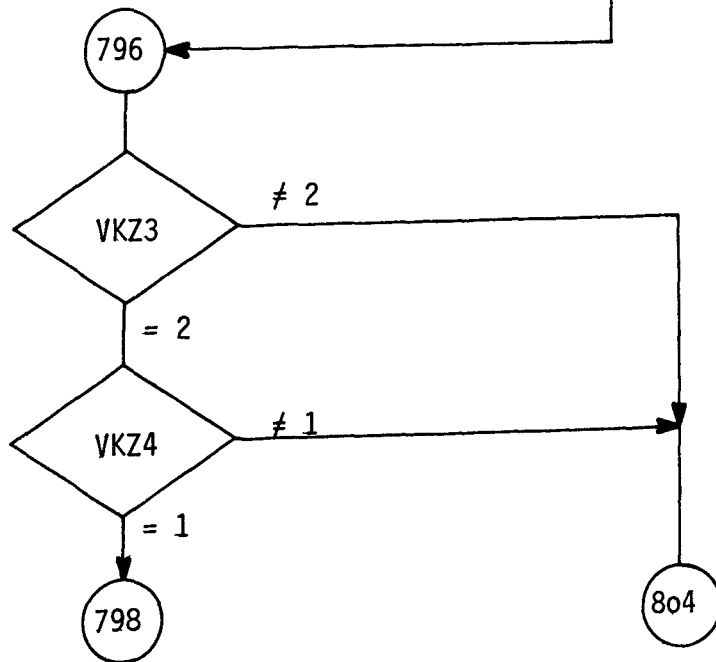
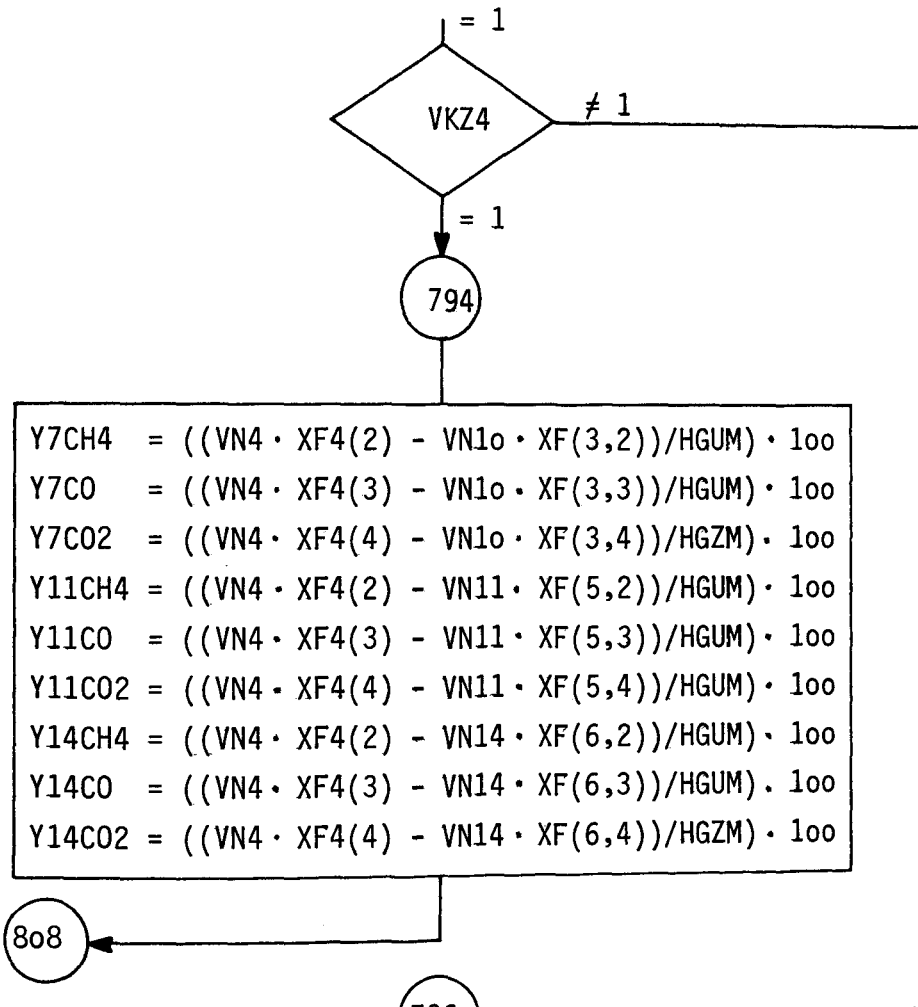
808

