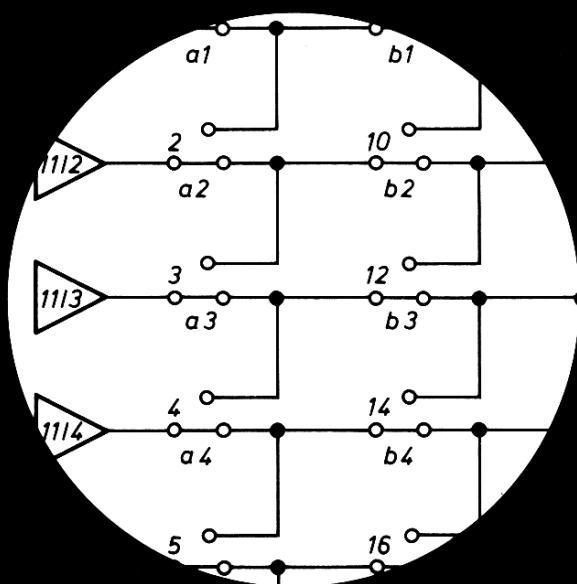


## VIEWEG PROGRAMMBIBLIOTHEK Mikrocomputer 36

# HP-41 im technisch- wissenschaftlichen Einsatz

**Dialogsystem, Darstellung von  
Funktionswerten, Relaisschaltungen,  
Regelkreis-Optimierung,  
Polkonfigurationen**





Vieweg Programmbibliothek  
Mikrocomputer 36

**HP-41 im technisch-  
wissenschaftlichen Einsatz**

## **Aus dem Programm Mikrocomputer**

### **Anwenderhandbuch HP-41 C/CV**

von K. Gosmann

### **Softwareentwicklung am Beispiel einer Dateiverwaltung**

von M. Gehret

### **Optimales Programmieren mit dem HP-41**

von G. Kruse

### **Aus der Vieweg Programmbibliothek Mikrocomputer zum HP-41:**

Band 14

Lineares Optimieren

11 HP-41-Programme

Band 15

Dienstprogramme (Tool-Kit) für den HP-41

Band 18

Probleme der Festigkeitslehre

23 Programme für den HP-41

Band 21

HP-41 in der Praxis

Band 23

HP-41-Sammlung

Band 27

Kryptologie-Programme (HP-41 C/CV)

Band 28

HP-41 – Hilfen und Anwendungen

Band 36

HP-41 im technisch-wissenschaftlichen Einsatz

**Vieweg**

Vieweg Programmbibliothek  
Mikrocomputer Band 36

Harald Schumny (Hrsg.)

# **HP-41 im technisch- wissenschaftlichen Einsatz**

**Dialogsystem, Darstellung von Funktionswerten,  
Relaisschaltungen, Regelkreis-Optimierung,  
Polkonfigurationen**

Mit 5 Programmen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**HP 41 im technisch-wissenschaftlichen Einsatz:**

Dialogsystem, Darst. von Funktionswerten,  
Relaisschaltungen, Regelkreis-Optimierung,  
Polkonfigurationen; mit 5 Programmen /  
Harald Schumny (Hrsg.). [Die Autoren d. Bd.:  
Edgar Buchinger ...].

(Vieweg-Programmbibliothek Mikrocomputer;  
Bd. 36)

ISBN 978-3-528-04463-3      ISBN 978-3-663-15927-8 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-663-15927-8

NE: Schumny, Harald [Hrsg.]; GT

Die Autoren des Bandes:

Dipl.-Ing. (FH) *Edgar Buchinger*  
Elsternhag 46  
3000 Hannover 61

*Karl Hackenberg*  
Kurt-Schumacher-Straße 12  
3300 Braunschweig

Dr.-Ing. E. h. *Kurt Hain*  
Peterskamp 12  
3300 Braunschweig

*Herbert Hoffmann*  
Denkmalsweg 12  
5900 Siegen

Prof. Dipl.-Ing. *Peter F. Orlowski*  
Erfurter Straße 11  
6307 Linden 2

Das in diesem Buch enthaltene Programm-Material ist mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Der Autor übernimmt infolgedessen keine Verantwortung und wird keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieses Programm-Materials oder Teilen davon entsteht.

1986

Alle Rechte vorbehalten

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1986

Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1986



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: Peter Lenz, Wiesbaden

ISBN 978-3-528-04463-3

---

# Inhaltsverzeichnis

Einführung .....	1
 <i>Edgar Buchinger:</i>	
Ein Dialogsystem für den HP-41 .....	3
 <i>Karl Hackenberg:</i>	
Darstellung von Funktionswerten .....	15
 <i>Herbert Hoffmann:</i>	
Relaisschaltungen – Entwurf und Test mit dem HP-41 .....	35
 <i>Peter F. Orlowski:</i>	
Regelkreis-Optimierung mit dem Taschenrechner HP-41 CV/CX im Bode-Diagramm .....	75
 <i>Kurt Hain:</i>	
Polkonfigurationen in bewegten Systemen .....	96





---

## Einführung

Es wird immer behauptet, die allermeiste Software sei für CP/M-Rechner verfügbar. Dabei wird offenbar übersehen, daß Taschencomputer wie der HP-41 sehr stark verbreitet sind und zu einem großen Teil professionell genutzt werden. Eine Ursache dafür ist sicher die Verfügbarkeit von Detail-Software in einer solch großen Zahl, die von keiner anderen Rechnerkategorie erreicht wird.

Taschencomputer sind nämlich gleichzeitig leistungsfähig und problemlos benutzbar, und sie „verleiten“ darum mehr als komplexere Systeme zum Selbstprogrammieren. Es gibt aber auch umfangreichere, hochqualifizierte Programmpakete bzw. -systeme; fünf davon sind in diesem Band der Vieweg Programmbibliothek zusammengefaßt. Die Auswahl erfolgte nach besonderer Eignung für den technisch-wissenschaftlichen Einsatz.

Von *Edgar Buchinger* stammt das Dialogsystem, mit dessen Hilfe die Abarbeitung aller Programme nach einem einheitlichen Schema möglich wird. Diese Software erzieht aber auch zum systematischen Programmieren; denn alle Programme müssen gleiche Merkmale und Strukturen aufweisen. Als Anwendungsbeispiel ist ein Bemessungsprogramm aus dem Stahlbetonbau vorgestellt.

*Karl Hackenberg* hat sich der Darstellung von Funktionswerten angenommen. Das erklärte Ziel des Autors ist es, den verwirrenden Doppelbelegungen von Datenspeichern und Tastenzuordnungen sowie den meist sparsam gehaltenen Rechenanweisungen mit einer kompakten Anordnung zu begegnen. Beispiele sind dafür angegeben, wie das Programm bei Kurvendiskussionen eine schnelle Übersicht ermöglicht.

Das umfangreiche Programmpaket von *Herbert Hoffmann* ist das Resultat konsequenter Weiterentwicklung einer bereits im Band 23 der Programmbibliothek veröffentlichten Arbeit mit dem Titel „Schaltalgebra und Logiknetzwerke“. Und sicher hat der Autor

recht damit, daß Entwurf und Test von Relaisschaltungen immer noch wesentliche Ingenieurarbeiten sind, obwohl nach Möglichkeit hochintegrierte elektronische Schalter eingesetzt werden. Mit vielen Beispielen wird die beachtliche Leistungsfähigkeit des HP-41 belegt.

Eine Vielzahl technischer Regelkreise läßt sich mit dem Programm von *Peter F. Orlowski* optimieren. Als Grundlage dient das vereinfachte Stabilitätskriterium nach Nyquist und seine Darstellung im Bode-Diagramm. Das Programm ist beschrieben, Optimierungsbeispiele sind durchgerechnet und diskutiert. Ein Haupteinsatzgebiet ist für den Autor die Anwendung als Lernhilfe für Studenten der Regeltechnik.

Das letzte Programm dieses Bandes ist von *Kurt Hain*; es dient der Untersuchung von Polkonfigurationen in bewegten Systemen. Der Autor: Die Polkonfiguration erfaßt den Gesamtplan der Geschwindigkeitspole, und hier soll auf nicht ausgenutzte Anwendungsmöglichkeiten und auch neuartige Mittel für eine höhere Getriebesynthese hingewiesen werden. Auch bei diesem Programm handelt es sich um die Fortführung umfangreicher Arbeiten, die Kurt Hain bereits in Band 17 der Programmbibliothek (Gelenkgetriebe für die Handhabungs- und Robotertechnik) und in Band 9 der Reihe Anwendung von Mikrocomputern (Gelenkgetriebe-Konstruktion) veröffentlicht hat.

Der HP-41 ist wahrscheinlich auch noch auf längere Sicht ein nützliches Werkzeug für Studenten, Ingenieure und Wissenschaftler. Die hier abgedruckten Programme können dazu beitragen, manches Problem beim technisch-wissenschaftlichen Einsatz zu bewältigen.

---

# **Ein Dialogsystem für den HP-41**

Edgar Buchinger

## **1 Zielsetzung**

Es geht darum, ein System zu entwickeln, mit dem alle Programme einheitlich abgearbeitet werden können, ohne daß der Benutzer bei jedem neuen Programm umdenken muß. Das bedeutet: alle Programme müssen gleiche Merkmale und Strukturen aufweisen.

Um eine flexible Programm-Bearbeitung zu gewährleisten, sollen Eingabe, Berechnung und Ausgabe als unabhängige, in sich geschlossene Einheiten funktionieren und dem Benutzer als solche, sozusagen im Menü, zur Auswahl angeboten werden.

Alle Eingabewerte und Endergebnisse sollen im Permanent-Speicher unverändert erhalten bleiben. Während der Programm-Bearbeitung kann von jeder Funktionseinheit hierauf zurückgegriffen werden. Im Idealfall sind sie sogar als Eingabedaten für ein weiterführendes Programm, sozusagen im Programm-Paket, weiterverwertbar.

Eine Routine zum Eingeben, Ändern und Anzeigen von Daten soll es ermöglichen, die im Permanent-Speicher vorgehaltenen Werte anzuzeigen, zu überprüfen und gegebenenfalls zu ändern.

## **2 Beschreibung**

Das Dialogsystem besteht im wesentlichen aus vier Grundelementen. Das erste wird in allen Programmen, die über das Dialogsystem funktionieren, eingebaut. Auf die anderen drei

Routinen wird von allen Programmen zurückgegriffen, sie müssen deshalb ständig im Programmspeicher vorgehalten werden.

### **2.1 Steuerungs-Routine mit zugehöriger Programm-Struktur**

Kernpunkt der Steuerungs-Routine bilden die Programm-Adreß-Tasten A–J und a–e, der oberen zwei Tastenreihen (vgl. hierzu Abschnitt 4). Diese sind nur im USER-Modus wirksam und ermöglichen es, bestimmte Punkte (Marken) im Programm direkt über die Tastatur anzulaufen.

Dies setzt voraus, daß das Programm unter Verwendung von "lokalen" Alpha-Marken (A–J und a–e) entsprechend strukturiert wurde und daß diesen Tasten keine anderen Funktionen oder Prgm-Namen zugeordnet wurden.

Im Klartext heißt das: wird im USER-Modus die Taste "B" gedrückt, beginnt der Rechner mit der Ausführung des Programms, auf das der Prgm-Zeiger augenblicklich positioniert ist – ab der Marke "B".

Die Suche nach lokalen Alpha-Marken wird allerdings nur innerhalb eines Programms durchgeführt, also zwischen der ersten Programmzeile 000 und der abschließenden nächsten End-Anweisung. Dieser Umstand ermöglicht es, alle Programme in gleicher Weise mit lokalen Alpha-Marken in einzelne, unabhängig voneinander aufrufbare Moduln aufzuteilen.

#### **2.1.1 Programm-Struktur**

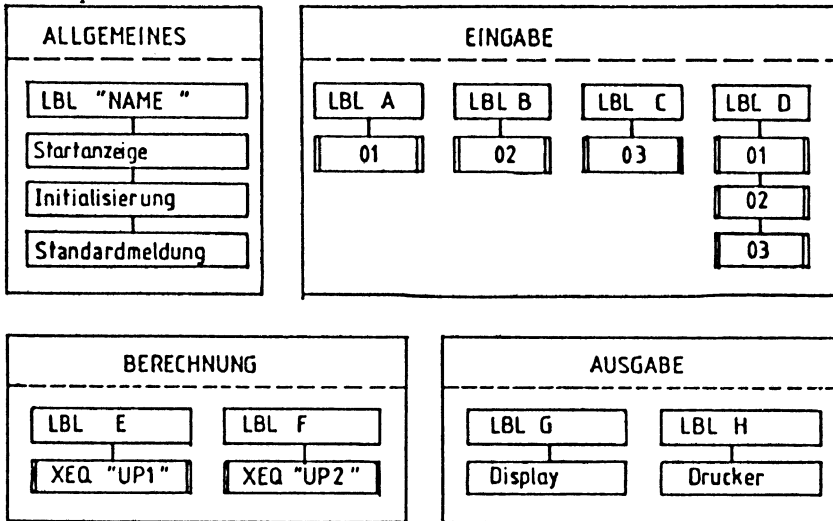
Die Programme werden derart aufgebaut, daß mindestens eine Trennung der folgenden Funktionsbereiche vorliegt:

- Allgemeiner Teil (Startanzeige, Initialisierung, Standard-Anzeige)
- Eingabe-Teil (Eingabewerte eingeben, anzeigen und ggf. ändern)

- Berechnungs-Teil (Berechnungen ausführen)
- Ausgabe-Teil (Ergebnisse anzeigen)

Weiterhin kann jeder dieser Funktionsbereiche wieder aus mehreren, einzelnen Moduln bestehen.

