DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON DESY

DESY DV-76/01
Februar 1976

Ein allgemeiner Assembler

von

W. Wimmer

2 HAMBURG 52 · NOTKESTIEG 1

To be sure that your preprints are promptly included in the
HIGH ENERGY PHYSICS INDEX ,
send them to the following address (if possible by air mail) :

DESY
Bibliothek
2 Hamburg 52
Notkestieg 1
Germany

Ein allgemeiner Assembler

von

W. Wimmer

Abstract:

A general assembler is described which allowes within some limits to define the syntax of an assembler language and the generated code for a wide class of computers.

Inhalt

1. Einleitung

1.1 Zweck

Der allgemeine Assembler (General Assembler, GEASM) bietet die Möglichkeit, innerhalb einer allgemeinen, in den meisten Assemblersprachen benutzten Sprachsyntax eine Assemblersprache selbst zu definieren und, ebenfalls innerhalb gewisser Grenzen, den daraus resultierenden Maschinencode zu bestimmen. Damit kann der GEASM u.a. für folgende Zwecke eingesetzt werden:

- Verwendung einer einzigen Assemblersprache für mehrere verschiedene Rechnertypen
- Gemischte Verwendung (innerhalb desselben Programms) mehrerer Assemblersprachen auf demselben Rechner (z.B. zur Simulation anderer Rechner)
- Schnelle Definition neuer Assemblersprachen z. B. für Mikroprogrammierung oder Mikroprozessoren
- Erweiterung bestehender Sprachen um neue Befehle

1.2 Benötigte Eigenschaften

Um die oben erwähnten Zwecke zu erfüllen, muß der Assembler zwei verschiedene Sprachen verarbeiten können: Einmal eine Sprache, mit deren Hilfe eine Assemblersprache und die Art, wie sie in Maschinencode umgesetzt werden soll, definiert wird, und zweitens mit Hilfe dieser Definitionen die definierte Sprache, um daraus den Maschinencode und Listen mit Fehlermeldungen u. ä. zu produzieren.

Einige allgemeine Eigenschaften der Definitions-(Meta-)Sprache und der definierten Assemblersprache können im GEASM über "Systemvariable" (siehe 5.1, 5.2) festgelegt werden. Für beide Sprachen gilt ein in 2.2.1 und 2.2.2 beschriebenes allgemeines Format. Die Definitionssprache wird im restlichen Teil von 2.2 beschrieben. Sie gestattet es, eine Assemblersprache innerhalb des in 2.2.2 gegebenen allgemeinen Formats zu definieren.

Die möglichen Maschinencodestrukturen sind recht variabel gehalten worden dadurch, daß verschiedene Befehle verschiedene Längen haben können und der Benutzer komplizierte Umsetzungsalgorithmen von der Assemblersprache in den Maschinencode selber programmieren und in den GEASM einbauen kann. Einige häufig vorkommende Umsetzungsalgorithmen sind schon eingebaut.

2. Sprachaufbau

2.1 Allgemeines

2.1.1 Schreibweise

Für die im Folgenden beschriebenen Definitionen und Formate gelte:

Große Buchstaben werden so geschrieben, wie sie dastehen. Kleine Buchstaben bzw. kleingeschriebene Worte stehen für allgemeine Begriffe und werden im Einzelfall sinngemäß ersetzt.
In eckigen Klammern Geschriebenes [ ] ist optional, kann also im Einzelfall weggelassen werden.

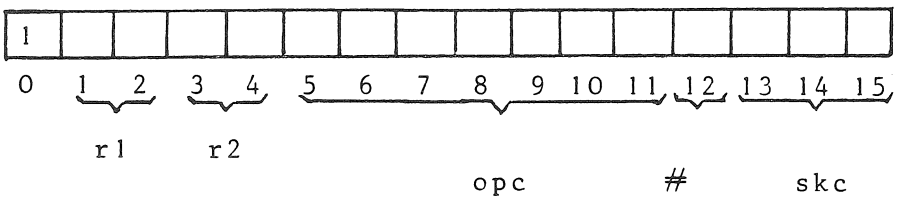
2.1.2 Beispiele

Um die folgenden Definitionen und ihre Benutzung zu erläutern, wird als Beispiel die Definition eines Register-Register-Befehls aus dem Nova-Assembler jedem Abschnitt folgen.

Dieser Befehl hat folgendes Format:

[label :] opc [#] r1, r2 [,skc] [; kommentar]

Dabei wird die Maschinenfunktion opc mit den Registern r1 und r2 durchgeführt und das Ergebnis in r2 geladen, wenn das No-Load-Zeichen# fehlt. Der Skipcode skc gibt an, bei welchen Werten des Ergebnisses der nächste Befehl übersprungen werden soll. Fehlt er, so wird der nächste Befehl immer ausgeführt. Der dazugehörige Maschinencode ist so aufgebaut:



2.2 Sprachbeschreibung

Die Abschnitte 2.2.1 und 2.2.2 gelten sowohl für Definitions- als auch für die definierte Sprache.

Die Abschnitte 2.2.3, 2.2.4 und 2.2.5 beschreiben die Syntax der Definitionssprache und weisen auf die Bedeutung der Definitionsanweisungen für die definierte Sprache hin.

2.2.1 Zeichen

Die Eingabe von Definitions- und definierter Sprache erfolgt im selben Eingabestrom. Im Eingabestrom sind alle Zeichen zulässig, die eingegeben werden können. Die Zeichen werden in die folgenden Klassen unterteilt:

I Buchstaben
II Numerische Zeichen
III Alphanumerische Zeichen - Vereinigung von I und II
IV Operationszeichen für arithmetische Ausdrücke
V Begrenzer arithmetischer Ausdrücke
VI Begrenzer - Vereinigung von IV und V

Die Klassen I, II, IV und V sind disjunkt. Die Klassen IV, II und III können vom Benutzer über Systemvariable (5.1) definiert werden. Alle Zeichen, die nicht in IV oder III enthalten sind, fallen in Klasse V. Dadurch sind auch die Klassen I (als Differenz von III und II) und VI (als Vereinigung von IV und V) definiert.

Das Leerzeichen (Blank) hat eine Sonderrolle. Mehrere aufeinanderfolgende Leerzeichen entsprechen einem einzigen Leerzeichen. Ist dieses Leerzeichen rechts und links von alphanumerischen Zeichen umgeben, so ist es ein Begrenzer. Ansonsten wird es ignoriert. Deshalb können Leerzeichen zur besseren Lesbarkeit beliebig verwendet werden.

2.2.1.1 Beispiel

Beim Nova-Assembler sind folgende Zeichen Buchstaben:

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ.α

Numerische Zeichen sind 0123456789
Beide würden in den GEASM mit folgenden Definitionen eingeführt:

```
SYSCHAR = ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ.α0123456789 ; KLASSE 3
SYSZAHL = 0123456789       ; KLASSE 2
```

Operationszeichen sind die Zeichen +-/*!&"
Sie würden eingeführt als

```
SYSARITH = +-/* !&"+    ; KLASSE 4
```

Alle Zeichen, die nicht in einer der obigen Anweisungen auftreten, fallen automatisch in Klasse V (z.B. (),'#)

2.2.2 Definitionen

Ein Name ist eine nicht durch Begrenzer getrennte Kette alphanumerischer Zeichen, von denen mindestens ein Zeichen ein Buchstabe ist.

Eine Zahl ist eine nicht durch Begrenzer getrennte Kette numerischer Zeichen.

Ein arithmetischer Ausdruck besteht aus einer Aneinanderreihung von Namen, Zahlen und Operationszeichen. Dabei muß zwischen zwei Namen, Zahlen bzw. Name und Zahl mindestens ein Operationszeichen stehen. Ein arithmetischer Ausdruck wird rechts und links von Begrenzern arithmetischer Ausdrücke (Zeichen aus Klasse V) eingerahmt.