792

VKZ3  $\neq 1$

796

= 1



Box 2 (from node 798):

$$Y7CH4 = ((VN4 \cdot XF4(2) - VN13 \cdot (VN7/VN11) \cdot XF(3,2))/HGUM) \cdot 100$$

$$Y7CO = ((VN4 \cdot XF4(3) - VN13 \cdot (VN7/VN11) \cdot XF(3,3))/HGUM) \cdot 100$$

$$Y7CO2 = ((VN4 \cdot XF4(4) - VN13 \cdot (VN7/VN11) \cdot XF(3,4))/HGUM) \cdot 100$$

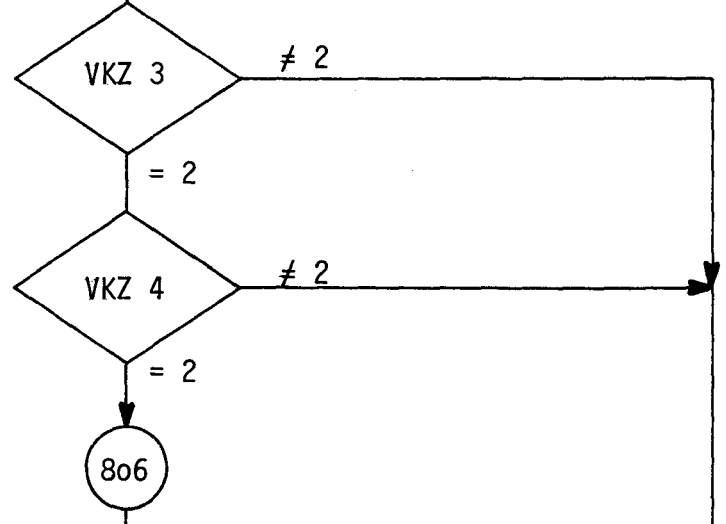
$$Y11CH4 = ((VN4 \cdot XF4(2) - VN13 \cdot XF(5,2))/HGUM) \cdot 100$$

$$\begin{aligned}
 Y11C0 &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN13 \cdot XF(5,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y11C02 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN13 \cdot XF(5,4))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN14 \cdot XF(6,2))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14C0 &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN14 \cdot XF(6,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14C02 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN14 \cdot XF(6,4))/HGUM) \cdot 100
 \end{aligned}$$