Beispiel:



Insbesondere der Eingabeteil wird meist auch noch in thematisch gegliederte Datenmoduln aufgeteilt. (Im Beispiel: Modul A bis D). Bei wiederholtem Prgm-Durchlauf braucht dann nur der Modul aufgerufen zu werden, in dem die Daten verändert werden sollen.

Der letzte Modul (hier "D") umfaßt hintereinander ablaufend die gesamte Eingabe der vorausgehenden Eingabe-Moduln, hier A bis C.

Selbstverständlich muß es auch möglich sein, die Berechnungs-Moduln als Unterprogramme zu benutzen und entsprechend aufzurufen. Hierzu erhalten die Rechenteile je eine "globale" Alpha-Marke mit der sie direkt, ohne Umweg über umständliche Flag-Abfragen, aufgerufen werden können.

### 2.1.2 Durchführung

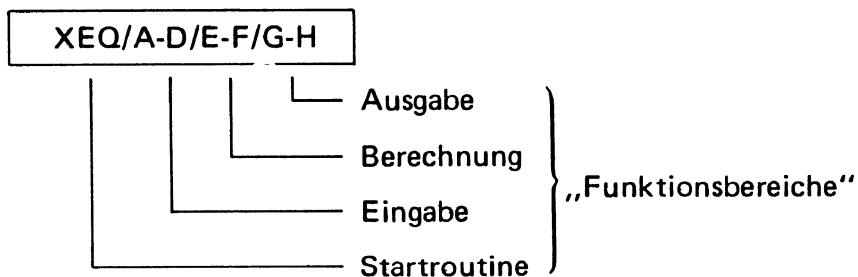
Nach dem Start erscheint zur Kontrolle der Name des gestarteten Programmes in der Anzeige, z. B.:

\*\*\*Name\*\*\*

Durch ein R/S wird dieser durch die sogenannte „Standard-Meldung“ ersetzt. Angegeben wird dabei jeweils:

- welche Tasten gedrückt werden dürfen und
- welchen Funktionsbereichen sie zugeordnet sind.

*Beispiel:*

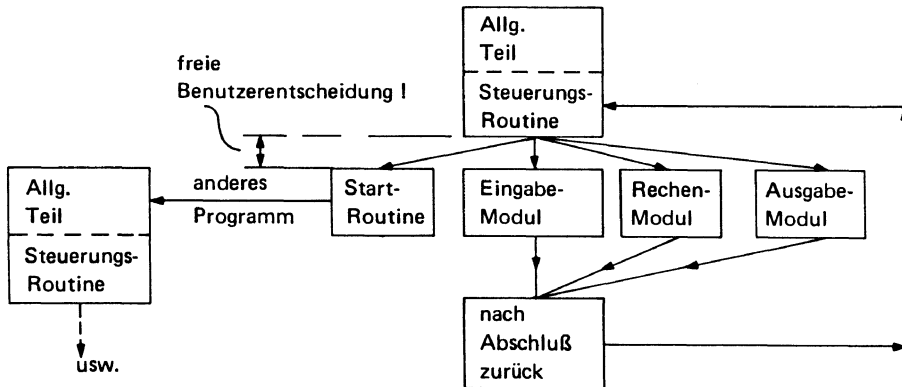


Jede der im Beispiel angegebenen Tasten beherbergt sozusagen ein Prgm-Modul. Jeder dieser Moduln kann über die „Programm-Adreß-Tasten“ beliebig oft aufgerufen und bearbeitet werden. Die Reihenfolge bei der Modul-Bearbeitung ist dem Benutzer eigenverantwortlich überlassen. Er soll dabei frei entscheiden können, ob z. B. die Eingabedaten für eine Berechnung richtig bereitstehen oder ob für eine beabsichtigte Ausgabe bereits eine Berechnung vorgenommen wurde.

Nach erfolgter Modul-Bearbeitung wird wieder die „Standard-Meldung“ angezeigt.

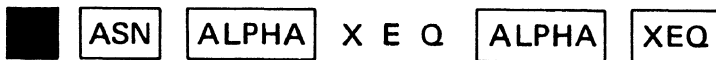
Im folgenden Bild ist ein Bearbeitungsschema wiedergegeben, welches die Wirkungsweise der Steuerungs-„Routine“ verdeutlichen soll.

### Schema:



## 2.2 Startroutine

Die Aufgabe der Startroutine "XEQ" besteht im wesentlichen lediglich darin, den Programm-Zeiger auf ein bestimmtes Programm zu positionieren. Zur Verwendung im Dialogsystem ist sie der XEQ-Taste zuzuordnen:



Anschließend kann sie einfach durch Drücken der XEQ-Taste aufgerufen werden.

Gefordert wird die Eingabe des Programm-Namens:

NAME;

Der Alpha-Modus wird automatisch geschaltet. R/S schließt die Eingabe ab und führt zum Start des bezeichneten Programmes. Keine Eingabe wird nicht akzeptiert. Falsche oder unbekannte Namen führen zur Fehlermeldung:

"Name" FEHLT

Nach Drücken von R/S kann das fehlende Programm mit Magnetkarten eingelesen werden, wozu der Rechner mit der Meldung

CARD
------

auffordert.

Nach Abschluß des Lesevorgangs beginnt die Startroutine eigenständig von vorn.

### 2.3 Anzeige- und Korrektur-Routine

Die folgende Routine zeigt im Permanentspeicher vorgehaltene numerische oder alphanumerische Daten in Verbindung mit erläuternden Variablenkürzeln im Display an. Anschließend können die angezeigten Werte einfach durch Eintasten neuer Werte und abschließendem R/S korrigiert werden. Nur R/S läßt die angezeigten Werte bestehen, so daß die Eingabe neuer Werte nur dann erforderlich wird, wenn die angezeigten Daten verändert werden sollen. Der Alpha-Modus wird ggf. automatisch abgeschaltet.

#### 2.3.1 Durchführung

Übergeben wird eingehend:

- im X-Register, die Registeradresse (a-1) der anzuzeigenden Variablen
- im Alpha-Register die zugehörigen Kürzel
- der Alpha-Modus ist ggf. einzuschalten.

Anschließend wird die Registeradresse im 1 erhöht, dem Variablenkürzel ein Doppelpunkt mit „Space“ angehängt und zusammen mit dem Zahlenwert der Variablen im Display angezeigt. Erfolgt eine Eingabe, wird der eingegebene Wert abgespeichert.

Ausgehend enthält:

- das X-Register die Registeradresse a
- der Alpha-Modus ist ausgeschaltet.



### 2.3.2 Beispiele

Die Tastenfolge: 10, PFUND, XEQ%, KILO, XEQ% ... führt mit R11 = 50 und R12 = 100 zu folgender Anzeige:

PFUND: \_50

KILO: \_100

Die Tastenfolge: 25, NAME, AON, XEQ%, ANZAHL, XEQ% ... führt mit R26 = EXP und R27 = 12 zu folgender Anzeige:

NAME: \_EXP

ANZAHL: \_12

### 2.4 Size-Prüfer

Um in einem Hauptprogramm festzustellen, ob die gegenwärtige Datenregister-Anzahl ausreicht, wird der Size-Prüfer benutzt. Die vom Programm benötigte höchste Registeradresse muß vor Aufruf im X-Register abgelegt werden.

Nur wenn es nötig wird, fordert die Routine dazu auf, "SIZE" im Hauptprogramm neu festzusetzen.

Nach Neufestsetzung geht es mit R/S weiter.

#### *Beispiel:*

Für ein Programm, das R17 als höchste Registeradresse benutzt, lautet die Befehlsfolge zur Überprüfung:

17, XEQ"SZ", FC?C25, PROMPT

Eine evtl. erforderliche Neufestsetzung würde mit

SIZE: \_18

angezeigt werden.

### 3 Struktogramme mit Anweisungslisten

Anweisung	STARTROUTINE
LBL XEQ	Globale Alpha-Marke
LBL 01	Schnelle Kurzform-Marke
SF27	User-Modus ein
NAME:	Eintrag ins Alpha-Register
AON	Alpha-Modus ein
PROMPT	Eingabe-Aufforderung
SF25	Fehlermeldungsflag setzen
ASTO Y	Prgm-Name ins Y-Register
AOFF	Alpha-Modus aus
GTO IND Y	Wenn alles OK: "Prgm-Start"
c R?C23 s	Wenn keine Eingabe erfolgte,
↑ GTO 01	zurück zum Anfang
└─ FEHLT	Wenn Prgm-Name unbekannt:
PROMPT	Fehlermeldung anzeigen, Stop
RSUB	Einlesen des fehlenden Prgm's
↑ GTO 01	und zurück zum Anfang

Anweisung	ANZEIGE- UND KORREKTURROUTINE
LBL %	Globale Alpha -Marke
CF22	Löschen der Eingabeflags:
CF23	"Numeric und Alphanumeric"
└: _	Doppelpunkt und Space anhängen
1	Speicheradresse im X-Register
+	um 1 erhöhen.
ARCL IND X	Zahlenwert anhängen
PROMPT	Eingabe-Aufforderung/Anzeige
s FS?22 c	Ist num. Eingabe erfolgt?
STO IND Y	Ja, dann abspeichern
s FS?C22 c	Ist num. Eingabe erfolgt?
RDN	Ja, Stack-Lift beseitigen
s FS?C23 c	Ist alphanum. Eingabe erfolgt?
ASTO IND X	Ja, dann abspeichern
AOFF	Alpha-Modus aus
RTN	

Anweisung	SIZE-PRÜFER
LBL SZ	Globale Alpha-Marke
SF25	Fehlermeldungsflag setzen
RCL IND X	Überprüfung der Adresse
FIX 0	Vorbereiten der Fehler-
1	anzeige, falls Flag 25 ge-
+	löscht wurde:
SIZE:_	Eintrag ins Alpha-Register
ARCL X	Size-Wert anhängen
END	

## 4 Merkblatt

Das Dialogsystem kann relativ einfach angewendet werden und erlaubt eine bequeme Handhabung der Programme.

Nur wenige Grundbegriffe genügen, auch dem unkundigen Benutzer, zum Verständnis. In dem folgenden Merkblatt ist das Dialogsystem zusammenfassend dargestellt.

## 5 Programmbeispiel

Im folgenden ist ein Bemessungsprogramm aus dem Stahlbetonbau dargestellt, welches zur Bemessung von vorwiegend auf Biegung beanspruchten Rechteckquerschnitten dient.

Ein Arbeitsblatt faßt, wie bei allen Programmen, die auf das DIALOGSYSTEM abgestimmt sind, alle wichtigen Programm-Daten zusammen und zeigt die Möglichkeiten der Programm-Handhabung auf.

Abschließend ist die zugehörige Prgm-Struktur mit Anweisungsliste abgebildet, wobei aus Platzgründen auf die Wiedergabe des Berechnungs-Unterprogramms verzichtet wurde.

## Dialogsystem

**XEQ**

STARTROUTINE UND DIALOGSYSTEM FÜR DEN HP-41CV UNTER  
VERWENDUNG DER PROGRAMMADRESSTASTEN A-J und a-e.

Anzeige:

NAME:  
user

No. of program lines: 41  
No. of data registers: --  
No. of magnetic cards: 1/2  
Name of Prgm. Subs: %,SZ

Durchführung:

Die Startroutine wird durch Drücken der XEQ-Taste gestartet. Gefordert wird die Eingabe des Programm-Namens (siehe oben). Keine Eingabe wird nicht akzeptiert. Falsche oder unbekannte Namen führen zu einer Fehlermeldung.

Karte:

1 XEQ [% ,SZ I User;FSM] 1/1

Dialogsystem:

Die Startroutine "XEQ" sowie das gesamte Dialogsystem sind für eine Verwendung im USER-Modus konzipiert. Die Startroutine ist der XEQ-Taste zugeordnet. Die Programmadressstasten (siehe unten) sind erst nach dem Start eines Programmes wirksam. Welchen Tasten dabei ein Programm-Modul zugeordnet wurde ist aus einer STANDARD-MELDUNG ersichtlich. (siehe linken Kasten).

Standardmeldung:

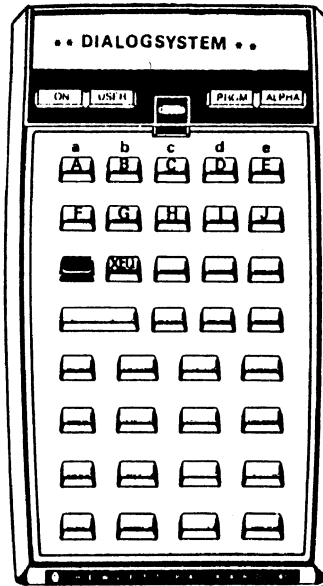
Nach dem Programm-Start erscheint zur Kontrolle nochmals der Name des Programmes in der Anzeige. Durch Drücken der R/S-Taste wird dieser durch die sog. Standardmeldung ersetzt: Angegeben wird dabei jeweils, welche Tasten gedrückt werden dürfen und welchen Funktionsbereichen sie zugeordnet sind:

Beispiel: "STANDARDMELDUNG"

XEQ / A-D / E / F

Ausgabe  
Berechnung  
Eingabe  
Startroutine

Tastenbelegung im USER-Modus:



Zur Anwendung des Dialogsystems dürfen den bezeichneten Tasten keine anderen Funktionen und Programm-Namen zugeordnet sein. (Gegebenenfalls löschen!)