Eine Karte ist eine Zeichenkette aus 80 Zeichen. Ein Symbol ist ein Name, dem eine Bedeutung zugewiesen wird.

Eine Karte wird als in sich abgeschlossene Einheit betrachtet. Jede Karte hat folgendes allgemeine Format:

[label lbgr] [anweisung] [cbgr kommentar]

Dabei ist:

label: Ein Name, dem der entsprechende Wert des Programmzählers zugewiesen wird.

lbgr: Ein spezieller Begrenzer aus Klasse V, der den davorstehenden Namen als label kennzeichnet (Labelbegrenzer).

anweisung: Eine Anweisung an den Assembler.

cbgr: Ein spezieller Begrenzer aus Klasse V, der nachfolgende Zeichen als Kommentar kennzeichnet.

kommentar: Kommentar.

Es gibt 2 verschiedene Formate für Anweisungen. Eine dient der Definition der Assemblersprache oder der Definition in ihr benutzter Symbole. Das 2. Format ist das allgemeine Format der Assemblersprache.

1. Wertzuweisung, Symboldefinition
   name zbgr definitionswerte

name: ein Name, dem eine Bedeutung innerhalb des Assemblers gegeben werden soll,

zbgr: ein spezieller Begrenzer aus Klasse V, der Zuweisungsbegrenzer,

definitionswerte: definiert die Bedeutung von Name in der zu definierenden Assemblersprache.

2. Befehl der Assemblersprache

   aufhänger [bgr operandenliste]

aufhänger: definiert, welche Assembler-Funktion durchgeführt und wie die Operandenliste abgearbeitet wird, falls eine vorhanden ist,

bgr: ein Begrenzer ungleich lbgr, cbgr, zbgr,

operandenliste: eine Operandenliste.

2.2.2.1 Beispiele

Nach den Definitionen in 2.2.1.1 gilt:
Namen: HUGO , B102 , 1B5 , αS. , .EQ. , .
Zahlen: 0123 , 456 , 37000
Arithmetische Ausdrücke: HUGO + 1B5 * 12 + -DREI
753 * 5 / 1B - 15 +/*! 1777

Label- und Kommentarbegrenzer für den Nova-Assembler werden so definiert:

SYSLABBGR = :
SYSCOMBGR = ;

Dabei wird schon der Zuweisungsbegrenzer = benutzt. = ist der Default-Wert des Zuweisungsbegrenzers, der mit

SYSZUWEIS = >

z.B. auf > geändert werden kann. Eine nachfolgende Zahlendefinition müßte dann so aussehen:

SYSZAHL > 01234567 ; Werte für Oktalzahlen

Als Beispiel für eine Assembleranweisung gelte der Nova-Register-Register Befehl

opc [#] r1,r2,skc

Dabei entspricht opc dem Aufhänger, r1,r2,skc der Operandenliste und # oder das Leerzeichen dem Begrenzer bgr. Aber zu den Assembleranweisungen gehören nicht nur Maschinenbefehle, sondern auch Assemblerbefehle.

2.2.3 Syntax-Definition der Assemblersprache

In diesem und den folgenden Kapiteln 2.2.4 und 2.2.5 werden die möglichen Formate der Wertzuweisungen, insbesondere also nach 2.2.2 der Definitionswerte besprochen.

2.2.3.1 Syntax der Operandenlistendefinition

Die Operandenlistendefinition ist eine Wertzuweisung, über die die Syntax einer Operandenliste für Assemblerbefehle definiert wird.

Format:

op1 zbgr op11 [bgr op11 [bgr op11 ...]] [|op11 [bgr op11...]] [| op11...]

Hierdurch wird dem op1 die Form der rechts von zbgr stehenden Operandenliste zugewiesen. Die Striche | trennen verschiedene für diese Operandenliste zugelassene Möglichkeiten. Die op11 sind entweder selbst Namen einer Operandenliste, die wie oben das op1 definiert sind, oder aber Endelemente eel. Endelemente werden so definiert:

eel zbgr EL [,[fkt][([op1] [, [op2] [, op3]])]]

Über die Endelementdefinition wird den formalen op11 eine Bedeutung gegeben. Die Bedeutung ist durch fkt,op1,op2,op3 festgelegt. fkt gibt die Funktion an, die der Assembler ausführen soll, wenn er eel entdeckt. op1,op2,op3 sind zusätzliche Parameter für fkt.

Folgendes muß beachtet werden, wenn eine Operandenliste rekursiv definiert wird, d.h. derselbe Name taucht rechts und links von zbgr auf:

Ist dieser Name der erste Name nach zbgr, so wird er ignoriert und der darauffolgende Begrenzer bgr als linke Begrenzung der Operandenliste angesehen. Dies ist die einzige Möglichkeit, einen bestimmten Begrenzer als linke Begrenzung einer Operandenliste zu definieren.

Ist dieser Name nicht an erster Stelle, so liegt eine echte rekursive Definition vor.

Eine weitergehende indirekte Rekursion ist nicht möglich, da Syntaxelemente op11 definiert sein müssen, bevor sie in einer Definition auf der rechten Seite verwendet werden dürfen.

Spezielle Begrenzer wie zbgr, lbgr, cbgr und die Operationszeichen sind bei der Definition einer Operandenliste als bgr nur mit großer Vorsicht zu verwenden, da sonst unerwünschte Effekte auftreten können.

2.2.3.2 Beispiel

Die Beispiel-Operandenliste könnte folgendermaßen definiert werden:

```
R1=EL,SH(13,1,2)  ; Bedeutung von SH und Parametern siehe 2.4
R2=EL,SH(11,1,2)  ;
SKC=EL

ORR=R1,R2 | R1,R2,SKC   ; op1=eel,eel | eel,eel,eel
```

Diese Operandenliste ist nur mit Endelementen definiert. Eine andere Definitionsmöglichkeit wäre z.B.:

```
ORRH=R1,R2    ; Hilfsoperandenliste (op1=eel,eel)
ORR=ORRH | ORRH,SKC  ;  op1=op11 | op11,eel
```

2.2.4 Typdefinition

Über einen Typ werden einem Aufhänger eine Operandenliste sowie Schlüsselworte (Keywords) zugeordnet. Ein Schlüsselwort ist eine Zeichenkette (ohne Leerzeichen), welche an beliebiger Stelle einer Operandenliste stehen kann und dort in Bezug auf Begrenzung die Rolle eines Leerzeichens hat. Jedem Schlüsselwort ist ein Wert zugeordnet. Taucht ein Schlüsselwort in einer Operandenliste auf, so wird sein Wert auf den Wert des Aufhängers addiert.

2.2.4.1 Syntax der Typdefinition

```
typ zbgr   (op1,beflngth [,KEYW=keyw,keyval,keyw,keyval..])
```

Dabei ist beflngth die Länge des erzeugten Maschinencodes in adressierbaren Einheiten (näheres siehe 2.3).

keyw ist der Name des Schlüsselwortes und das dahinterstehende keyval sein Wert. Die maximale Zahl von Schlüsselworten je Typ ist eine System-Makro-Variable(5.2).

2.2.4.2 Beispiel

In unserem Beispiel existiert nur ein Schlüsselwort, das No-Load-Zeichen#. Die Länge der Register-Register-Befehle bei der Nova ist ein Maschinenwort, das entspricht einer adressierbaren Einheit, die 16 Bit lang ist (2.3). Das Setzen des No-Load-Bits im Maschinenwort geschieht, wenn die Oktalzahl 10 auf den Maschinencodewert addiert wird. Um im folgenden Oktalzahlen eingeben zu können, muß erst die Zahlbasis des GEASM vom Default-Wert 10 auf 8 gesetzt werden. Dies geschieht mit

```
SYSBASIS = 8    ; Zahlbasis ist 8 ab hier (siehe 5.1)
```

Die Typdefinition für Register-Register-Befehle sieht dann so aus:

```
TRR = (ORR,1,KEYW=# ,10) ; R-R-Typ
```

Dem Typ TRR sind zugeordnet die Operandenliste ORR, die Maschinencodelänge 1 adressierbare Einheit und das Schlüsselwort# mit dem Oktalwert 10.