808

804

VKZ3 ≠ 2, VKZ4 ≠ 1

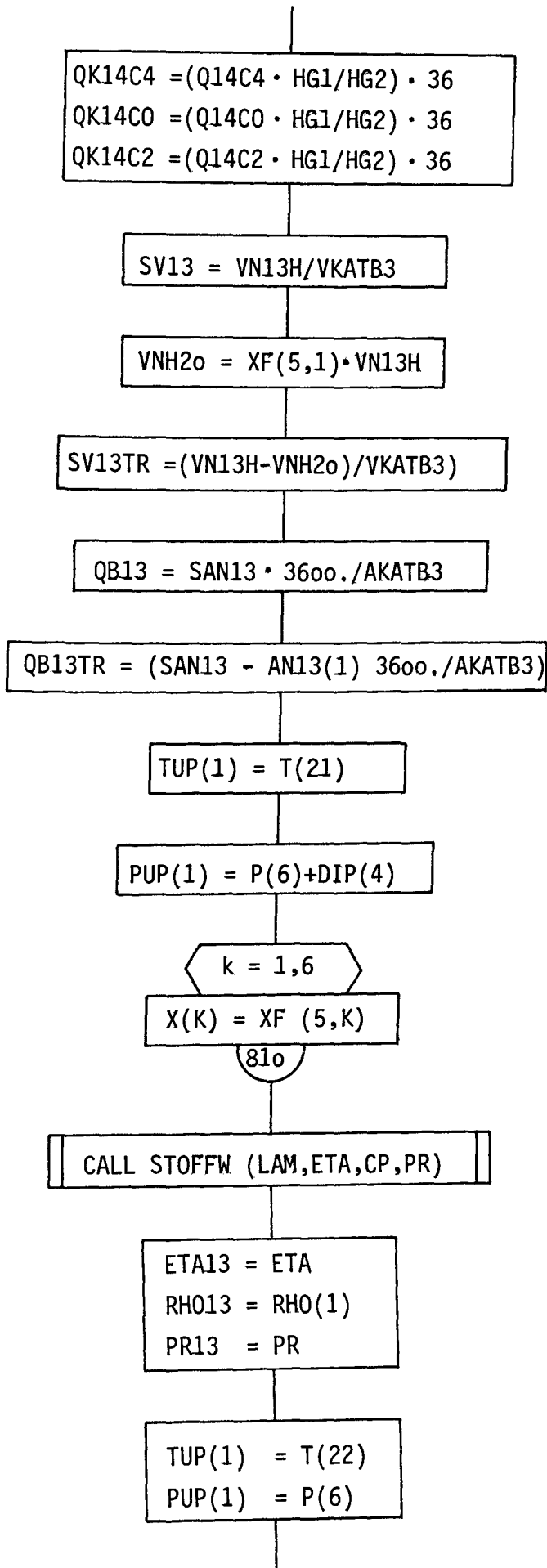


$$\begin{aligned}
 Y7CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN7 \cdot XF(3,2))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y7C0 &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN7 \cdot XF(3,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y7C02 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN7 \cdot XF(3,4))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y11CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN13 \cdot XF(5,2))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y11C0 &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN13 \cdot XF(5,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y11C02 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN13 \cdot XF(5,4))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN14 \cdot XF(6,2))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14C0 &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN14 \cdot XF(6,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14C02 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN14 \cdot XF(6,4))/HGUM) \cdot 100
 \end{aligned}$$

Y7CH4, Y7C0 usw.