Fehlermeldungen:

FEHLT    ≠Name

Das gewünschte Programm befindet sich nicht im Programm-Speicher. Nach Drücken der R/S-Taste erscheint folgende Meldung:

CARD

Nach Einlesen der Magnetkarten beginnt die Startroutine von vorn

SIZE: n

Speicherverteilung reicht nicht aus: "SIZE: n" ausführen!

RMN

BEMESSUNG VON RECHTECKQUERSCHNITTEN FÜR BIEGUNG UND  
BIEGUNG MIT LÄNGSKRAFT NACH DIN 1045 ,AUSGABE 1972

Anzeige:

XEQ/A--D/E/F

No. of program lines: 200  
No. of data registers: R00-R17  
No. of magnetic cards: 1-2  
Name of Prgm. Sub: XEQ, %, SZ, BR, BS

Querschnittswerte: Reg:

b: --- cm 01  
d: --- cm 02



Bemessungswerte: Reg:

B: -- -- 05  
BST: - -- 06  
HU: --- cm 07  
HO: --- cm 08



Schnittkräfte: Reg:

M: --- KNm 09  
N: --- KN 10



Gesamteingabe: Reg:

b: --- cm 01  
d: --- cm 02  
B: -- -- 05  
BST: - -- 06  
HU: --- cm 07  
HO: --- cm 08  
M: --- KNm 09  
N: --- KN 10



Berechnung: Reg:

ASU: --- cm<sup>2</sup> 11  
ASO: --- cm<sup>2</sup> 12  
Z: --- cm 13  
X: --- cm 14

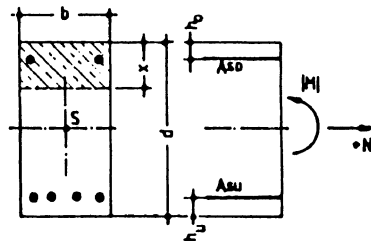


Ausgabe:

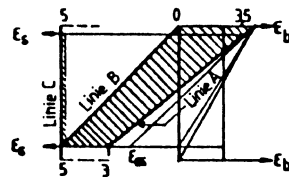
ASU: --- cm<sup>2</sup> 11  
ASO: --- cm<sup>2</sup> 12  
Z: --- cm 13  
X: --- cm 14



Bezeichnungen:



Annahmen, Voraussetzungen:



Das programmierte Verfahren läßt Dehnungszustände zu, die bei dem oberen Bild im schraffierten Bereich liegen. Der Sicherheitstabellewert beträgt demnach einheitlich  $\gamma = 1.75$ . Die Biegedruckzone wurde rechteckig angenommen. Für die Spannungsdehnungslinien gilt die DIN 1045, Bilder 11 und 12.

Fehlermeldungen:

ASO > ASU

Die Anwendungsgrenze des Programmes ist erreicht. Die Zugbewehrung überschreitet die Druckbewehrung nach DIN 1045, 17.2.3 ist die Bemessung mit symmetrisch angeordneter Bewehrung durchzuführen.

NONEXISTENT

z.B:

-Speicherverteilung reicht nicht aus: SIZE 018  
-Programm wurde nicht vollständig eingelesen.

Dialogsystem

Programm "RMN":

```
LBL "RMN"  
  +++RMN++  
  PROMPT  
  FIX 2  
  -----  
  LBL 00  
    17  
    XEQ "SZ"  
    FC?C25  
    PROMPT  
    SF27  
    XEQ/A-D/E/F  
    PROMPT  
  GTO 00
```

```
LBL A  
  XEQ 01  
  GTO 00
```

```
LBL B  
  XEQ 02  
  GTO 00
```

```
LBL C  
  XEQ 03  
  GTO 00
```

```
LBL D  
  XEQ 01  
  XEQ 02  
  XEQ 03  
  GTO 00
```

```
LBL E  
  XEQ "MN"  
  GTO F
```

Programm-Struktur mit den einzelnen Moduln

```
LBL 01  
  0  
  b  
  XEQ %  
  d  
  XEQ %  
  RTN
```

```
LBL 02  
  4  
  B  
  FIX 0  
  XEQ %  
  BST  
  XEQ %  
  FIX 2  
  HU  
  XEQ %  
  HO  
  XEQ %  
  RTN
```

```
LBL 03  
  8  
  M  
  XEQ %  
  N  
  XEQ %  
  RTN
```

```
LBL F  
  10  
  ASU  
  XEQ %  
  ASO  
  XEQ %  
  Z  
  XEQ %  
  X  
  XEQ %  
  GTO 00
```

```
LBL "MN"  
  
  Berechnungs-Unterprogramm  
  
  END
```

---

# Darstellung von Funktionswerten

Karl Hackenberg

## 1 Zweck des Programms

Wie häufig mag es vorkommen, daß Funktionen nach verschiedenen Gesichtspunkten zu untersuchen sind, die hierzu erforderlichen Routinen aber erst aus separat gehaltenen Aufzeichnungen zusammengestellt werden müssen. Hierdurch können verwirrende Doppelbelegungen von Datenspeichern und Tastenzuordnungen entstehen. Ein weiteres Übel betrifft die meist sparsam gehaltenen Rechenanweisungen, deren exakte Anwendung — insbesondere nach längerer Pause — oft erst mühsamer Rückerinnerung bedarf.

Diesen nachteiligen Begleitumständen will die vorliegende Routine mit einer kompakten Anordnung der einzelnen Operationen begegnen. Die darin enthaltenen, mehr oder weniger bekannten elementaren Algorithmen können wahlweise zur Berechnung von Einzel- oder Serienwerten bzw. Aufzeichnungen von Graphen vorgegebener Funktionen abgerufen werden. Das Programm bietet nicht nur eine schnelle Übersicht bei Kurvendiskussionen, sondern erweist sich auch vorteilhaft bei infinitesimalen Übungen, um analytische Lösungen auf Fehlerhaftigkeit zu überprüfen. Die häufigen Fragestellungen — vom Routinier leicht umgehbar — sollen dem Anwender, insbesondere dem Anfänger, zur erfolgreichen Arbeit verhelfen.

## 2 Programmbeschreibung

Die einzelnen Rechenvorgänge sind den Tasten A bis J und a bis c zugeordnet. Der nach dem Start des Programms ausgedruckten Legende entsprechend, können folgende Operationen ausgeführt werden:

## Funktionswerte

---

A	$f(x) = F'(x)$	H	$f(x)$
B	$f'(x)$	I	$f'(x)$
C	$f''(x)$	J	$f''(x)$
D	$\int f(x)dx = F(x)$	a	E(%) für B und C
E	Extrem	b	E(%) für D
F	Nullstelle	c	Graph
G	Wendepunkt		

Hierbei steht  $\int f(x)dx$  für ein bestimmtes Integral mit den Grenzwerten UG und OG, E(%) für den relativen Fehler  $\epsilon$  in Prozent. Unter A bis G resultieren Einzel-, unter H bis J, hinsichtlich Bereich und Intervall wählbar, Serienwerte.

Zweckmäßigerweise sollten die am Ende des Programms stehenden Testfunktionen (LBL OA bis OD) für gelegentliche Prüfungen belassen werden. Die Winkelmodi RAD und DEG für trigonometrische Funktionen liegen auf den „geshifteten“ Tasten 51 und 52 bereit.

### *Konfiguration:*

HP-41, XF-Modul, Thermodrucker (MAN), SIZE 025, 218 Register.

### *Option:*

CCD-Modul für Kleinschreibung und Sonderzeichen(1), Barcode-Leser.

Das CCD-Modul\*) enthält eine Vielzahl neuartiger Funktionen. Da es z. Zt. noch wenig verbreitet ist, wurde auf synthetische Befehle zur Einsparung von Bytes bewußt verzichtet. Somit müssen bei Eingabe des Programms ohne Barcode-Leser Kleinbuchstaben und Sonderzeichen in den Datenregistern 00 bis 05 auf etwas umständliche Art erzeugt werden. Z. B. für  $f(x)$  und  $f'(x)$  ab Programm-Zeile 13/STO 15 nach Fig. 1.

---

\*) CCD-Modul, W & W GmbH, Postfach 800 133, 5060 Bergisch-Gladbach.  
Preis: ca. DM 400,— incl. MwSt.



14 CLA	25 102
15 102	26 XTOA
16 XTOA	27 39
17 91	28 XTOA
18 XTOA	29 91
19 120	30 XTOA
20 XTOA	31 120
21 93	32 XTOA
22 XTOA	33 93
23 ASTO 00	34 XTOA
24 CLA	35 ASTO 01
	36 CLA

Fig. 1 Teil-Ersatzprogramm

28 "A "	38 AVIEW
29 ARCL 00	39 "B "
30 "I = "	40 "I"
31 "I"	41 ARCL 01
32 ARCL 04	42 "I"
33 "I LBL "	43 "LBL "
34 "I"	44 "I"
35 105	45 105
36 XTOA	46 XTOA
37 "IA"	47 "IB"
	48 AVIEW

Fig. 2 Teil-Ersatzprogramm

Dasselbe gilt auch für die Legende, deren beide ersten Zeilen A und B ab Programm-Zeile 27/PROMPT – wiederum abweichend von der Programmliste – in Fig. 2 dargestellt sind.

### 3 Programmdurchführung

Nach Eingabe des Programms und Start durch XEQ DFW sind mit der Anzeige RECHENOPERAT.: die Tasten A bis J in Bereitstellung. R/S bewirkt den Ausdruck der Legende (Fig. 3). Die Terme der zu untersuchenden Funktionen können nunmehr in alphanumerischer Folge den Testfunktionen angegliedert werden. Hierbei ist zu beachten, daß für die Argumente – mit Ausnahme des jeweils ersten – RCL 06 zu setzen ist (übereinstimmend mit dem gleichen Register im ROM-Programm PRPLOT).

Im allgemeinen ist anzunehmen, daß jeweils nur  $f(x)$  unter LBL iA vorliegt. Um aber die folgenden Anwendungen erschöpfend beschreiben zu können, soll die Testfunktion

	CAT 1
LBL'DFW	
LBL'0A	
LBL'0B	
LBL'0C	
LBL'0D	
END	1525 BYTES
.END.	08 BYTES
	XEQ 'DFW'
RECHENOPERAT.:	
	RUN
A f[x] = F'[x]	LBL iA
B f'[x]	LBL iB
C f''[x]	LBL iC
D If[x]dx = F[x]	LBL iD
E EXTREM	
ORDINATE	
F NULLSTELLE	
G WENDEPUNKT	
ORDINATE	
STEIG. <GRAD>	
H ORDIN. f[x] <KONTIN.>	
I - f'[x]	-
J - f''[x]	-
a E(<Z>) von f'[x], f''[x]	
b - If[x]dx	
c GRAPH	
WENN MEHR ALS 1 X-FAKTOR	
IN iA-iD VORHANDEN, IST	
HIERF. RCL 06 ZU SETZEN.	

Fig. 3 Katalog, Legende

	XEQ A
NAME ?	
0A	RUN
ARGUM.?	
- .500	RUN
* f[x] = -0,471	
	XEQ B
NAME ?	
0A	RUN
ARGUM.?	
1,500	RUN
* f'[x] = 0,100	
FUNKT. f'[x] VORHD.? >a	
	XEQ a
NAME ?	
0B	RUN
ARGUM.?	
1,500	RUN
* E(<Z>) = 1,55E-4	
	XEQ C
NAME ?	
0A	RUN
ARGUM.?	
- .500	RUN
* f''[x] = -0,052	
FUNKT. f''[x] VORHD.? >a	
	XEQ D
NAME ?	
0A	RUN
SW, UG, OG, ?	
30,000 ENTER↑	
- .500 ENTER↑	
1,500	RUN
* If[x]dx = -0,096	
FUNKT. F[x] VORHD.? >b	
	XEQ b
NAME ?	
0D	RUN
* E(<Z>) = -9,26E-2	

Fig. 4 Einzel-Ordinate, Integral

$f(x)$  durch ihre zugehörigen Terme für  $f'(x)$ ,  $f''(x)$  und  $F(x)$  ergänzt werden:

$$\text{LBL OA } f(x) = \frac{2x-1}{x^2+2x+5} = \frac{1}{z}(2x-1)$$

$$\text{LBL OB } f'(x) = \frac{2}{z^2}(x-x^2+6)$$

$$\text{LBL OC } f''(x) = \frac{2}{z^3}[(1-2x)-4(7x-x^3+6)]$$

$$\text{LBL OD } F(x) = \ln z - \frac{3}{2} \arctan \frac{x+1}{2} + c$$

#### **Zu A bis C (Fig. 4)**

Fehlerbedingungen, z. B. Division durch 0 u. a., verursachen bei Einzelfunktionswerten eine Unterbrechung der Programmdurchführung. Nach Ausgabe des Ergebnisses ist eine Wiederholung des Rechenvorganges durch Betätigung von R/S vorgesehen. Hierdurch entfällt die nochmalige Eingabe des Funktionsnamens.