2.2.5 Symboldefinitionen

Symboldefinitionen dienen dazu, Namen einen Zahlenwert, einen Typ und eine Funktion zuzuordnen. Typ und Funktion sind für ein Symbol nur wesentlich, wenn es als Aufhänger benutzt wird.

2.2.5.1 Syntax der Symboldefinition

symb zbgr arad [, [typ] [,cfkt]]

Dabei ist

arad: eine Zahl oder ein arithmetischer Ausdruck, der den Zahlenwert des Symbols ausmacht.

typ: ein durch eine Typdefinition definierter Typ
Default: keine Operandenliste, keine Schlüsselworte, beflngth=1

cfkt: eine Funktion, die der Assembler ausführen soll, wenn er das Symbol als Aufhänger antrifft.

Default: EXPR , d.h. werte den mit diesem Symbol beginnenden arithmetischen Ausdruck aus.

2.2.5.2 Beispiele

Einfache Beispiele für Symboldefinitionen sind

```
SZR=4    ; Code für SKC: skip if Register Zero
SNR=5    ; Code für SKC: skip if Register not Zero
```

Einige Register-Register-Befehle werden so definiert:

```
ADD=103000,TRR,OC   ; Addiere R1 auf R2
MOVL=101100,TRR,OC  ; Schiebe R1 eine Stelle nach links,
                    ; R2=Ergebnis
```

Dabei gibt die vorne stehende Oktalzahl den Wert des entsprechenden Maschinencodes an, wenn sämtliche möglichen Operanden und Schlüsselworte den Wert Null haben. TRR gibt den Typ an, so wie er in 2.2.4.2 definiert wurde. Damit ist den Symbolen ADD und MOVL auch die Operandenliste ORR zugeordnet.

OC bedeutet, daß der Assembler beim Auftreten der Symbole ADD und MOVL als Aufhänger die für Operationscodes gültige Funktion durchführen soll (siehe 2.4, 5).

2.2.6 Auswertung arithmetischer Ausdrücke

Arithmetische Ausdrücke werden ohne Rücksicht auf die Art der Operatoren von links nach rechts abgearbeitet. Folgen zwei Operatoren direkt aufeinander, so wird zwischen ihnen eine Null als Operand angenommen. Einzige Ausnahme hiervon ist ".
Folgende Operatoren sind zulässig: + - /* & | " .
Die Zeichen für die Operatoren können über die Systemvariable SYSARITH geändert werden. Im Beispiel in 2.2.1.1 wurde das Zeichen | für "oder" in ! umgewandelt, wie es im Nova-Assembler üblich ist.

Die Zeichen beinhalten folgende Operationen:

+ : Addition
- : Subtraktion
/ : Division
* : Multiplikation
& : Logisches Und - wird mit jedem Bit der Operanden durchgeführt
| : Logisches Oder - wird mit jedem Bit der Operanden durchgeführt
" : gibt an, daß als Wert des Operanden der ASCII-Code des unmittelbar auf " folgenden Zeichens genommen wird. Alle weiteren alphanumerischen Zeichen und Leerzeichen bis zum nächsten Begrenzer werden ignoriert.

2.3 Maschinenbeschreibung

Für die Umsetzung einer Assemblersprache in den Maschinencode sind zwei Dinge ausschlaggebend:

I die Länge der kleinsten von der Maschine adressierbaren Speichereinheit

II die Zuordnung der ermittelten Symbol- bzw. Operandenwerte zu einzelnen Bits im Operationscode

Die Länge der kleinsten adressierbaren Einheit (in Bits) wird je Sprachdefinition als konstant angesehen und kann über Systemparameter definiert werden. Dabei wird mit SYSEINHEIT die maximale Länge eines Bit-Abschnitts definiert, der beim Listen des Maschinencodes in einer Zeile stehen soll, und mit SYSWOCNT die Anzahl dieser Stücke je adressierbarer Einheit. Der maximale Wert für SYSEINHEIT ist 24, der für SYSWOCNT ist begrenzt durch die System-Makro-Variable PSYSBEFL.

Der Zusammenbau der Symbolwerte zu einem Maschinencode wird von den Symbolwerten, der Syntax einer Anweisung und den zugehörigen Funktionen fkt in der Endelementdefinition der Syntax gesteuert. Dabei kann ein Befehl mehrere adressierbare Einheiten lang sein. Die Begrenzung bildet wiederum PSYSBEFL, denn es muß gelten:

Befehlslänge (in adressierb. Einheiten) * SYSWOCNT $\leq$ PSYSBEFL

2.4 Verbindung von Sprache und Maschinencode

Die Umsetzung der Assemblersprache in den Maschinencode geschieht, wie in 2.2 und 2.3 angedeutet, über die Funktionen fkt und cfkt. fkt ist dem Syntax-Endelement zugeordnet, cfkt dagegen dem einzelnen Symbol. Stößt der Assembler bei der Analyse einer Karte auf einen Aufhänger, so wird dessen cfkt ausgeführt.

2.4.1 Die wesentlichen Funktionen

Für die Erstellung des Maschinencodes sind folgende eingebaute cfkt-Funktionen wesentlich:

I EXPR
Hat ein Aufhänger die cfkt EXPR, so wird die gesamte auf der Karte stehende Anweisung als ein arithmetischer Ausdruck aufgefaßt, dessen Wert ermittelt und in einer adressierbaren Einheit untergebracht. Der Programmzähler wird um 1 erhöht. Eine Zahl, ein Label oder ein mit Operationszeichen beginnender Aufhänger haben automatisch die cfkt EXPR.

II OC
Die cfkt OC macht den Aufhänger zum Operationscode. Die Karte wird auf Schlüsselworte untersucht und, falls vorhanden, deren Wert auf den Wert des Aufhängers addiert. Der so ermittelte Wert bildet die Basis für den Maschinencode. Dieser wird weiter aufgebaut durch Abarbeitung der Operandenliste und Ausführen der Endelement-Funktionen fkt mit den Werten der den Syntaxelementen entsprechenden Operanden. Der Programmzähler wird um die Befehlslänge beflngth erhöht.
Da die meisten Maschinencodes jeden Operandenwert in einer zusammenhängenden Bitkette unterbringen, existiert eine eingebaute Endelementfunktion SH, welche es ermöglicht, Maschinencodes aus Bitketten aufzubauen. Lage und Länge der Bitkette innerhalb des Maschinencodes werden in der Endelement-Definition über die Parameter op1, op2 und op3 festgelegt:

eel = EL [,[SH] [([shift] [,[wortnr] [, oplngth]])]]

Dabei bedeutet:

shift: Anzahl der Bits, die der Operand nach links geschoben werden soll. Default: 0

wortnr: Nummer des Bitstücks innerhalb des Befehls relativ zum Befehlsanfang, in das der Operand eingesetzt werden soll. Default: 1 ,d.h. 1. Bitstück des Befehls. wortnr darf nicht größer als die dem Aufhänger zugeordnete Befehlslänge (beflngth) sein.

oplngth: Länge des Operanden in Bits, Default: Länge des Bitstücks minus shift.

SH definiert die Einsetzfunktion. Es kann bei der Endelementdefinition weggelassen werden, da es der Default-Wert für fkt ist.