808

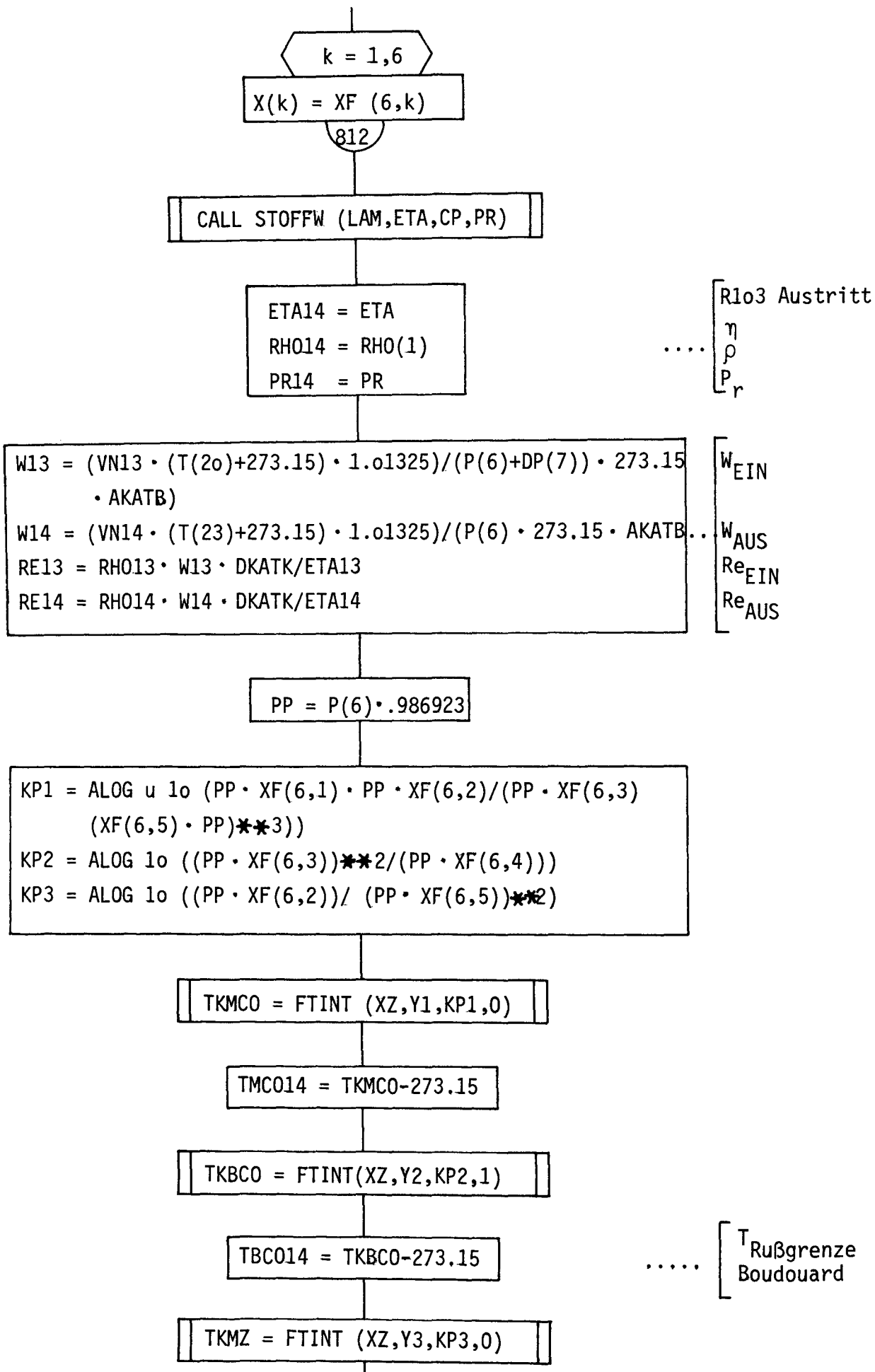
$$HG2 = VKATB3 \cdot 22.41313$$

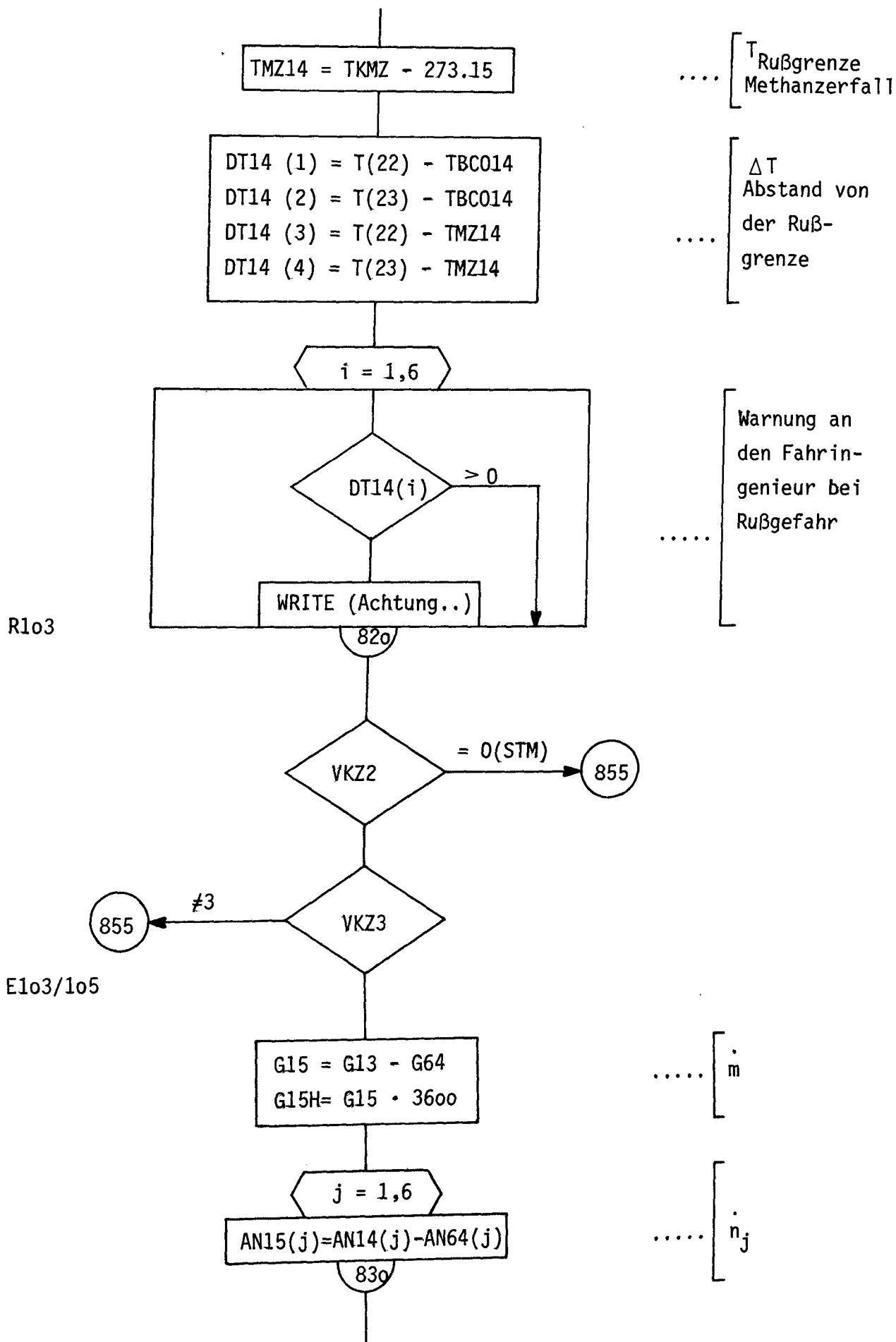


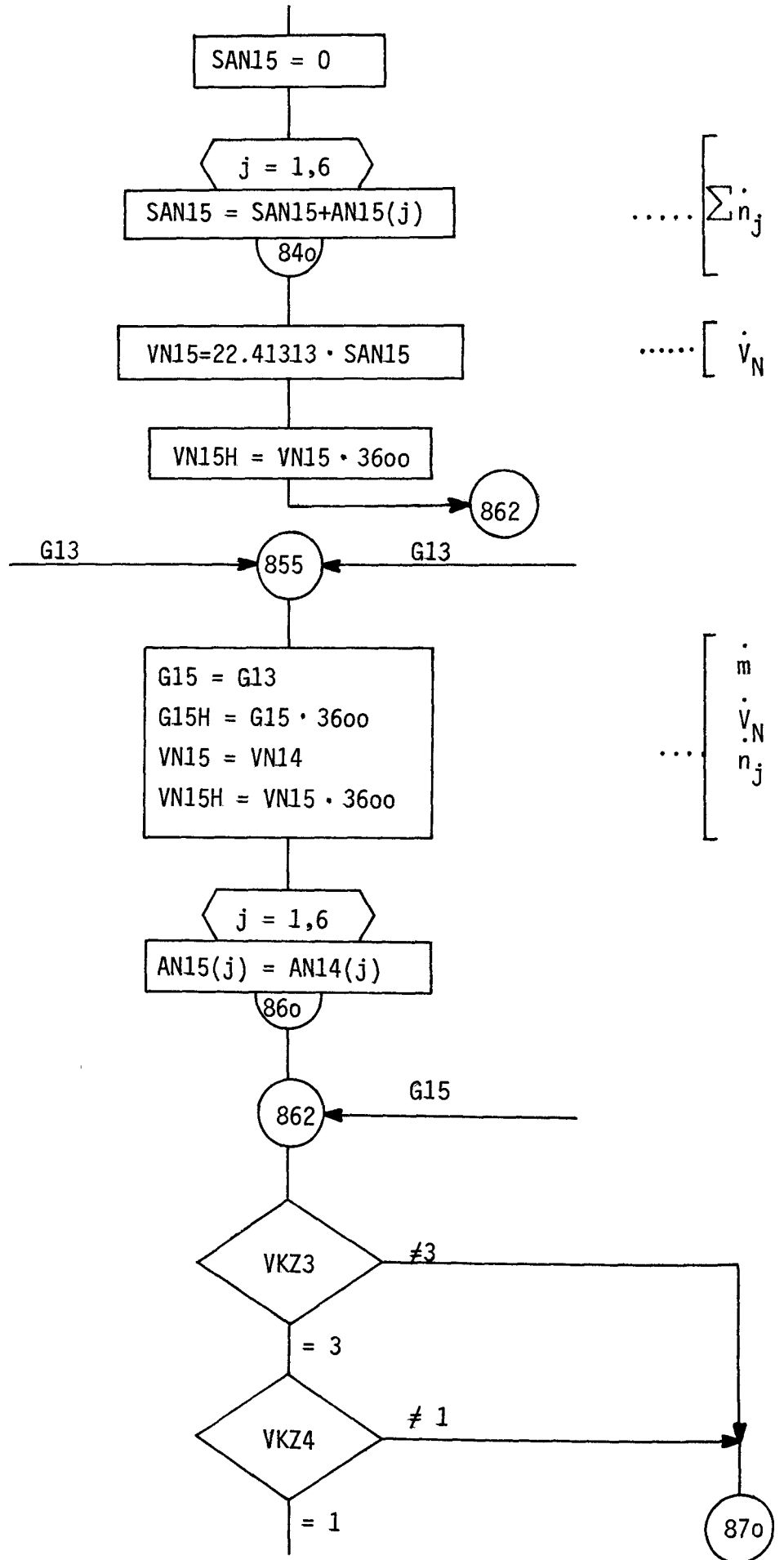
.....  $\left[ \begin{array}{l} \text{abs. Umsatz} \\ q_K \text{ CH}_4 \\ q_K \text{ CO} \\ q_K \text{ CO}_2 \end{array} \right.$