#### **Zu D (Fig. 4)**

Zur Integrierung verlangt der Rechner außer den Grenzwerten UG und OG die Schrittweite SW. Für mittlere Verhältnisse bezüglich Integrationsintervall, Rechendauer und Fehler ( $< 0,1\%$ ) dürfte  $SW = 15$  bis  $30$  ausreichen (Rechendauer des Testintegrals ca. 45 s). Sind die Terme von  $\int f(x)dx$  in LBL iD gespeichert, so ergibt XEQ b den prozentualen Unterschied zwischen analytischer und numerischer Lösung.

#### **Zu E bis H (Fig. 5 u. 6)**

Zur numerischen Bestimmung eines Extremwertes, Wendepunktes oder einer Nullstelle verlangt der Rechner einen Schätzbereich oder Schätzwert. Es empfiehlt sich daher, für den gewünschten Abszissenbereich vorab durch H eine konti-

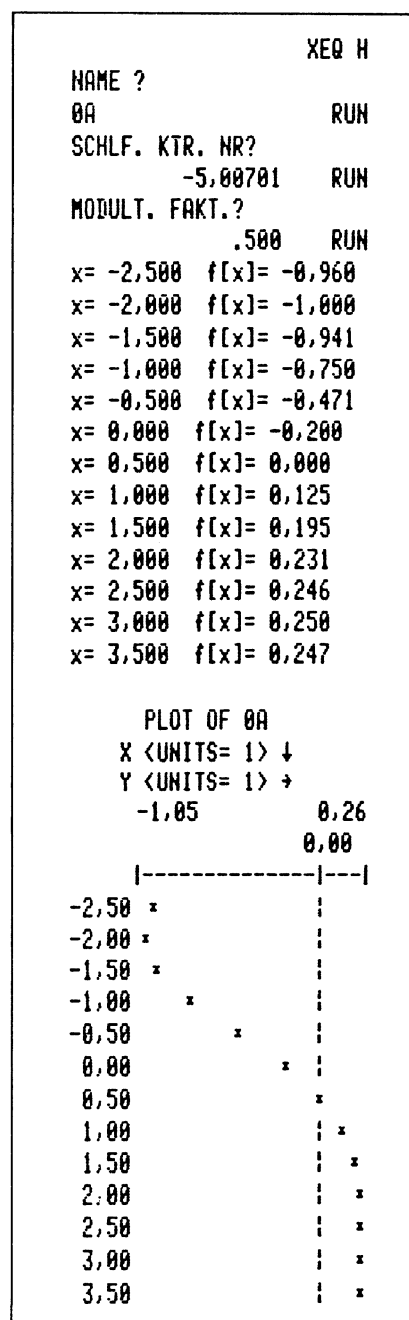


Fig. 5 Serien-Ordinate,  $f(x)$

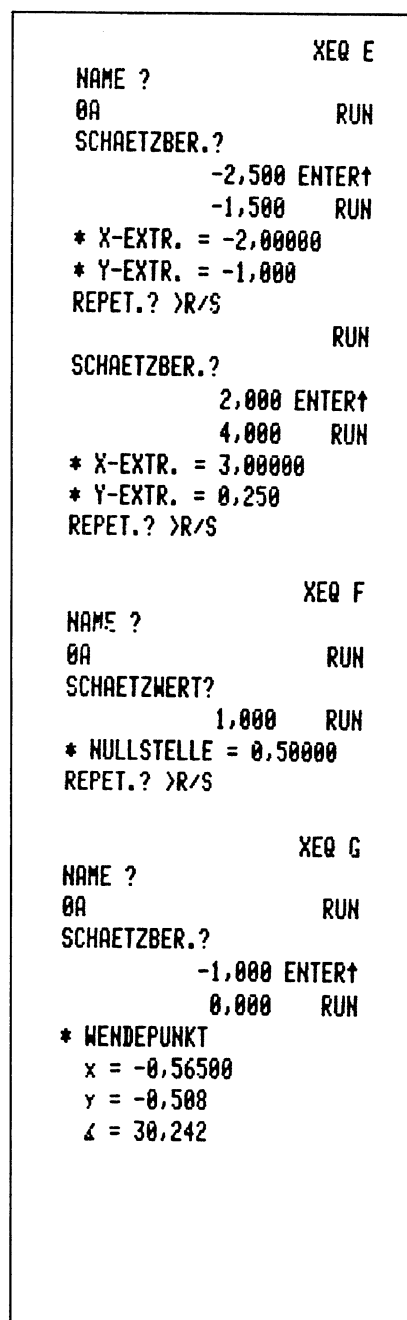


Fig. 6 Signifikante Abszissen

nuierliche Folge von Funktionswerten aufzustellen. Mit den daraus resultierenden Maxi- bzw. Minimalordinaten ist der Abschnitt durch  $c$  zu plotten. Der nunmehr vorhandene Graph erleichtert die Bestimmung von Schätz-Bereich oder -Wert. Nach Beendigung des PLOT-Vorgangs initialisiert der Rechner erneut das Hauptprogramm und ist mit der Anzeige RECHENOPERAT.: für weitere Ausführungen bereit.

Wird anfänglich oder während des Rechengangs (letztlich nach STOP durch R/S) SF 00 gesetzt, so können bei E und F die sich ständig ändernden Abszissenwerte, bei G die gegen Null konvergierenden Ordinaten der zweiten Ableitung laufend oder zwischenzeitlich beobachtet werden. Eine Wiederholung der Rechengänge für Extremwerte und Nullstellen mit ggf. eingegengten Argumenten ist, wie unter A bis C, durch Betätigung von R/S möglich.

Der Graph  $f(x)$  läßt im Bereich  $-2,5x$  bis  $3,5x$  zwei Extrema, eine Nullstelle und einen Wendepunkt erkennen, deren Werte mit meist ausreichender Genauigkeit durch E, F und G ermittelt werden können. An dieser Stelle sei an den Zusammenhang zwischen unbestimmtem Integral und der ersten Ableitung stetiger Funktionen erinnert, wie in horizontaler Folge der Tabelle 1 unter OD, OA und OB dargestellt.

Da allgemein in  $f(x)$  ein Extrem durch  $f'(x) = 0$ , ein Wendepunkt durch  $f''(x) = 0$  gegeben ist, gelten die für  $f(x)$  numerisch erhaltenen Werte signifikanter Punkte sinngemäß auch für die unbekannten Stamm- und Ableitungsfunktionen. Somit entspricht z. B. die Abszisse  $-0,565$  nicht nur dem Wendepunkt in  $f(x)$ , sondern auch einem Extrem in  $f'(x)$  und einer Nullstelle in  $f''(x)$ .

Die Schätzungen erfordern einige Übung, insbesondere die von Wendepunkten. Für Extrema ist die vom gewählten Schätzbereich der zur negativen Seite gelegene Wert zuerst einzusetzen (z. B.  $-3 \uparrow -1$  oder  $2 \uparrow 4$ ). Für Wendepunkte dagegen ist die Reihenfolge der Eingabe bedeutungslos, da aus beiden Werten das arithmetische Mittel gebildet wird. An-

**Tabelle 1** Schema signifikanter Abszissen

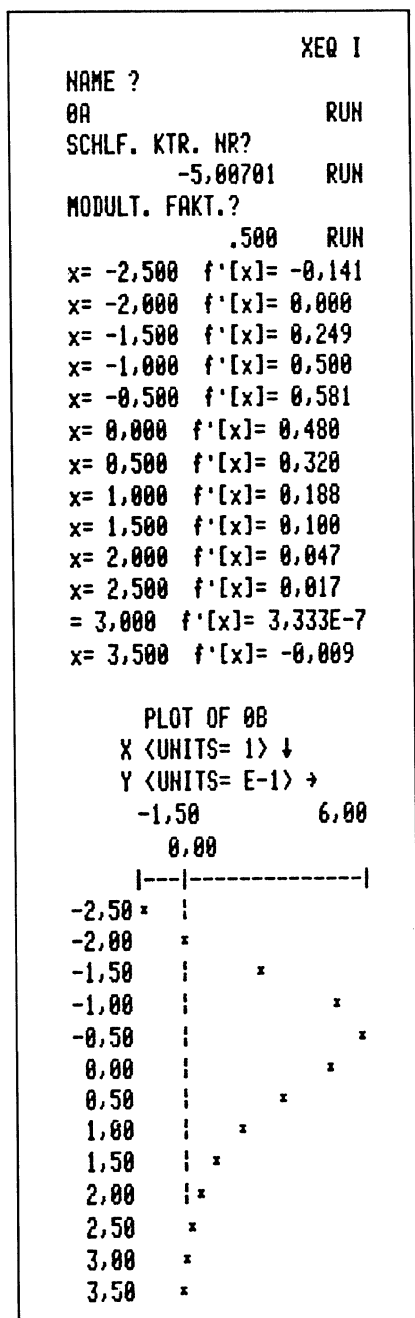
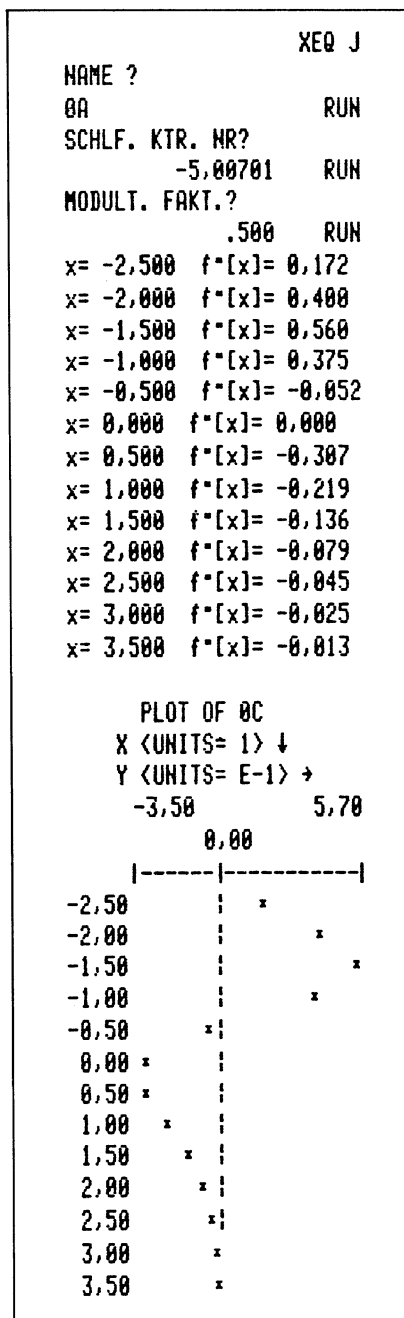
N = Nullstelle E = Extrem W = Wendepunkt

Test-Name	OD	OA	OB	OC
<b>Funktion</b>	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$
<b>Abszisse</b>				
0,500	E	N		
- 2,000 3,000	W	E	N	
- 0,565		W	E	N
(- 1,473) ( 0,237)			W	E
(- 0,740) ( 0,811)				W

schließend vermindert sich der resultierende Abszissenpunkt um 15%. Von hier aus wird das Argument in Intervallen von 0,5% in positiver Richtung wiederum erhöht und jeweils  $f''(x)$  errechnet. Das Kriterium für den Wendepunkt liefert letztlich das arithmetische Mittel jener beiden Abszissen, deren aufeinanderfolgende Ordinaten entgegengesetzte Vorzeichen aufweisen. Wenn die Neigung der Wendepunkt tangente negativ ausfällt, wird durch Addition von  $360^\circ$  der positive Winkel angegeben. Ist  $f''(x)$  unter LBL iC vorhanden, kann der erhaltene Wendepunkt als Schätzwert zur Berechnung der Nullstelle in F eingesetzt werden, was einen genaueren Wert (im Testfall -0,56430) ergibt.

## Zu I und J (Fig. 7 u. 8)

Für die automatische Folge von Funktionswerten, wie auch unter H, wird außer der Schleifenkontrollnummer noch ein Modulationsfaktor gefordert. Erst das Produkt beider Zahlen ergibt die gewünschte Stufung der Abszissenwerte. Auch bei

Fig. 7 Serien-Ordinaten,  $f(x)$ Fig. 8 Serien-Ordinaten,  $f(x)$

Einteilung der Abszisse in k-fache von  $\pi$ , e u. a., erweist sich der Faktor vorteilhaft. Würde im Testbeispiel der Faktor 0,5 durch  $\pi/12$  ersetzt, so resultierte für  $x$  die Folge  $-6\pi/12$ ,  $-5\pi/12$  usw.

Um bei Fehlerbedingungen, z. B. In 0 u. a., die kontinuierliche Folge nicht zu unterbrechen, sind in den zugehörigen Routinen 4 Fehlerignorierflags SF 25 enthalten. Daher kommt man nicht umhin, bei einem 0-Argument eine resultierende 0-Ordinate auf ihre Echtheit zu überprüfen. Im Testbeispiel tritt dieser Fall bei Folgen der zweiten Ableitung unter J auf. Einen Näherungswert erhält man durch das arithmetische Mittel benachbarter Ordinaten, z. B. für  $x = \pm 0,05$ :  $f''(x) = -0,303$ . Der wahre Wert der Ordinate läßt sich nur bei Kenntnis der betreffenden Funktion oder ggf. durch Grenzwertbestimmung ermitteln. Demzufolge ergäbe beispielsweise die Funktion  $\tan x/x$  (in H für  $x = 0$  auch  $y = 0$ ) den Grenzwert  $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0} g'(x)/h'(x) = \lim_{x \rightarrow 0} 1/\cos^2 x = 1$ .