Für kompliziertere Möglichkeiten des Code-Zusammenbaus sowie für variable Befehlslängen kann der Benutzer eigene fkt bzw. cfkt in PL/I schreiben, die entweder vorhandene Funktionen ersetzen oder als neue Funktionen in den GEASM integriert werden können. Näheres über existierende Funktionen steht in 5., über die Möglichkeit eigene Funktionen zu schreiben in 4. .

2.4.2. Beispiel

Das Beispiel der Endelementdefinitionen für den Register-Register-Befehl steht in 2.2.3.2 . Es lautete

```
R1=EL,SH(13,1,2)
R2=EL,SH(11,1,2)
SKC=EL
```

Nehmen wir an, daß irgendwo im Programm der Befehl

```
ADD  1,2,SNR
```

auftaucht.

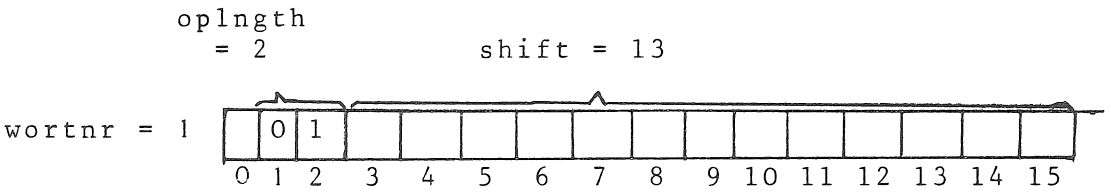
Der GEASM entdeckt als Aufhänger das Symbol ADD. Über dessen Definition erfährt er, daß dies ein Operationscode mit dem Typ TRR ist. Da das Schlüsselwort # nicht im Befehl vorkommt,

wird dem zu erstellenden Maschinencode der Wert des Symbols ADD zugewiesen und anschließend die Operandenliste ORR abgearbeitet. Wäre # im Befehl gewesen, so wäre auf den bisherigen Wert des Maschinencodes der Wert des Schlüsselwortes aufaddiert worden.

Bei der Analyse der Operandenliste wird folgende Zuordnung zwischen Syntax-Endelementen und auf der Karte angegebenen Werten gefunden:

R1 → 1
R2 → 2
SKC → SNR mit Wert 5

Bei der Definition von R1 und R2 wurde die Funktion SH angegeben, die aufgrund der Werte für shift, wortnr und oplngth die Werte 1 und 2 an die entsprechenden Bitstellen im Maschinenwort einsetzt. Beispiel R1:



Bei der Definition von SKC wurde nur EL angegeben.

Die Default-Werte entsprechen einer Definition

```
SKC = EL,SH(0,1,16)
```

da bei der Nova eine adressierbare Einheit = 1 Bitstück 16 Bit lang ist. Deshalb wird der Wert 5 in die rechten drei Bitstellen des Maschinenwortes eingesetzt. Will man sichergehen, daß der Skipcode nicht länger als drei Bitstellen wird, so wäre folgende Definition vorzuziehen:

```
SKC = EL, SH(0,1,3)
        oder
SKC = EL,(,,3)        ; Default-Werte
```

3. Programmaufbau

3.1 Allgemeines

Definitionssprache und definierte Assemblersprache werden im selben Eingabestrom in den GEASM eingegeben. Die Umsetzung der Eingabekarten in den Maschinencode erfolgt in zwei Schritten.

Im ersten Schritt wird die Definitionssprache verarbeitet, Befehlslängen festgestellt und den Labeln Werte zugewiesen. Außerdem können im ersten Schritt Definitionen von einer Datei geholt bzw. auf eine Datei geschrieben werden, Eingabekarten von einer Bibliothek in den Eingabestrom kopiert werden und Operationscode- und Syntax-Definitionen gelistet werden.

Im zweiten Schritt werden Maschinencodes berechnet und Assemblerfunktionen (außer den oben erwähnten) durchgeführt. Syntax- und Typdefinitionen werden nicht ausgewertet, Wertzuweisungen jedoch nochmals durchgeführt.

Aus diesem Ablauf ergibt sich, daß in Typ- und Syntaxdefinitionen auftretende Namen vorher definiert sein müssen. Bei Wertzuweisungen ist dies nicht nötig, sofern diese Werte keine Rolle bei der Feststellung der Länge der Maschinencodes spielen. Anderenfalls kann eine falsche Adresszuordnung zu Labeln die Folge sein.

3.2 Benutzte Tabellensysteme

Es werden drei verschiedene Tabellensysteme benutzt, je eins für

- Typdefinitionen
- Operandenlistensyntaxdefinitionen
- Symboldefinitionen

Jeder Tabelleneintrag in jeder Tabelle besteht aus einem Namen und einem Pointer auf die zum Namen gehörende Beschreibung. Die Einträge in jeder Tabelle sind alphabetisch nach dem Namen geordnet.

Die zu jedem Namen gehörende Beschreibung hat für jede Tabelle ein anderes Format. Alle diese Beschreibungen werden dynamisch in einer AREA angelegt, d.h. in einem speziell für diesen Zweck vorgesehenen Speicherbereich. Dies ermöglicht es, einmal festgelegte Definitionen zu retten bzw. wieder zu laden.

Die Formate der verschiedenen Beschreibungstypen sind im Folgenden in PL/I angegeben.

3.2.1 Syntax-Definitionen

```
DCL
1 GREL BASED(PGR),
  2 PSO OFFSET(TAREA),     /*Zeiger auf Sohn*/
  2 PDA OFFSET(TAREA),     /*Zeiger auf Fortsetzung */
  2 PBR OFFSET(TAREA),     /*Zeiger auf Alternative* /
  2 ENDFKTN CHAR(4),       /*Endelement-Funktion*/
  2 WNAME,                 /*Parameter für fkt*/
    3  SH    BIN FIXED,
    3  WORTNR BIN FIXED,
    3  OPLNGTH BIN FIXED,
  2 BEGR CHAR(1);          /*Begrenzung des Elements*/
```

Für ein Endelement ist PSO = Null, d.h. er zeigt das Ende einer Liste an. In diesem Fall wird die Endelementfunktion ausgeführt, die zu ENDFKTN gehört. Dabei kann WNAME als Parameter für die Funktion benutzt werden.

Für ein Nicht-Endelement zeigt PSO auf ein weiteres Syntaxelement. PDA gibt die Fortsetzung einer Operandenliste an, PBR eine alternative Operandenliste.

BEGR ist für jedes Syntax-Element gültig und gibt die rechte Begrenzung der zugeordneten Operanden an. Ist diese auf einer Karte ungleich BEGR, so wird die alternative Definition genommen oder, falls diese nicht vorhanden ist, ein Fehler angezeigt.

3.2.2 Typdefinition

```
DCL
1 TYPEL BASED(PTYP),
  2 PTSYNTEL OFFSET(TAREA),   /*Zeiger auf Operandenlistendef.*/
  2 TYPBEFLNGTH BIN FIXED,    /*Befehlslänge (in Bitstücken)*/
  2 LKEYW   BIN FIXED,        /*Zahl der Schlüsselworte */
  2 AAA(PSYSKEYM),            /*Array mit Schlüsselworten u.-werten*/
    3 KEYW CHAR(SYSNAML),.    /*Schlüsselwort* /
    3 KEYVAL  BIN FIXED(31); /*Schlüsselwortwert*/
```

3.2.3

```
DCL
1 CODEL BASED(PCOD),
  2 CODWERT BIN FIXED(31),    /*Symbolwert */
  2 PCODTYP OFFSET(TAREA),    /*zugehöriger Typ */
  2 PXREF  POINTER,           /*Zeiger auf Cross Reference Table */
  2 CFKTN  CHAR(4);           /*Aufhängerfunktion*/
```

3.2.4 Zusammenhang der Tabellen

Figur 1 gibt den logischen Zusammenhang der Tabellen an. Dabei ist zu beachten, daß von jedem definierten Syntaxelement bei der Benutzung eine Kopie gemacht wird, um eine Mehrfachbenutzung schon definierter Syntaxelemente möglich zu machen.