.....  $\left[ \begin{array}{l} SV_{\text{feucht}} \\ \\ \\ SV_{\text{trocken}} \\ \\ B_{\text{feucht}} \\ B_{\text{trocken}} \end{array} \right.$

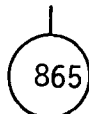
.....  $\left[ \begin{array}{l} R_{103} \text{ Eintritt} \\ \eta \\ \rho \\ P_r \end{array} \right.$











$$\begin{aligned}
 Y7CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN15 \cdot (VN7/VN14) \cdot XF(3,2))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y7CO &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN15 \cdot (VN7/VN14) \cdot XF(3,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y7CO2 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN15 \cdot (VN7/VN14) \cdot XF(3,4))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y11CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN15 \cdot (VN11/VN14) \cdot XF(5,2))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y11CO2 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN15 \cdot (VN11/VN14) \cdot XF(5,4))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14CH4 &= ((VN4 \cdot XF4(2) - VN15 \cdot XF(6,2))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14CO &= ((VN4 \cdot XF4(3) - VN15 \cdot XF(6,3))/HGUM) \cdot 100 \\
 Y14CO2 &= ((VN4 \cdot XF4(4) - VN15 \cdot XF(6,4))/HGUM) \cdot 100
 \end{aligned}$$