Die in der Tabelle 1 enthaltenen 4 Abszissenpunkte (ohne Klammern) sind den Funktionen  $F(x)$ ,  $f'(x)$  und  $f''(x)$  — dem Schema entsprechend — nur dann zugehörig, wenn sie in  $f(x)$  vorkommen. Ungewiß dagegen ist das Vorhandensein von Wendepunkten in  $f'(x)$  oder von Extrema und Wendepunkten in  $f''(x)$ . Da aber im Testbeispiel die fraglichen Funktionsterme vorliegen, sei übungshalber die Tabelle durch die in Klammern gesetzten Argumente für noch vorhandene Extrema und Wendepunkte der Ableitungsfunktionen ergänzt.

## 4 Anweisungsliste

PRP "DFW"	"f[x]" ASTO 00 "f'[x]"
	ASTO 01 "f''[x]"
01+LBL "DFW"	ASTO 02 "F[x]" ASTO 03
CF 28 CF 29 "RAD" -51	"F'[x]" ASTO 04
PASH "DEG" -61 PASH	"f[x]dx" ASTO 05
6 STO 13 7 STO 15	"RECHENOPERAT.:" PROMPT



```

"A f[x] = F["
"fx] LBL iA" AVIEW
"B f'[x] "
"fx] LBL iB" AVIEW
"C f''[x] "
"fx] LBL iC" AVIEW
"D If[x]dx = "
"ff[x] LBL iD" AVIEW
"E EXTREM" AVIEW
"ORDINATE" AVIEW
"F NULLSTELLE" AVIEW
"G WENDEPUNKT" AVIEW
"ORDINATE" AVIEW
"STEIG. <GRAD>" AVIEW
"H ORDIN. f[x]"
"fx] <KONTIN.>" AVIEW
"I " f["
"fx] " AVIEW
"J " f["
"fx] " AVIEW
"a E(<Z>) von f"
"fx], f'[x]" AVIEW
"b " I"
"ff[x]dx" AVIEW
"c GRAPH" AVIEW ADV
"WENN MEHR AL"
"FS 1 X-FAKTOR" AVIEW
"IN iA-iD VOR"
"HANDEN, IST" AVIEW
"HIERF. RCL 0"
"t6 ZU SETZEN." AVIEW
RTN

```

```

80*LBL A
XEQ 03 XEQ IND 16
FS?C 00 RTN "*"
ARCL 00 XEQ IND 13 RTN

```

```

89*LBL B
XEQ 03

```

```

91*LBL 00
1 E-2 % X=0? LASTX
STO 23 2 / - STO 10
STO 06 XEQ IND 16
STO 12 RCL 10 RCL 23
+ STO 06 XEQ IND 16
STO 11 RCL 12 -

```

```

RCL 23 / STO 14
FS? 02 RTN "*"
ARCL 01 XEQ IND 13 CLA
"FUNKT." ARCL 01
"t VORHD.? >a" AVIEW
RTN

```

```

126*LBL C
XEQ 03

```

```

128*LBL 01
1 % STO 20 RCL 06
XEQ IND 16 30 * CHS
STO 19 XEQ 02 16 *
ST+ 19 XEQ 02 ST- 19
RCL 20 4 * ST- 06
RCL 06 SF 25
XEQ IND 16 ST- 19
XEQ 02 16 * RCL 19 +
RCL 20 X+2 12 *
SF 25 / STO 14 FS? 03
RTN "*" ARCL 02
XEQ IND 13 "FUNKT."
ARCL 02 "t VORHD.? >a"
AVIEW RTN

```

```

174*LBL 02
RCL 20 ST+ 06 RCL 06
SF 25 XEQ IND 16 RTN

```

```

181*LBL 03
XEQ IND 15 "ARGUM.?"
PROMPT STO 06 RTN

```

```

187*LBL a
SF 00 XEQ A

```

```

190*LBL 04
RCL 14 %CH SCI 2
"* E(<Z>)" XEQ IND 13
RTN

```

```

197*LBL D
XEQ IND 15
"SW, UG, OG, ?" PROMPT
STO 09 X<>Y STO 06
STO 08 - X<>Y STO 11
/ STO 23 2 / ST+ 06
, STO 10 RCL 11
RCL 07 X<>Y STO 07
X<>Y

```

## Funktionswerte

---

220\*LBL 05  
RCL 07 X<>Y STO 07  
X<>Y STO 11 RCL 06  
XEQ IND 16 RCL 23  
ST+ 06 \* ST+ 10  
RCL 11 RCL 07 X<>Y  
STO 07 X<>Y DSE 07  
GTO 05 STO 07 RCL 10  
STO 14 BEEP "I"  
ARCL 05 XEQ IND 13  
"FUNKT. " ARCL 03  
"I VORHD.? >b" AVIEW  
RTN

251\*LBL b  
XEQ IND 15 RCL 08  
STO 06 XEQ IND 16  
STO 11 RCL 09 STO 06  
XEQ IND 16 RCL 11 -  
GTO 04

263\*LBL 06  
"I = " ARCL X AVIEW  
FIX 3 CF 00 RTN

270\*LBL 07  
AON "NAME ?" PROMPT  
ASTO 16 AOFF FIX 3  
RTN

278\*LBL E  
FC?C 05 XEQ IND 15  
"SCHAETZBER.?" PROMPT  
X<>Y STO 23 - ABS  
1 E2 / ABS STO 08  
RCL 23 STO 06  
XEQ IND 16 STO 09  
RCL 08 ST+ 23 RCL 23  
STO 06 XEQ IND 16  
STO 24 RCL 09 X<>Y  
X<>Y? GTO 09 SF 01  
X<>Y X<>Y? GTO 09

309\*LBL 08  
CF 01 RCL 23 RCL 08 -  
STO 06 FIX 5 BEEP  
"\* X-EXTR." XEQ IND 13  
XEQ IND 16 "\* Y-EXTR."  
XEQ 12 GTO E

323\*LBL 09  
RCL 24 STO 09 RCL 08  
ST+ 23 RCL 23 FS? 00  
PSE STO 06 XEQ IND 16  
STO 24 RCL 09 RCL 24  
FS? 01 X<>Y X<>Y?  
GTO 09 GTO 08

341\*LBL F  
FC?C 05 XEQ IND 15  
"SCHAETZWERT?" PROMPT  
SF 02 XEQ 00 RCL 11  
GTO 11

350\*LBL 10  
RCL 06 XEQ IND 16  
STO 11

354\*LBL 11  
RCL 10 RCL 06 FS? 00  
PSE STO 10 - RCL 12  
RCL 11 STO 12 - / \*  
ST- 06 RCL 06 / FIX 7  
RND X=0? GTO 10  
RCL 06 FIX 5 CF 02  
BEEP "\* NULLSTELLE"  
XEQ 12 GTO F

381\*LBL 12  
XEQ IND 13  
"REPET.? >R/S" PROMPT  
SF 05 RTN

387\*LBL G  
SF 03 CF 04 XEQ IND 15  
"SCHAETZBER.?" PROMPT  
+ 2 / X=0? GTO G  
ENTER↑ SIGN 15 \* %  
-

404\*LBL 13  
STO 06 STO 17 XEQ 01  
FS? 00 PSE SIGN  
FS? 04 GTO 15 STO 18

414\*LBL 14  
RCL 17 STO 21 ,5 %  
ENTER↑ SIGN \* +  
SF 04 GTO 13

```

425*LBL 15
X<> 18 RCL 18 X=Y?
GTO 14 FIX 5 BEEP
"* WENDEPUNKT" AVIEW
RCL 21 RCL 17 + 2 /
STO 06 " x"
XEQ IND 13 XEQ IND 16
" y" XEQ IND 13 SF 02
RCL 06 XEQ 00 ATAN
X<0? XEQ 16 " <"
XEQ IND 13 , X<>F CLX
RTN

```

```

457*LBL 16
368 + RTN

```

```

461*LBL H
XEQ IND 15
"SCHLF. KTR. NR?"
PROMPT STO 21
"MODULT. FAKT.?" PROMPT
STO 22

```

```

469*LBL 17
SF 25 RCL 21 INT
RCL 22 * STO 06
STO 18 "x= " ARCL X
FS? 02 GTO 18 FS? 03
GTO 19 XEQ IND 16
"-f = " ARCL 00 GTO 20

```

```

487*LBL I
SF 02 GTO H

```

```

490*LBL 18
XEQ 00 "-f = " ARCL 01
GTO 20

```

```

495*LBL J
SF 03 GTO H

```

```

498*LBL 19
XEQ 01 "-f = " ARCL 02

```

```

502*LBL 20
"-f = " ARCL X AVIEW
ISG 21 GTO 17 CF 02
CF 03 RTN

```

```

511*LBL c
, STO 03 XROM "PRPLOT"
XEQ "DFW" RTN

```

```

517*LBL "0A"
2 * 1 - XEQ 21 /
RTN

```

```

525*LBL "0B"
RCL 06 X↑2 - 6 + 2
* XEQ 21 X↑2 / RTN

```

```

537*LBL "0C"
2 * CHS 1 + 2 *
XEQ 21 * RCL 06 7 *
RCL 06 3 Y↑X - 6 +
8 * - XEQ 21 3 Y↑X
/ RTN

```

```

564*LBL "0D"
RAD XEQ 21 LN RCL 06
1 + 2 / ATAN 1,5 *
- DEG RTN

```

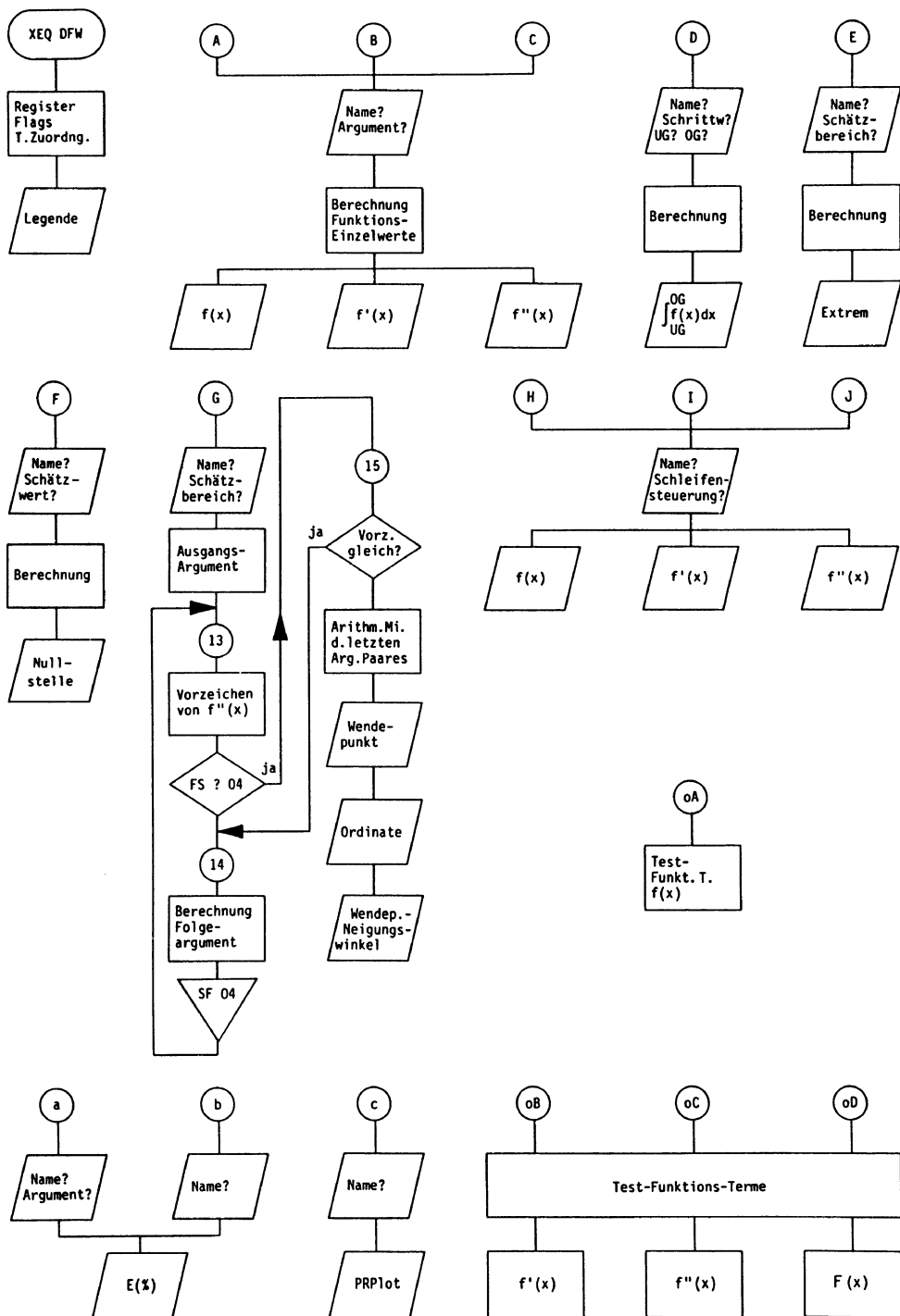
```

579*LBL 21
RCL 06 X↑2 RCL 06 2
* + 5 + RTN END