Dies ist nötig, da sich bei jeder Wiederbenutzung PDA, PBR und BEGR ändern können. Da Assemblersprachen im allgemeinen eine verhältnismäßig einfache Grammatik haben, ist der zusätzliche Speicherbedarf von 10 Bytes je Verwendung in Kauf genommen worden, um den Listenaufbau nicht durch verschiedene Kontrollblocktypen zu kompliziert zu gestalten.

3.3 Beispiel der Tabellenbenutzung

Als Beispiel sei der Nova-ADD-Befehl genommen. Die Definitionen dafür sahen so aus:

```
R1=EL,SH(13,1,2)
R2=EL,SH(11,1,2)
SKC=EL,SH(0,1,3)

ORR=R1,R2 | R1,R2,SKC
SYSBASIS=8    ; ab jetzt Oktalwerte
TRR=(ORR,1,KEYW=# ,10)

SZR=4
ADD=103000,TRR,OC
```

Das daraus sich ergebende Tabellensystem zeigt Figur 1.
Die Abarbeitung eines ADD-Befehls, z.B.

```
ADD   1,2,SZR
```

geschieht so:

Der GEASM entdeckt den Aufhänger ADD und erfährt über die Symboltabelle, daß er die Aufhängerfunktion OC ausführen soll. Diese Funktion errechnet den Maschinencode für Befehle fester Länge. Über das Symbolelement erfährt der GEASM den Codewert für ADD und die Adresse des Typs. Im Typ stehen die für ADD möglichen Schlüsselworte. Da keines auf der Karte vorhanden ist, wird gleich die Operandenliste abgearbeitet. Über den Sohn-Pointer PSO des Syntaxelements ORR wird das Syntaxelement R1 gefunden. Dessen Sohn-Pointer ist NULL, es ist also ein Endelement. Nun wird auf der Karte der erste Operand gesucht und dessen Begrenzung mit der Soll-Begrenzung von R1 (,) verglichen. Beides stimmt überein, und die Endelementfunktion SH wird mit dem Operandenwert 1 durchgeführt, d.h. die 1 an entsprechender Stelle in den Maschinencode eingesetzt. Als nächstes wird über den Data-Pointer PDA von R1 das Endelement R2 und der zugehörige Operand auf der Karte gefunden. Der Sollbegrenzer von R2 ist aber N, d.h. kein Begrenzer mehr oder ein Kommentarbegrenzer.

Dies stimmt nicht mit dem Komma auf der Karte überein, also wird bei R2 eine Alternative gesucht. Da PBR bei R2 Null ist, wird wieder zu R1 zurückgegangen und dort eine Alternative gesucht und auch gefunden. Diese wird nun wie eben beschrieben abgearbeitet und kommt diesmal zu einem richtigen Ende, da nach dem Skipelement SKC kein Begrenzer mehr auf der Karte folgt. Wäre dies nicht der Fall, so läge entweder ein Syntaxfehler auf der Karte oder eine falsche Syntaxdefinition vor.

Wie man sieht, ist die Eindeutigkeit einer Operandenlistendefinition nur abhängig von der Länge der Operandenliste und der Art der Begrenzer. Soll ein Symbol zwei verschiedene Operandenlisten gleicher Länge haben, so muß mindestens ein Begrenzer bei beiden Alternativen verschieden sein, sonst wird nur die erste oder gar keine genommen.

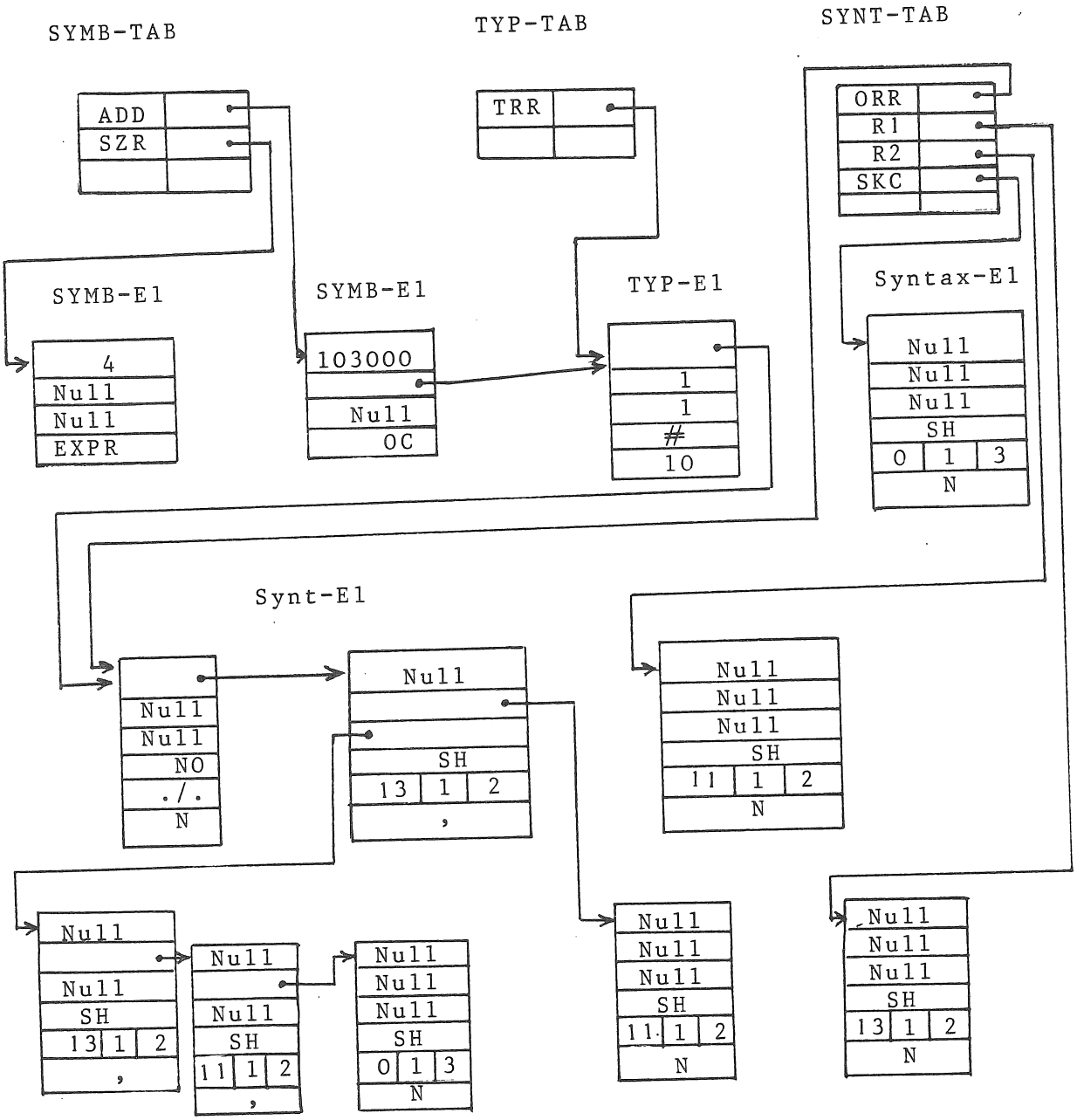


Fig. 1 Beispiel-Tabellensystem: alle Zahlen oktal

4. Schreiben von Funktionen durch den Benutzer

Benutzerfunktionen sollten in PL/I geschrieben sein. Es können über Makros und spezielle Deklarationen vom Assembler Werte zur Verfügung gestellt werden, welche die Benutzerfunktion benutzen und manipulieren kann.