rel. Umsatz  
gesamte  
Anlage,  
d.h. über  
alle  
Reaktoren



VKZ3 ≠ 3, VKZ3 ≠ 1

$$H15 = ENTH(T(23), P(6), AN15)$$

$$H16 = ENTH(T(24), P(7), AN15)$$

$$DH16 = H16 - H15$$

$$TAU16 = TAUP(P(7), XF(6,1))$$

E1o3/1o5

$$PDAMPF = PDAMP(T(24))$$

VIP AUS

$$XF(7,1) = PDAMPF/P(7)$$

$$A = 1 - XF(7,1)$$

$$j = 2,6$$

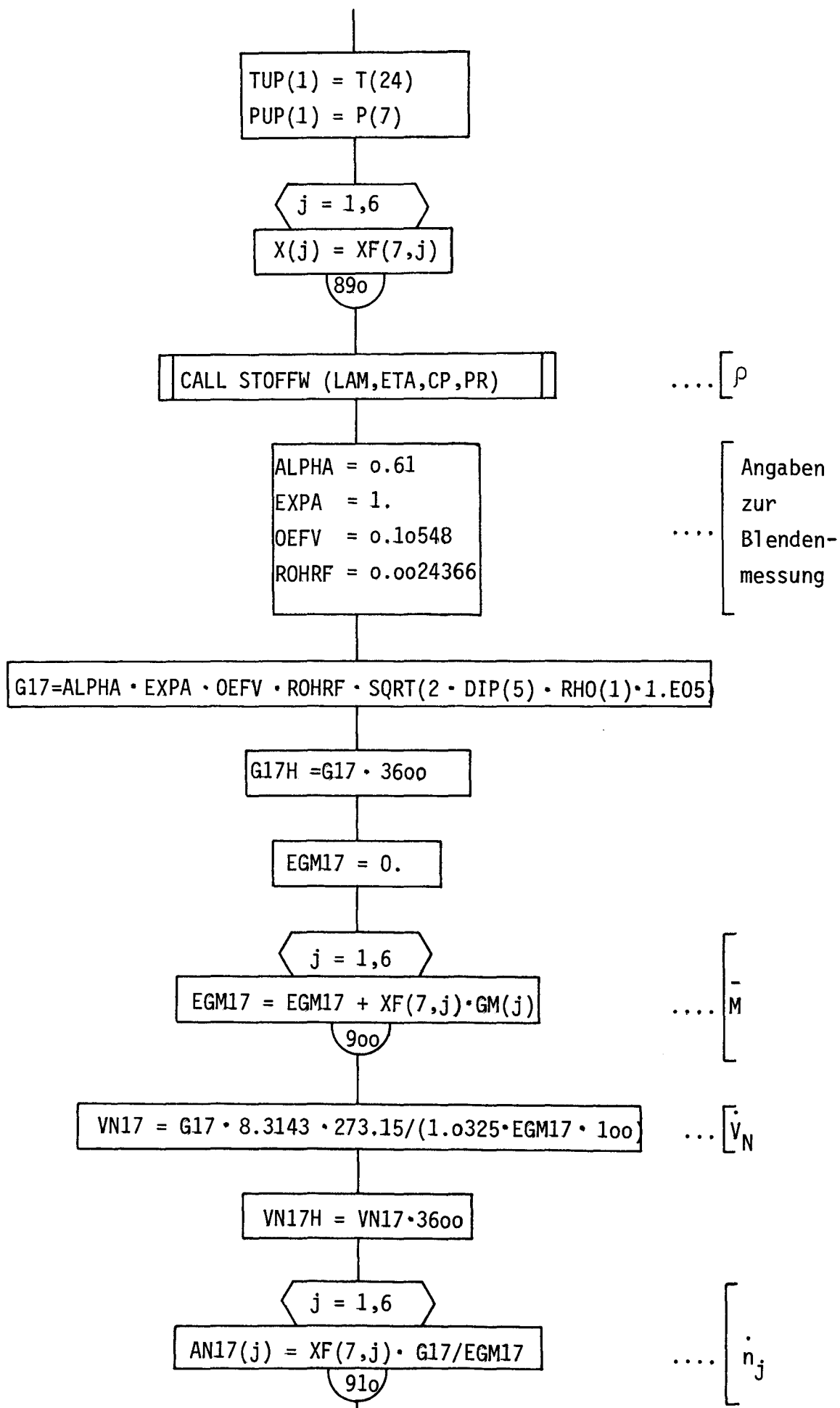
$$XF(7,j) = PSI(7,j) \cdot A$$

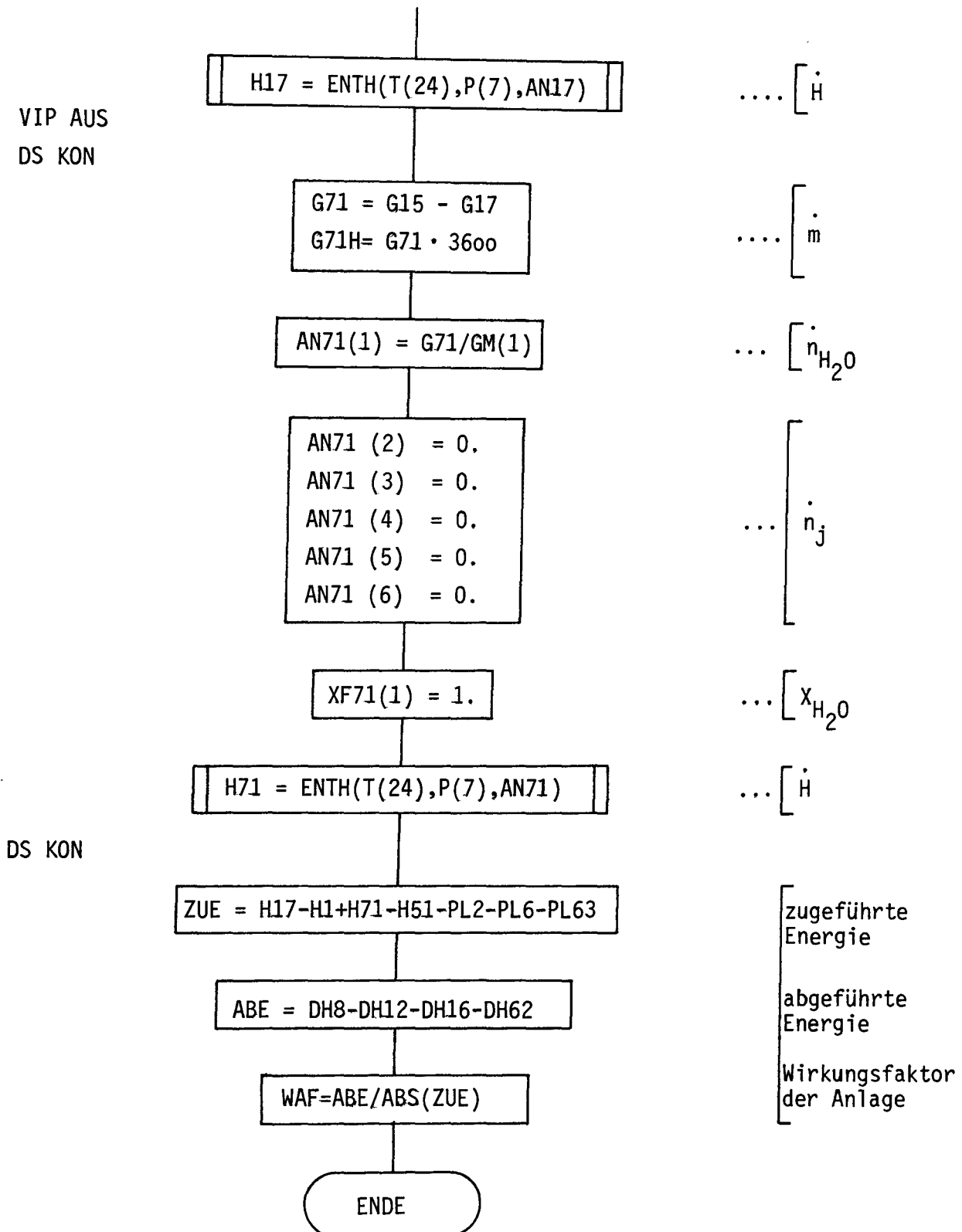


...  $\dot{H}$   
...  $\dot{H}$   
...  $\Delta \dot{H}$   
...  $T_{\text{Taupunkt}}$

...  $P_{\text{gesättigt}}$   
...  $X_{H_2O}$

...  $X_j$





## 7. Zusammenfassung

Es wurde die Energie- und Massenstrombilanzierung der Versuchsanlage ADAM I vorgestellt. Der praktizierte Online-Betrieb gibt dem Betriebsingenieur nach der jeweiligen Online-Auswertung eines Meßpunktes die Möglichkeit, die Qualität des Meßpunktes und mögliche fehlerhafte Betriebszustände zu beurteilen und ggf. zu korrigieren. Weiterhin zeigt die Auswertung wesentliche Versuchsergebnisse hinsichtlich Umsatz, erreichter Gleichgewichtszustände, charakteristischer Temperaturprofile und Druckgradienten für die einzelnen Reaktionsstufen und für das gesamte Reaktionssystem auf. Aufgrund der Erkenntnisse durch die umgehende Auswertung der Meßpunkte kann ferner während des Versuchs der Versuchsplan geändert werden, so daß das Ziel der Optimierung schneller erreicht werden kann.

8. Literaturverzeichnis

- /1/ Dt. Pat. OS 160 1001, angemeldet 17.2.67,  
US-Pat. 355 8 047; GB-Pat. 121 8 928, FR-Pat. 157 2 234,  
IT-Pat. 836 485, Austral.-Pat. 33692 angemeldet Februar 1968  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH (Erf. H.W. Nürnberg, G. Wolf)