```

# Funktionswerte

## Vollständiges Flußdiagramm



## Darstellung von Funktionswerten

Benötigte Programmregister: 218

Zeile 1 (1-4)



Zeile 2 (4-8)



Zeile 3 (8-15)



Zeile 4 (15-18)



Zeile 5 (18-22)



Zeile 6 (22-24)



Zeile 7 (25-26)



Zeile 8 (26-28)



Zeile 9 (28-29)



Zeile 10 (29-31)



Zeile 11 (31-32)



Zeile 12 (32-34)



Zeile 13 (34-35)



Zeile 14 (35-37)



Zeile 15 (37-38)



Zeile 16 (38-39)



Zeile 17 (40-42)



Zeile 18 (42-44)



Zeile 19 (44-46)



## Funktionswerte

---

Zeile 20 (46-48)



Zeile 21 (48-50)



Zeile 22 (50)



Zeile 23 (51-52)



Zeile 24 (52-53)



Zeile 25 (53-55)



Zeile 26 (55-56)



Zeile 27 (57-58)



Zeile 28 (58-61)



Zeile 29 (61-62)



Zeile 30 (62-63)



Zeile 31 (64)



Zeile 32 (65-67)



Zeile 33 (67-70)



Zeile 34 (70-71)



Zeile 35 (71-73)



Zeile 36 (73-74)



Zeile 37 (74-76)



Zeile 38 (76-77)
























Zeile 39 (77-80)



Zeile 40 (80-86)



Zeile 41	(86-92)	
Zeile 42	(92-102)	
Zeile 43	(103-112)	
Zeile 44	(113-120)	
Zeile 45	(121-123)	
Zeile 46	(123-126)	
Zeile 47	(126-134)	
Zeile 48	(134-141)	
Zeile 49	(142-149)	
Zeile 50	(149-155)	
Zeile 51	(156-164)	
Zeile 52	(165-169)	
Zeile 53	(169-171)	
Zeile 54	(171-178)	
Zeile 55	(178-183)	
Zeile 56	(183-190)	
Zeile 57	(191-195)	
Zeile 58	(196-199)	
Zeile 59	(199-206)	
Zeile 60	(207-217)	
Zeile 61	(218-228)	

## Funktionswerte

---

Zeile 62 (229-238)



Zeile 63 (238-246)



Zeile 64 (246-248)



Zeile 65 (248-251)



Zeile 66 (252-261)



Zeile 67 (262-267)



Zeile 68 (268-273)



Zeile 69 (274-281)



Zeile 70 (281-282)



Zeile 71 (283-291)



Zeile 72 (292-300)



Zeile 73 (300-309)



Zeile 74 (310-317)



Zeile 75 (317-320)



Zeile 76 (320-322)



Zeile 77 (322-330)



Zeile 78 (331-339)



Zeile 79 (339-344)



Zeile 80 (344-347)



Zeile 81 (347-356)



Zeile 82 (357-367)





**Zeile 83 (368-376)**



**Zeile 84 (377-378)**



**Zeile 85 (378-383)**



**Zeile 86 (383-385)**



**Zeile 87 (386-391)**



**Zeile 88 (391-395)**



**Zeile 89 (396-405)**



**Zeile 90 (406-412)**



**Zeile 91 (412-420)**



**Zeile 92 (421-428)**



**Zeile 93 (429-432)**



**Zeile 94 (432-438)**



**Zeile 95 (439-443)**



**Zeile 96 (444-450)**



**Zeile 97 (451-457)**



**Zeile 98 (458-463)**



**Zeile 99 (463-464)**



**Zeile 100 (465-466)**



**Zeile 101 (466-471)**



**Zeile 102 (472-478)**



**Zeile 103 (479-484)**



## Funktionswerte

---

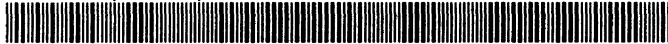
**Zeile 104 (484-489)**



**Zeile 105 (489-493)**



**Zeile 106 (494-499)**



**Zeile 107 (499-503)**



**Zeile 108 (503-509)**



**Zeile 109 (510-516)**



**Zeile 110 (517-522)**



**Zeile 111 (523-530)**



**Zeile 112 (531-537)**



**Zeile 113 (537-547)**



**Zeile 114 (548-559)**



**Zeile 115 (559-566)**



**Zeile 116 (566-575)**



**Zeile 117 (576-587)**



**Zeile 118 (588-589)**



---

# Relaisschaltungen – Entwurf und Test mit dem HP-41

Herbert Hoffmann

## 1 Einleitung

Trotz stürmischer Entwicklung der industriellen Elektronik werden in nicht wenigen Industriezweigen – aus welchen Gründen auch immer – weiterhin kontaktbehaftete Schaltungen verwendet. Da sich hier Maßnahmen zur Minimierung meist vorteilhaft auswirken, sollte jede Möglichkeit zur Einsparung von Kontakten genutzt werden. Eine davon ist das hier vorgestellte Programm. Es hilft beim Entwurf von Relaisschaltungen und gestattet die Überprüfung entwerfener Kontaktschaltungen.

Das Programm liefert eine Kontaktkaskade mit möglichst wenig Kontakten. Anregung dazu gab das Buch „Grundlagen der Struktursynthese von Relaisschaltungen“ von *W. N. Roginskij*, R. Oldenbourg, München. In diesem Buch wird unter anderem eine graphische Methode für den Entwurf von Kontaktschaltungen beschrieben. Der Verfasser bemerkt dazu: „Proben der Anwendung der graphischen Methode zeigen, daß die damit erstellten Schaltungen besonders im Falle von Kontaktvielpolen meist einfacher sind als Schaltungen, die man mit anderen Methoden erhält.“

Die Gleichförmigkeit der Kaskadenmethode ermöglicht einen Algorithmus zum Entwurf von Schaltungen mit Hilfe eines Programms. Dem handlichen HP-41 sind natürlich durch seinen Speicherumfang und seine Anzeige Grenzen gesetzt.

**Achtung!** Vor dem Arbeiten mit dem Programm ist ein ASCII-File mit 124 Registern (Kapazität des X-Funktions-Moduls) und dem Namen "K" mit XEQ "CRFLAS" anzulegen und ein beliebiger Wert in das Alpha-Register mit XEQ "APREC" einzugeben. Weiter ist durchzuführen: FIX 0, CF 29; SIZE 030;  $\Sigma$  REG 22; SIZE 021; ASN "RS" BEEP; ASN "SIGN" SCI; ASN "FC?" CF.

Folgende lokale Marken werden verwendet:

- A: Anfangswerte
- B: Basis
- C: Eingabe einer Kontaktschaltung
- D: Eingabe der Nummernsätze
- E: Eingabe der Erregerzahlen
- F: Vergleich einer Schaltung mit einem Nummernsatz
- G: Vergleich zweier Schaltungen
- H: Hohes Potential an Relaispulen
- I: Ausgabe aller Kontakte und Verbindungen
- J: Ausgabe der Nummernsätze
- a: Ausgabe aller Ausgangswerte einer Schaltung
- b: Berechnung der Nummernsätze
- e: Ausgabe von Einzelkontakten.

## 2 Die einzelnen Marken

- A: Nach A! fragt der Rechner mit "EING. VAR.?" nach der Anzahl der Eingangs-Variablen, die bis maximal 5 mit R/S! eingegeben wird. Anschließend wird mit "AUSG.?" die Anzahl der Ausgänge erwartet. Dann erscheint in der Anzeige "a-e?". Hier möchte der Rechner wissen, in welcher Reihenfolge die Kontakte in die Schaltung eingehen sollen (Basis). Die Reihenfolge ist frei wählbar, jedoch kann z. B. bei 4 Eingangs-Variablen nur zwischen den Kontakten „a—d“ gewählt werden.

Der Rechner verweigert mit "NONEXISTENT" eine unrichtige Anzahl der Kontakte und mit "DATA ERROR" die Eingabe eines falschen Kontaktes, jedoch nicht die unzulässig mehrfache Eingabe des gleichen Kontaktes. Zur Kontrolle wird die Reihenfolge der Kontakte am Ende der Übernahme angezeigt.

- B:** Mit dieser Taste kann die Reihenfolge der Kontakte verändert werden. Bei einer Änderung der Basis ändern sich die "Gewichte" der Relais. Hierdurch können verschiedene Schaltungen entstehen; die günstigste ist manuell auszuwählen. Ist die Basis "abcde", dann sind die Gewichte:

$$a = 2^4; b = 2^3; c = 2^2; d = 2^1; e = 2^0.$$

- C:** Kontaktschaltungen werden als Unterprogramme in den Rechner eingegeben. Nach C! wird mit "MARKE?" nach der globalen Marke des Unterprogramms gefragt, die für den Ausgangspunkt "P1" gelten soll. Bei mehreren Ausgängen sind die entsprechenden Marken der Unterprogramme einzugeben. Die einzelnen Schaltungen werden durchlaufen und alle Kombinationsnummern mit dem Ausgangswert "1" in das X-Funktions-Modul eingespeichert. (Alle Kombinationsnummern einer Schaltung mit dem Ausgangswert "1" werden als "Nummernsatz" dieser Schaltung bezeichnet.)

Da das Nullzeichen Schwierigkeiten bereiten kann, sind alle eingegebenen Kombinationsnummern um 1 erhöht. Der Rechner übernimmt maximal 23 Nummern. Bei 5 Eingangs-Variablen können — je nach Schaltung — mehr als 23 Kombinationen den Ausgangswert "1" annehmen. Der Rechner verweigert die Übernahme mit "OUT OF RANGE" und gibt ein BEEP-Signal.

- D:** Liegen die Ausgangswerte einer Schaltung in Form einer Funktionstabelle oder eines Nummernsatzes vor, wird die Taste D betätigt. Der Rechner fragt mit "NS 1?" nach dem Nummernsatz des Ausgangs 1. Hier sind die Kombinationsnummern mit Ausgangswert "1" einzeln einzuge-

ben. Sind alle Nummern eingegeben, wird nach einer weiteren Frage "NS 1?" ohne eine Eingabe R/S! betätigt. Liegen mehrere Ausgänge vor, wird jetzt nach den Nummernsätzen der weiteren Ausgänge gefragt.

- E:** Die Taste E vereinfacht die Eingabe bei einer symmetrischen Schaltung. Was ist darunter zu verstehen? Die Antwort in Form einer Aufgabe: „Am Ausgang einer Schaltung soll dann ein "1"-Signal vorhanden sein, wenn von 4 Relais 2 oder 3 beliebige Relaisspulen unter Spannung stehen, nicht bei 0, 1 oder 4!“ Natürlich könnte diese Bedingung in eine Funktionstabelle übertragen und mit Taste D in den Rechner eingegeben werden. Einfacher geht es jedoch mit E! Der Rechner fragt mit "EZ P1?" nach den Erregerzahlen der Schaltung für den Ausgangspunkt 1. Für obige Aufgabe sind einzugeben: 2 R/S!; 3 R/S!; R/S!. Der Rechner ermittelt den entsprechenden Nummernsatz.

Das Programm benutzt für "D" und "E" auf weite Strecken die gleichen Programmschritte. Bei D! wird in den DEG-Modus, bei E! in den RAD-Modus geschaltet und Flag 43 an entsprechender Stelle des Programms getestet.

Für C, D und E gilt: Nach der jeweils „letzten“ Eingabe wird eine günstige Kontaktschaltung ermittelt.

- F:** Nach F! fragt der Rechner mit "MARKE ?" nach der globalen Marke einer Schaltung und anschließend mit "P?" nach dem Ausgangspunkt. Bei Übereinstimmung aller Ausgangswerte erscheint "=", im anderen Fall das "≠"-Zeichen mit Angabe der Kombinations-Nummer, bei der erstmals Ungleichheit auftritt.
- G:** Mit Betätigung dieser Taste werden zwei Schaltungen miteinander verglichen, deren Marken mit "MARKE 1?" und "MARKE 2?" erfragt wurden. Bei G! wird in den GRAD-Modus geschaltet und Flag 42 zum Test herangezogen.