4.1 Vom Assembler erhältliche Werte

Über die Makros SYSASM und TABDEF können Systemvariable und Tabellen mit Syntax-, Typ- und Symboldefinitionen zur Verfügung gestellt werden. Weiter kann mit

```
DCL
1 INPASS2 EXT,
  2 CARD2 CHAR(80),              /*Eingabekarte*/
  2 ERROR BIN FIXED,             /*Fehlernummer*/
  2 CODLNGTH BIN FIXED,          /*Länge des Codes*/
  2 LOCATION BIN FIXED;          /*Adresse des Codes*/
```

die Eingabekarte sowie Fehlernummer und Code-Länge erhalten bzw. gesetzt werden.

Der Befehlscode kann nach einem % INCLUDE SYSASM; mit
DCL BEFCODE(PSYSBEFL) BIN FIXED(31) EXT; erhalten werden.
Die Bedeutung der Systemvariablen und Tabellendefinitionen ist dem Anhang zu entnehmen.

4.2 Endelement-Funktionen

Endelement-Funktionen sind die Funktionen, die einem Syntax-Endelement angehören. Diese Funktionen erhalten folgende Parameter:

1.) ein Pointer auf die Beschreibung des Syntax-Endelementes. Insbesondere können die drei Halbworte op1, op2, op3 erhalten werden, die in der Endelement-Definition angegeben werden können.

2.) der bisher erhaltene berechnete Wert (i.a. Maschinencode)

3.) der Wert des Operanden auf der Eingabekarte, der verarbeitet werden soll.

Darüberhinaus stehen die in 4.1 erwähnten Werte zur Verfügung. Soll eine Funktion neu hinzugefügt werden, so muß eine entsprechende Änderung im Modul ENDFKT durchgeführt werden, wobei der Funktion ein maximal 4 Zeichen langer Name gegeben werden muß, unter dem sie später einem Endelement zugeordnet werden kann. Dieser Name kann verschieden vom Namen der Subroutine sein, die die Funktion durchführt.

4.3. Aufhänger-Funktionen

Eine Aufhänger-Funktion ist jedem Symbol zugeordnet und wird durchgeführt, wenn dieses Symbol als Aufhänger angetroffen wird.
Einer Aufhänger-Funktion werden folgende Parameter übergeben:

1.) Ein Pointer auf die dem Symbol zugehörende Beschreibung - darüber sind insbesondere Wert und Typ des Symbols zu erfahren.

2.) Die Karte, die gerade bearbeitet wird

3.) Ein Index auf der Karte, der auf den zuletzt nach diesem Symbol gefundenen Begrenzer zeigt.

Wird direkt nach dem Namen der Benutzer-Aufhängerfunktion das Makro CODFKT gerufen, so werden die Deklarationen für die Parameter sowie die Werte, die sonst über das Makro SYSASM zu erhalten sind, zur Verfügung gestellt. Außerdem können die übrigen in 4.1 erwähnten Größen verwendet werden.

Wird eine neue Aufhänger-Funktion den bestehenden hinzugefügt, so muß eine entsprechende Änderung im Modul CFKT durchgeführt werden. Dabei wird der Funktion ein maximal vier Zeichen langer Name gegeben, unter dem sie später einem Symbol zugeordnet

werden kann. Dieser Name kann verschieden von dem der Subroutine sein, welche die Funktion durchführt.

4.4 Setzen von Fehlercodes

Tritt bei der Durchführung einer Benutzerfunktion ein Fehler auf, so kann durch die Subroutine FEHLER ein Fehlercode gesetzt werden, der mit der Karte, auf der der Fehler auftrat, gelistet wird. Ein Text, der den Fehler beschreibt, kann in einer Datei mit Fehlermeldungen hinterlegt werden und erscheint unter den Fehlermeldungen in der Ausgabeliste. Der Fehlercode besteht aus einer Zahl zwischen 1 und 90. Diese Zahl entspricht der Nummer der Fehlermeldung in der Fehlermeldungs-Datei. Deshalb müssen diese Fehlernummern sequentiell ansteigend von den bereits existierenden an vergeben werden. Eine Liste der schon existierenden Fehlermeldungen befindet sich im Anhang (5.6).

4.5 Loadmodul-Ausgabe

Die Loadmodul-Ausgabe erfolgt durch die Subroutine PUNCH. Sie ist momentan für absolute Nova-Loadmoduln ausgelegt, insbesondere zum Laden der Novas durch das IPS-System am DESY-Rechenzentrum. Die Subroutine PUNCH erstellt den Loadmodul aus einem Loadblock, der folgendermaßen aussieht.

```
DCL
1 LOADBLK EXT,
  2 MINWC  BIN FIXED,        /*DATA WORD COUNT*/
  2 LOC    BIN FIXED,        /*START ADDRESS OF THIS BLOCK*/
  2 CHECKSUM BIN FIXED,
  2 DATA(16) BIN FIXED;
```

Es ist zu beachten, daß für SYSEINHEIT > 16 die adressierbaren Einheiten verstümmelt in LOADBLK enthalten sind. In diesem Falle müßte LOADBLK geändert werden, ebenso wie die Routinen LOADM, ASMBLK, ASMLOC, ASMEND. Jedes DATA-Wort enthält eine adressierbare Einheit. Diese folgen ab der Adresse LOC sequentiell aufeinander. Ein neuer Block wird geschrieben, wenn alle

16 DATA-Worte voll sind oder eine Assembleranweisung durchgeführt wird, die eine der Routinen ASMBLK, ASMLOC bzw. ASMEND ruft und so die sequentielle Erhöhung des Programmzählers unterbricht.

Die CHECKSUM muß, falls benötigt, durch die Subroutine PUNCH berechnet werden. Nach Ausschreiben des Loadmoduls muß PUNCH den DATA-Wort-Zähler wieder auf Null setzen.

5. Anhang

5.1 System-Assembler-Variable

Name	Default-Wert	Beschreibung
SYSLABBGR	:	Label-Begrenzer (lbgr - 2.1.2)
SYSCOMBGR	;	Kommentar-Begrenzer (cbgr - 2.1.2)
SYSZUWEIS	=	Zuweisungsbegrenzer (zbgr - 2.1.2)
SYSPCHAR	.	Zeichen für gegenwärtiger Wert des Programmzählers
SYSPC		Programmzähler
SYSEINHEIT	16	Länge des je Zeile zu listenden Bitstücks des Maschinencodes ($\leq$ 24)
SYSBASIS	10	Zahlbasis für Ein- und Ausgabe
SYSLASCHAR	72	letzte gültige Stelle auf der Karte ($\leq$ 80)
SYSCHAR	'ABCDEFGHIJKLMN OPQRSTUVWXYZ α# $1234569890.'	alphanumerische Zeichen (2.1.1)
SYSWOCNT	1	Zahl der Bitstücke (SYSEINHEIT) je adressierbarer Einheit
SYSZÄHL	'0123456789'	numerische Zeichen
SYSARITH	'+-/*&|"+'	arithmetische Zeichen - String muß 8 Zeichen lang ohne Leerzeichen sein - deshalb Wiederholung des +
SYSXREF	'0'B	= 1 : Cross Reference erwünscht

Die System-Assembler-Variablen können durch entsprechende Anweisungen bei jedem Lauf des GEASM über dessen Eingabekarten geändert werden.