- /2/ Dt. Pat. 129 8 233, angemeldet 16.1.68  
Rheinische Braunkohlenwerke AG Köln (Erf. F. Hilberath, H. Teggers)
- /3/ Harth, R.  
Das Projekt Nukleare Fernenergie  
Jahresbericht 1975 der  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH 176, S. 15 ff
- /4/ Boltendahl, U.; Nießen, H.F.; Theis, K.A.  
gwf-gas/erdgas 117, (1976), S. 517 ff
- /5/ Harth, R.; Kugeler, K.; Nießen, H.F.;  
Boltendahl, U.; Theis, K.A.  
Nuclear Technology 38 (1978), S. 252
- /6/ Nürnberg, H.W.; Wolff, G.  
Nukleare Fernenergie  
Die Naturwissenschaften 63 (1976) S. 190
- /7/ Bundesministerium für Forschung und Technologie  
- Redaktion G. Dietrich, Kernforschungsanlage Jülich GmbH  
Einsatzmöglichkeiten neuer Energiesysteme  
Programmstudie "Sekundärenergiesysteme"  
Teil IV: Fernenergie  
Bundesministerium für Forschung und Technologie  
Bonn 1975
- /8/ H. Harms, B. Höhle, A. Skov  
Methanisierung kohlenoxidreicher Gase  
Chemie-Ingenieur-Technik (eingereicht im August 1979)
- /9/ D. Conrads, H.E. Moritz, R. Mühlstroh  
Jül-Bericht der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich  
Nr. 1004 (1973)
- /10/ H. Neis  
Interner Bericht der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich  
Nr. IRE-5 (1971)
- /11/ B. Höhle  
Jül-Bericht der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich  
Nr. 847 (1972)
- /12/ Jørgen Kjaer  
Enthalpy tables ideal gases  
Haldor Topsøe, Vedboek, Denmark (1969)

- /13/ E. Schmidt  
VDI-Wasserdampfatafeln  
6. Auflage, Ausgabe B (Joule, bar) (1963)
- /14/ E. Schmidt  
Einführung in die Technische Thermodynamik  
Springer Verlag Berlin/Göttigen/Heidelberg (1960)