- H:** Nach H! fragt der Rechner mit "MARKE ?" nach der Marke einer Schaltung und anschließend mit "A-E1?", welche Relaispule an Spannung liegen soll. Die Eingabe erfolgt mit großen Buchstaben "A – E" in beliebiger Reihenfolge; falsche Buchstaben werden mit „DATA ERROR“ verweigert. Mit diesem Test kann geprüft werden, wie sich eine Umschaltung von Kontakten innerhalb einer gegebenen Schaltung auswirkt. Soll kein Relais an Spannung liegen, wird R/S! ohne Eingabe betätigt. Bei einem weiteren Test der gleichen Schaltung wird R/S! betätigt; die Frage nach der Marke unterbleibt.
- I:** Nach I! gibt der Rechner den ersten ermittelten Kontakt und seine Verbindung heraus. Mit jeweils R/S! werden die weiteren Kontakte genannt. Die Anzeige kann folgendes Aussehen haben:
- "c1A-2" : Arbeitskontakt von c1 geht nach Punkt 2
  - "b2A1b1R/6" : Arbeitskontakt von b2 ist verbunden mit Ruhekontakt b1
  - "a1A+/8" : Arbeitskontakt von a1 geht zum Pol der Spannungsquelle
  - "a1R\*9" : Ruhekontakt von a1 entfällt
  - "b1x-5" : Kontakt b1 entfällt; Verbindung nach Punkt 5.
- J:** Der Rechner fragt mit "P?" nach dem Ausgangspunkt, dessen Nummernsatz gewünscht wird. Mit R/S! werden alle Werte des Nummernsatzes genannt. Die Ausgabe wird mit z. B. "P (1) ≥ 4" beendet, was bedeuten soll, daß der Nummernsatz des Punktes 1 4 Werte hat. Die Eingabe eines nicht vorhandenen Ausgangspunktes wird mit „DATA ERROR“ verweigert.
- a:** Nach Eingabe der Marke der Schaltung werden jeweils bis 8 Ausgangswerte errechnet und dann gemeinsam ausgegeben. Außerdem bringt die Anzeige die erste und die letzte Kombinationsnummer, für die die Ausgangswerte errech-

net wurden. Den Abschluß bildet die Meldung "AWΣ" = alle Ausgangswerte sind ausgegeben.

- b:** Diese Taste wird betätigt, wenn ohne Berechnung einer Kontaktkaskade nur der Nummernsatz gewünscht wird. Nach b! fragt der Rechner mit "CE?", ob eine Kontaktschaltung nach "C" oder ob die Erregerzahlen einer symmetrischen Schaltung nach "E" „vorhanden“ sind. Bei einer symmetrischen Schaltung wird "E" eingegeben und R/S! betätigt. Bei einer Kontaktschaltung genügt die Betätigung von R/S!; der Buchstabe "C" wird automatisch übernommen. Die Eingabe der benötigten Werte geschieht wie unter "C" bzw. "E" beschrieben. Die Berechnung wird mit der Meldung "NSΣ" abgeschlossen. Der Nummernsatz wird mit J! abgerufen.
- e:** Diese Taste bringt die „Kennzeichen“ eines gewünschten Punktes der Schaltung (außer Ausgangspunkte) und wird verwendet, wenn einzelne Punkte der Schaltung überprüft werden sollen.

### 3 Eingabe von Schaltungen

Die Bedingungen einer Schaltung können durch einen Schaltplan, durch Nummernsätze oder bei symmetrischen Schaltungen durch die Erregerzahlen vorgegeben sein. Wir üben zunächst die Eingabe einiger Schaltungen nach modifizierten Schaltplänen. Bei Kontakten werden "Öffner", "Schließer" und "Wechsler" unterschieden. Da der Umlaut "ö" von dem Rechner nicht dargestellt werden kann und der Buchstabe "S" bei der Anzeige des Rechners mit der Zahl "5" leicht zu verwechseln ist, wird hier ein Öffner als "Ruhekontakt" und ein Schließer als "Arbeitskontakt" bezeichnet und mit "R" bzw. "A" abgekürzt.

Im Unterprogramm lassen sich für die Kontakte die im Rechner vorhandenen Flags einsetzen; als Wechsler allerdings nur in „Flußrichtung“ vom „Pol“ zu bei beiden „Ausgängen“. Die als Unterprogramm eingegebene Schaltung wird vom



Testprogramm immer mit dem Signalwert Null "0" begonnen. Erst beim „Pluspol“ "+" wird der Signalwert "1" erzeugt. Von den verschiedenen Rechnermöglichkeiten habe ich dafür den Befehl "Signum" ausgewählt und der Taste SCI zugeordnet.

Für die Kennzeichnung der Flags geben wir mit den Tasten "ABCDE" den entsprechenden Index ein. Die Taste "A" erzeugt z. B. den Index 01; die Taste "E" z. B. den Index 05. Als globale Marke des Unterprogramms verwenden wir die Bezeichnung der Abbildung; als „Klemmen“ numerische Labels.

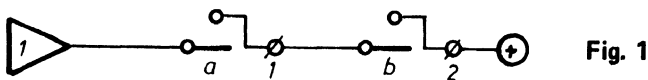


Fig. 1 zeigt eine Reihenschaltung der beiden Arbeitskontakte a und b. Wir können formulieren: „Wenn Arbeitskontakt a geschlossen ist, gib Spannung auf Klemme 1; wenn Arbeitskontakt b geschlossen ist, gib Spannung auf Klemme 2!“ Im Unterprogramm sagen wir dafür: "FS? A!;GTO 01; FS? B!; GTO 02." Eine Spannungsunterbrechung signalisieren wir mit "RTN" (kehre mit Signalwert "0" zurück). Damit haben wir eine Möglichkeit, Arbeitskontakte darzustellen. Das Unterprogramm für die Schaltung nach Fig. 1 lautet:

```

01 LBL  "1"
02 FS?  01      (Eingabe: FS?! A!)
03 GTO  01
04 RTN
05 LBL  01
06 FS?  02      (Eingabe: FS?! B!)
07 GTO  02
08 RTN
09 LBL  02
10 SIGN      (Eingabe: SCI!)
11 END

```

Nach der Eingabe des Unterprogramms: BEEP! Damit springen wir ins Testprogramm. Für den weiteren Ablauf verwenden wir folgende Tabelle:

Anzeige	Eingabe	Taste
"?"		A!
"EING. VAR.?"	2	R/S!
"AUSG.?"	1	R/S!
"a-e?"	"ab"	R/S!
"ab"		a!
"MARKE ?"	"1"	R/S!
"0:0001:3"		R/S!
"AWΣ"		

*Ergebnis:* Die Schaltung nach Fig. 1 hat bei den Kombinationen 0–2 jeweils den Ausgangswert "0", bei der Kombination 3 den Wert "1".

Bei einer anderen Fragestellung können wir auf die GTO-Befehle und die „Klemmen“ verzichten. „Ist der Arbeitskontakt **NICHT** geschlossen? Dann kehre mit Signalwert "0" zurück!“ Im Unterprogramm verwenden wir dafür: "FC?! RTN"

Den Befehl FC? habe ich das Taste "CF" zugeordnet. Mit der globalen Marke "1a" lautet das Unterprogramm für die Schaltung nach Fig. 1 jetzt:

```

01 LBL  "1a"
02 FC?  01      (Eingabe: CF! A!)
03 RTN
04 FC?  02      (Eingabe: CF! B!)
05 RTN
06 SIGN      (Eingabe: SC! I)
07 END
    
```

Wir testen auch dieses Unterprogramm. Da sich die „Anfangswerte“ nicht geändert haben, können wir auf A! verzichten und geben nach a! die Marke "1a" ein. Das *Ergebnis* ist ebenfalls "0:0001:3".

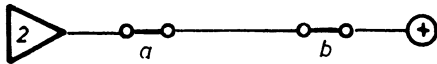


Fig. 2

Für Ruhekontakte geben wir ein: "FS?! RTN". Das Unterprogramm für die Schaltung nach Fig. 2 lautet:

```

01 LBL  "2"
02 FS?  01      (Eingabe: FS?! A!)
03 RTN
04 FS?  02      (Eingabe: FS?! B!)
05 RTN
06 SIGN      (Eingabe: SCII)
07 END
    
```

*Ergebnis:* "0:1000:3". Die Schaltung nach Fig. 2 hat bei der Kombination 0 den Ausgangswert "1", bei den Kombinationen 1–3 jeweils den Wert "0".

Eine Parallelschaltung der beiden Reihenschaltungen nach Fig. 1 und 2 müßte als *Ergebnis* bringen: "0:1001:3".

Das Unterprogramm für die Schaltung nach Fig. 3 hat folgende Schritte

01 LBL  "3"	05 LBL  01	12 LBL  02
02 XEQ  01	06 FC?  01	13 FS?  01
03 XEQ  02	07 RTN	14 RTN
04 RTN	08 FC?  02	15 FS?  02
	09 RTN	16 RTN
	10 SIGN	17 SIGN
	11 RTN	18 END

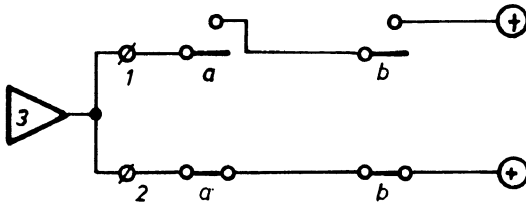


Fig. 3

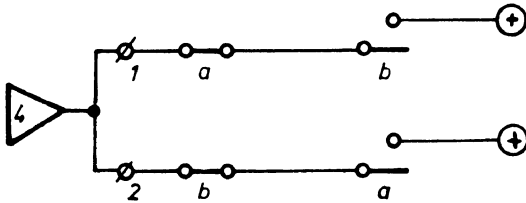


Fig. 4

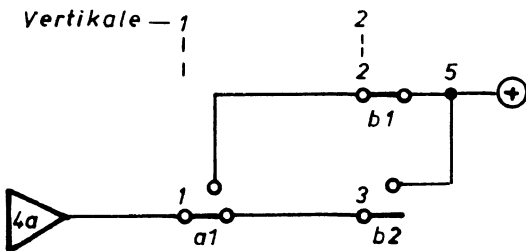


Fig. 4a

Auch hier haben sich die „Anfangswerte“ nicht geändert. Nach *a1* geben wir als MARKE "3" ein. Als *Ergebnis* erhalten wir wie gewünscht: "0:1001:3".

Die Schaltung nach Fig. 4 stellt ein Exklusiv-Or dar.

Hierfür gilt: Am Ausgang ist nur dann ein "1"-Signal, wenn von zwei Relais nur eins in Arbeitsstellung ist, nicht wenn beide in Ruhestellung oder beide in Arbeitsstellung sind.

Das Unterprogramm für die Schaltung nach Fig. 4 hat folgende Schritte:

01 LBL "4"	06 FS? 01	13 FS? 02
02 XEQ 01	07 RTN	14 RTN
03 XEQ 02	08 FC? 02	15 FC? 01
04 RTN	09 RTN	16 RTN
05 LBL 01	10 SIGN	17 SIGN
	11 RTN	18 END
	12 LBL 02	

Nach a! geben wir "4" ein und erhalten als *Ergebnis*:  
 "0:0110:3".

Bei dieser Schaltung wollen wir den Einsatz der Taste "H" üben. Also H! "MARKE ?" "4" R/S! "A-E↑-". Wir betätigen R/S! ohne eine Eingabe. Das bedeutet: Alle Relaisspulen sind spannungslos. *Ergebnis*: "0". Nun R/S! "A-E↑?" "A" R/S! (die Spule des Relais A steht unter Spannung, die Kontakte dieses Relais sind in Arbeitsstellung). *Ergebnis*: "1". R/S! "A-E↑?" "B" R/S! *Ergebnis*: "1". R/S! "A-E↑?" "AB" R/S! (die Spulen beider Relais stehen unter Spannung, die Kontakte beider Relais sind in Arbeitsstellung). *Ergebnis*: "0".

Wir wollen sehen, ob der Rechner diese einfache Schaltung ebenfalls findet. C!: "MARKE P1?" "4" R/S! Nach ca. 1,5 Minuten ertönt ein BEEP-Signal; in der Anzeige steht die Ziffer 7. Die Ziffer 7 besagt, daß der Rechner eine Schaltung mit 7 Punkten ermittelt hat, die wir wie folgt „auf's Papier“ bringen (siehe Fig. 4a):

Wir zeichnen an den linken Rand ein Dreieck, dessen Spitze zum Punkt 1 zeigt. (Da sich die Schaltung nach oben hin „ausbreitet“, darf das Dreieck nicht zu weit oben angesetzt werden.) Nach I! bringt der Rechner: "a1A-2", d. h. der Arbeitskontakt des Relais a geht nach Punkt 2. Dieser Punkt 2 liegt auf der 2. Vertikalen. R/S!: "a1R-3", d. h. der Ruhekontakt des Relais a geht nach Punkt 3. Die beiden Punkte 2 und 3 stellen die Pole eines weiteren Relais dar. R/S!: "b1A\*/4".

Es besagt: Der Arbeitskontakt des Relais b1 entfällt, die Nummer des Punktes 4 dient nur zur Kontrolle. R/S!: "b1R+/5", d. h. der Ruhekontakt des Relais b1 geht an den Pluspol der Spannungsquelle. Hier tragen wir die Nummer des Punktes 5 ein. R/S!: "b2A+/6", d. h. der Arbeitskontakt des Relais b2 geht ebenfalls an "+". R/S!: "b2R\*/7", d. h. der Ruhekontakt des Relais b2 entfällt. Damit haben wir alle 7

## Relaisschaltungen

Punkte übernommen. Zur Kontrolle R/S!: " $\Sigma ab$ ", alle Kontakte der Relais a und b mit ihren Verbindungen sind ausgegeben.