5.2 System-Makro-Variable

Name	Default	Beschreibung
SYSNAML	12	max. Länge der Namen (in Zeichen)
PSYSSYNTM	100	maximale Zahl von Syntaxelementen
PSYSKEYM	3	max. Zahl Schlüsselworte je Typ
PSYSTYPM	100	max. Zahl von Typdefinitionen
PSYSBEFL	36	max. Zahl durch SYSEINHEIT def. Bitstücke je Befehl
PSYSCODM	2000	max. Zahl von Symbolen
PSYSAREAL	32700	Speicherplatz (Bytes) für Definitionen

System-Makro-Variable definieren GEASM-Eigenschaften während dessen Kompilierung. Werden sie neu definiert, so muß anschließend der GEASM neu übersetzt und gebunden werden.

5.3 Verfügbare Funktionen

In Klammern geschriebene Subroutinen-Namen existieren nicht als Subroutine, sondern sind Teil der Subroutinen CFKT bzw. ENDFKT. Spezielle Funktionen für den Nova-Assembler sind durch (NOVA) gekennzeichnet.

5.3.1 Aufhänger-Funktionen

Name	Code	Beschreibung
ASMBLK	ABLK	Erhöht den Programmzähler um den Wert des einen Operanden
ASMEND	AEND	Schreibt den Endblock für den Loadmodul (Nova)
ASMLOC	ALOC	Setzt den Programmzähler auf den Wert des Operanden
ASMTXT	ATXT	Nimmt das 1. Zeichen ≠ Leerzeichen als Begrenzer der nachfolgenden Zeichenkette und wandelt sie in ASCII-Code um. In Abhängigkeit vom letzten vorher gegebenen ASMTXTM werden je 2 Zeichen in ein 16-Bit-Wort gepackt. Am Schluß der Kette folgt mind. ein 0-Byte (NOVA).
ASMTXTM	TXTM	Operand = 1: Text wird von links nach rechts in die Worte gepackt. Operand ≠ 1: Text wird von rechts nach links in die Worte gepackt.
BEGSIM	BSIM	Benutzung eines 2. Programmzählers für Simulationen sowie anderer Länge addr. Einheiten.
COPY	COPY	Operanden: MEMBER , DSN COPY holt das MEMBER von der Bibliothek DSN über die DD-Karte MACLIB und fügt es in die Eingabe ein. Wird DSN nicht spezifiziert, so wird der vorherige Wert von DSN verwendet. Wird beim ersten COPY kein DSN angegeben, so ist DSN=R01WIM.GEASM.MACLIB.DATA
ENDSIM	ESIM	Zurückschalten auf alten Programmzähler bei Ende des zu simulierenden Programms
EXPR	EXPR	Auswertung der Karte als Datenwort. Sie darf außer Label und Kommentar nur einen arithmetischen Ausdruck enthalten (siehe 2.3)
GETDF	GETD	Hole Definitionen über die DD-Karte, deren DD-Name als Operand angegeben ist. (Default: SYSGETD)
LISTG	GR	Liste Grammatik -Definitionen
LISTO	LOPC	Liste alle Symbole mit der Funktion OPCODE
MCOPY	MCOP	Operanden: Member, DSN; wie Copy, nur daß die DD-Karte MACLIB nicht benutzt wird und deshalb im gleichen Lauf mehrere verschiedene Bibliotheken benutzt werden können.

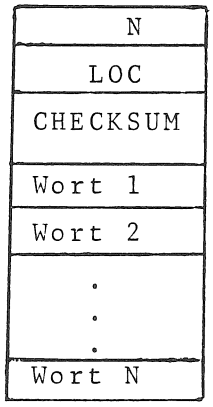
(NOFKT)	NO	Tue gar nichts (evtl. Operanden sind Kommentar)
OPCODE	OC	Werte die nachfolgende Operandenliste entsprechend der Typ-Definition aus und berechne den Maschinencode (siehe 2.3).
SAVE	SAVE	Rette alle bisherigen Definitionen über die DD-Karte, deren DD-Name als Operand angegeben ist (Default: SYSSAVE).

5.3.2 Endfunktionen

Name	Code	Beschreibung
ADDRESS	ADDR	Setzt, falls der entsprechende Operand zwischen 0 und 225 liegt, die Adresse absolut in den Maschinencode ein. Anderenfalls wird eine Adressierung relativ zum Programmzähler vorgenommen (Nova).
(BEGR)	BEGR	Der Operand dient als Begrenzer und muß genauso geschrieben sein, wie in der Syntax definiert. Es gibt keine Auswirkung auf den Maschinencode. Die maximale Länge des Begrenzers beträgt 6 Zeichen.
SHIFT	SH	Siehe 2.3

5.4 Loadmodul-Format

Ein durch die Subroutine LOADM erstellter Loadmodulblock hat folgendes Format:



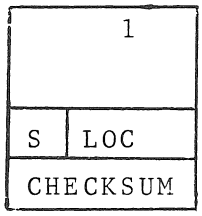
Anzahl der Maschinencode-Worte

Adresse des ersten Wortes

Dieser Wert, addiert zu allen anderen, ergibt als Summe Null

Maschinencode - Worte

Jedes Feld des Blockes ist 2 Bytes lang. Sollte dies nicht ausreichen, so ist das Format des LOADBLK zu ändern (siehe 4.5). Der Endblock, der durch die Subroutine ASMEND geschrieben wird, hat folgendes Format:



Kennzeichnung des Endblocks / nur für Nova eindeutig, da dort jeder Block statt N - N als erstes Wort enthält.

Wie oben

Hat das Bit S den Wert 1, so sollte das Ladeprogramm nach dem Endblock ein neues Programm laden können. Ist S dagegen 0, so springt das Ladeprogramm an die durch LOC angegebene Adresse und führt das geladene Programm von dort aus.

5.5 Benutzte Dateien

DD-Name	Beschreibung
LIST	Ausgabedatei für Listen von Syntax-Definitionen und OPCODE-Definitionen
MACLIB	Bibliothek, von der mit COPY Programmstücke in den Eingabestrom kopiert werden können
SYSERR	Seq-Datei mit Fehlermeldungen
SYSGETD	Seq-Datei, von der Sprachdefinitionen geholt werden können
SYSIN	Eingabedatei für Karten
SYSPRINT	Ausgabedatei für Liste der Eingabekarten und des erstellten Codes sowie Fehlermeldungen und Cross Reference Tabelle
SYSSAVE	Datei zum Retten von Sprachdefinitionen
TEMP	temporäre Arbeitsdatei
XVOLSER	für jedes Volume XVOLSER, auf dem sich benutzte Makrobibliotheken befinden können, eine DD-Karte //XVOLSER DD UNIT=...,VOL=SER=XVOLSER,DISP=OLD

5.6. Fehlermeldungen

Fehler-Nr.	Text
1	Falsches Zuweisungsformat
2	Symbol nicht definiert
3	Symbol-Tabelle voll
4	Typ wird redefiniert
5	Falsches Format bei Typ-Definition
6	Aufhänger ist nicht definiert
7	Label ist mehrfach definiert
8	Typ ist nicht definiert
9	Symbol wird redefiniert
10	Syntax-Endfunktion ist nicht bekannt
11	Syntax-Element ist nicht bekannt
12	Syntax-Definition ist unvollständig
13	Syntax-Element wird redefiniert
14	Falsche Operandenliste
15	Adressen-Displacement ist unzulässig
16	Adresse <0 ist nicht möglich
17	Aufhänger-Funktion ist nicht bekannt
18	Unzulässiger Begrenzer am Kartenanfang
19	Ausdruck ist falsch
20	Text ist zu lang - erhöhe PSYSBEFL und übersetze GEASM neu
21	Operandenplatz ist schon belegt
22	Operandenwert ist zu groß
23	Fehler beim MACRO-Lesen - DSN,DDN,Member richtig?
24	Text - Syntax ist falsch - > fehlt
25	Falsche Parameterliste bei Aufhängerfunktion

CARDNO LOCATION VALUE

INPUT CARD

ERROR NR.

```
      ; BEISPIEL
      ; MICROPROGRAMM FUER EINEN I/O-KANAL VON PDP15 ZUR DATA LINE (DL)
      ; WORTLAENGE DES MICROPROGRAMMS IST 16 BIT

      ; MIKROPROGRAMM - ALLGEMEINE DEFINITIONEN
     LISTO=0,,LOPC
     LISTG=0,,GR
     .LOC=0,,ALOC
              SYSBASIS=10

      ; SYNTAX
     GOTO=EL,BEGR
     PULSE=EL,BEGR
     LAB=EL,SH(12)
     PP=EL,SH(,,4)
     D=EL,SH(7,,1)
     LEV=EL,SH(,,7)
     GE=GOTO LAB
     PE=PULSE PP
     CC=EL,SH(8,,4)
     OIF=CC GE|CC GE,PE|CC GE,LEV D
     OPU=PP
     OGO=LAB,PE | LAB
     OLE=D,PE | D

      ; TYPEN
     TIF=(OIF,1)
     TGO=(OGO,1)
     TPU=(OPU,1)
     TLE=(OLE,1)

      ; OPCODES
         SYSBASIS=8   ; AB HIER OKTALZAHLEN
     IF=0,TIF,OC
     GOTO=400,TGO,OC
     PULSE=0,TPU,OC
     TWS=1*20 ,TLE,OC   ; TRANSMITTER WORD SELECT - DATA OR FROMTO
     DATAWORD=2*20 ,TLE,OC   ; DATA FROM PDP15 OR ZEROS
     MODFEIT=3*20 ,TLE,OC   ; WORD IS DATA OR END OF RECORD(EOR)
     RWS=4*20 ,TLE,OC   ; RECEIVER WORD SELECT - DATA OR FROMTO

      ; MIKROPROGRAMM DL-> PDP15  (INPUT)
      ; CONDITION CODES
     CHRUN=7            ; CHANNEL IN RUN STATE
     NOT.HLT=10
     NPREADY=11         ; DL-RECEIVER NOT READY
     ENDCOND=12         ; END CONDITION FOR DATA TRANSFER
     DCHIBUSY=13        ; INPUT TO PDP15 BUSY
     N.TWCZRO=14        ; WORD COUNT ¬= 0
      ; D-FIELD
     DATA=1          ; DATA WORD IST DATA,NOT ZERO
     FROMTO=0        ; WORDSELECT : FROMTO OR DATA
      ; PULSE
     DEMAND=5        ; DL-QUITTUNG
     STDCHIN=6       ; START INPUT OF ONE WORD TO PDP15
     APIIN=7         ; READY-EVENT TO PDP15
     M.FT.PAR=10
```

```
CARDNO LOCATION    VALUE                          INPUT CARD                                    ERROR NR.

   58                                                                                          00005800
   59                    ; PROGRAMM                                                            00005900
   60                       .LOC 0  ; STARTADRESSE 0                                           00006000
   61          0      43500 STARTIN: IF CHRUN GOTO TSTDL, RWS FROMTO  ; TESTE AUFTRAG VON PDP15 00006100
   62          1       4000          IF NOT.HLT GOTO STARTIN                                  00006200
   63          2       4400          IF NRREADY GOTO STARTIN                                  00006300
   64          3        405 DLQUIT:  GOTO STARTIN, PULSE DEMAND       ; QUITTIERE DL-SENDUNG  00006400
   65                    ;                                                                     00006500
   66          4       4400 TSTDL:   IF NRREADY GOTO STARTIN   ; DL-INPUT?                   00006600
   67                    ;                                                                     00006700
   68          5         10          PULSE M.ET.PAR            ; YES                         00006800
   69          6        300          RWS DATA   ; RECEIVER WORDSELECT = DATA                 00006900
   70          7     135000          IF ENDCOND GOTO CHEND    ; CHANNEL END?                 00007000
   71         10          6          PULSE STDCHIN   ; NO - START INPUT TO PDP15            00007100
   72         11     115400          IF DCHTBUSY GOTO .        ; WAIT UNTIL PDP15 READY     00007200
   73         12      36000          IF N.TWCZRO GOTO DLQUIT   ; WORDCOUNT = 0?             00007300
   74                    ;                                                                     00007400
   75         13      30407 CHEND:  GOTO DLQUIT, PULSE APIIN ; YES - EVENT TO PDP15         00007500
   76                    ;                                                                     00007600
   77                                                                                          00007700
   78                    ; MICROPROGRAM PDP15 -> DL  (OUTPUT)                                  00007800
   79                       .LOC 0    ; BEGIN WITH ADDR 0                                     00007900
   80                    ; CONDITION CODES                                                     00008000
   81                   NOT.GO=2         ; NOTHING TO WRITE FROM PDP15                       00008100
   82                   N.TREADY=3       ; DL-TRANSMITTER NOT READY                          00008200
   83                   DCHOBUSY=4       ; WORDTRANSFER PDP15 TO CHANNEL  IS BUSY            00008300
   84                   RWCZERO=5        ; WORD COUNT IS ZERO                                00008400
   85                   NDLRESET=6       ; NO DL-RESET                                       00008500
   86                    ; D-FIELD (TWS)                                                      00008600
   87                    ; (DATAWORD)                                                         00008700
   88                   PDP15=0          ; DATA FROM PDP15                                   00008800
   89                   ZERO=1           ; DATA IS ZERO                                      00008900
   90                    ; (MODEBIT)                                                         00009000
   91                   DAT=1             ; WORD IS DATA                                     00009100
   92                   EOR=0             ; WORD IS EOR                                      00009200
   93                    ; PULSES                                                            00009300
   94                   DCHOUT=1         ; GET WORD FROM PDP15                               00009400
   95                   APIOUT=2         ; READY-EVENT TO PDP15                              00009500
   96                   WRITE=3                                                             00009600
   97                   WRT.STRT=4       ; WRITE FROMTO, START WRITING TO DL                 00009700
   98                    ;                                                                  00009800
   99          0       1000 STARTOUT:IF NOT.GO GOTO STARTOUT      ; TESTE AUFTRAG VON PDP15 00009900
  100          1       1620          IF N.TREADY GOTO STARTOUT, TWS DATA                   00010000
  101                    ;                                                                  00010100
  102          2         41 OUTPUT:  DATAWORD PDP15, PULSE DCHOUT         ; KANAL AKTIV - LESE WORT 00010200
  103          3      32260          IF DCHOBUSY GOTO . , MODEBIT DAT     ; FERTIG?          00010300
  104          4         20          TWS FROMTO                           ; WORDSELECT=FROMTO 00010400
  105          5          4          PULSE WRT.STRT                       ; START DL-OUT WITH FROMTO 00010500
  106          6     122620          IF RWCZERO GOTO SENDEOR, TWS DATA   ;WC = 0?           00010600
  107          7      30000          IF NDLRESET GOTO STARTOUT           ; DL-RESET DURING OUTPUT? 00010700
  108                    ;                                                                  00010800
  109         10        402 LASTWORD:GOTO STARTOUT, PULSE APIOUT    ; END,EVENT TO PDP15      00010900
  110                    ;                                                                  00011000
  111         11       1000 TSTBUSY: IF NOT.GO GOTO STARTOUT                                00011100
  112         12     111640 SENDEOR: IF N.TREADY GOTO TSTBUSY, DATAWORD ZERO  ;DL-TRANSM. READY? 00011200
  113         13         63          MODEBIT EOR, PULSE WRITE          ; YES - SET EOR,WRITE WORD 00011300
  114         14         20          TWS FROMTO                                           00011400
  115         15     100404          GOTO LASTWORD, PULSE WRT.STRT     ; WRITE LAST WORD,HALT CHAN. 00011500
```