Die beiden Kontakte b1 und b2 gehören zur gleichen Relaispule B. Der Rechner hat die einfache Schaltung nach Fig. 4 noch weiter vereinfacht und die beiden Kontakte des Relais a zu einem Wechsler vereinigt. (Leider schafft es der Rechner nicht, auch die beiden Kontakte des Relais b zu einem Wechsler zu vereinigen. In der Praxis ist der letzte Kontakt der Schaltung zu einem Wechsler mit Pol zur Spannungsquelle umzuzeichnen!)

Die Schaltung nach Fig. 4a geben wir wie folgt als Unterprogramm ein:

01 LBL	"4a"	05 GTO	05	09 RTN	
02 FS?	01	06 RTN		10 LBL	05
03 GTO	02	07 LBL	02	11 SIGN	
04 FS?	02	08 FS?	02	12 END	

Nach der Eingabe des Unterprogramms wieder mit BEEP! ins Testprogramm. Wir wollen prüfen, ob die beiden Schaltungen nach Fig. 4 und 4a gleiche Ausgangswerte haben. Hierfür G!:

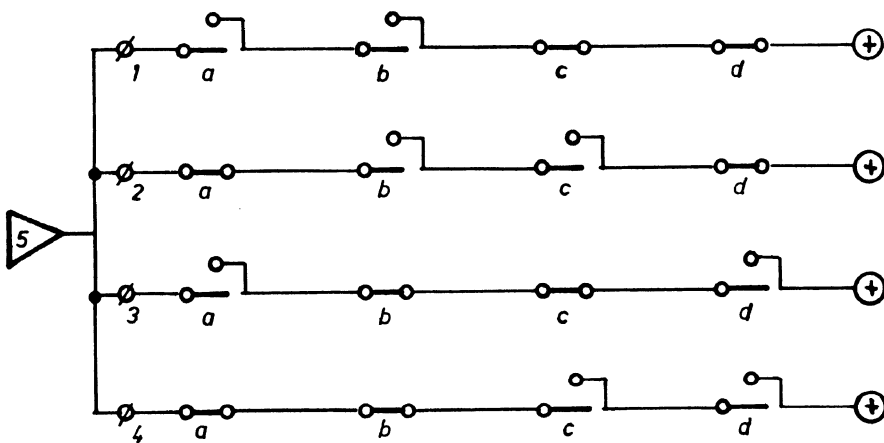


Fig. 5

“MARKE 1?” “4” R/S! “MARKE 2?” “4a” R/S! Nach knapp 10 Sekunden meldet der Rechner mit “=”, daß beide Schaltungen übereinstimmen.

Nun übertragen wir die Schaltung nach Fig. 5 und lassen vom Rechner feststellen, welche Vereinfachungen möglich sind. Hier das Unterprogramm:

01 LBL “5”	18 LBL 02	35 RTN
02 XEQ 01	19 FS? 01	36 FC? 04
03 XEQ 02	20 RTN	37 RTN
04 XEQ 03	21 FC? 02	38 SIGN
05 XEQ 04	22 RTN	39 RTN
06 RTN	23 FC? 03	40 LBL 04
07 LBL 01	24 RTN	41 FS? 01
08 FC? 01	25 FS? 04	42 RTN
09 RTN	26 RTN	43 FS? 02
10 FC? 02	27 SIGN	44 RTN
11 RTN	28 RTN	45 FC? 03
12 FS? 03	29 LBL 03	46 RTN
13 RTN	30 FC? 01	37 FC? 04
14 FS? 04	31 RTN	48 RTN
15 RTN	32 FS? 02	49 SIGN
16 SIGN	33 RTN	50 RTN oder END
17 RTN	34 FS? 03	

## 4 Berechnungen

Nach der Eingabe der Schaltung verwenden wir für den weiteren Ablauf folgende Tabelle:

Anzeige	Eingabe	Taste
beliebig		BEEP!
“?”		A!
“EING. VAR.?”	4	R/S!
“AUSG.?”	1	R/S!
“a-e?”	“abcd”	R/S!
“abcd”		C!
“MARKE P1?”	“5”	R/S!

Nach ca. 4 Minuten ertönt ein BEEP-Signal mit der Meldung, daß eine Schaltung mit 19 Punkten ermittelt wurde. Die mit I! ausgegebene Schaltung zeigt Fig. 5a. Auch hier werden die beiden Kontakte d1 und d2 zu einem Wechsler vereinigt. Wir versuchen, ob durch Veränderung der Basis die Schaltung weiter vereinfacht werden kann. B! "a-e?", beliebig einmal "adbc" R/S! Die Zahl 19 in der Anzeige läßt uns vermuten, daß keine günstigere Schaltung gefunden wurde, wie auch die ausgegebene Schaltung nach Fig. 5b zeigt.

Noch einmal B! "a-e?" Wieder auf gut Glück "acbd" R/S! R/S! Nach ca. 2 Minuten 45 Sekunden meldet der Rechner eine Schaltung mit 13 Punkten. Die ermittelte Schaltung zeigt Fig. 5c. Die für die Praxis umgezeichnete Schaltung nach Fig. 5d zeigt einen Wechsler je Relais. Gegenüber der Schaltung nach Fig. 5 eine erstaunliche Vereinfachung.

Aus der Funktionstabelle lesen wir den Nummernsatz NS = 1, 2, 4, 7 ab, den wir wie folgt eingeben:

c	b	a	K	A	Anzeige	Eingabe	Taste
0	0	0	0	0	beliebig		A!
0	0	1	1	1	"EING. VAR.?"	3	R/S!
0	1	0	2	1	"AUSG.?"	1	R/S!
0	1	1	3	0	"a-e?"	"cba"	R/S!
1	0	0	4	1	"cba"		D!
1	0	1	5	0	"NS 1?"	1	R/S!
1	1	0	6	0	"NS 1?"	2	R/S!
1	1	1	7	1	"NS 1?"	4	R/S!
					"NS 1?"	7	R/S!
					"NS 1?"		R/S!



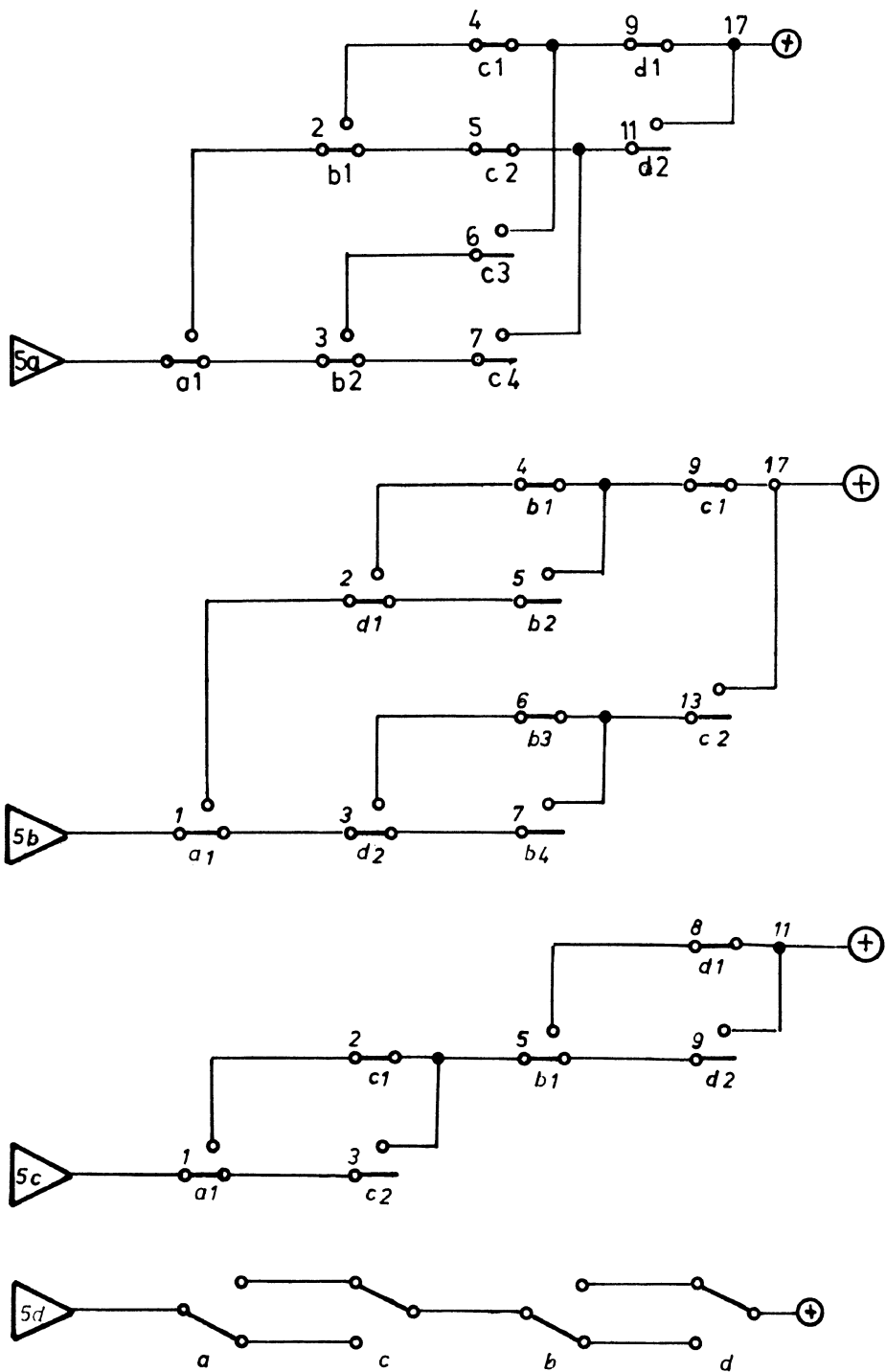


Fig. 5

Die ermittelte Schaltung mit 11 Punkten zeigt Fig. 6 , die wir als Unterprogramm eingeben:

01 LBL	"6"	06 GTO	04	11 FS?	01	16 RTN
02 FS?	03	07 LBL	02	12 RTN		17 LBL 08
03 GTO	02	08 FS?	02	13 GTO	08	18 SIGN
04 FS?	02	09 GTO	04	14 LBL	04	19 END
05 GTO	05	10 LBL	05	15 FC?	01	

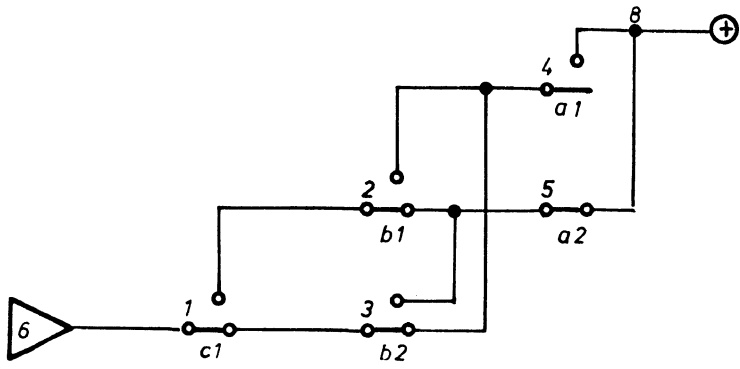


Fig. 6

Nach der Eingabe der Schaltung wollen wir prüfen, ob sie mit dem Nummernsatz des Ausgangspunktes 1 übereinstimmt.

Anzeige	Eingabe	Taste
beliebig		BEEP!
"?"		F!
"MARKE ?"	"6"	R/S!
"P?"	"1"	R/S!

Nach ca. 15 Sekunden wird mit "=" Übereinstimmung gemeldet.

Fig. 7 zeigt ein Karnaugh-Veitch-Diagramm für vier Eingangsvariablen. Wir nehmen einmal an, daß die Kombinationen 2, 3, 7 und 6 ein "1"-Signal bringen sollen. (Der Kenner weiß, daß in diesem Fall die Kontakte a und c verschwinden.)

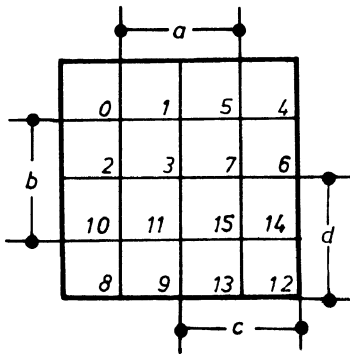


Fig. 7

Die Eingabe wieder in Tabellenform:

Anzeige	Eingabe	Taste
beliebig		BEEP!
"?"		A!
"EING. VAR.?"	4	R/S!
"AUSG.?"	1	R/S!
"a-e?"	"dcba"	R/S!
"dcba"		D!
"NS 1?"	2	R/S!
"NS 1?"	3	R/S!
"NS 1?"	7	R/S!
"NS 1?"	6	R/S!
"NS 1?"		R/S!

Das Ergebnis zeigt Fig. 8. Der Rechner meldet mit "– 1", daß nicht alle Kontakte in die Schaltung eingegangen sind. Für c1 meldet der Rechner "c1x-4", d. h. dieser Kontakt entfällt. Die Ausgabe der Schaltung wurde beendet mit " $\Sigma$  dcba", d. h. alle Punkte sind ausgegeben. Der Kontakt a wurde nicht genannt.

Wir wählen versuchsweise die Basis "bdac" B! "a-e?" "bdac" R/S! R/S! Wie erwartet erhalten wir wieder in der Anzeige "– 1". Die Schaltung zeigt Fig. 8a; die Kontakte a und c sind nicht mehr vorhanden.

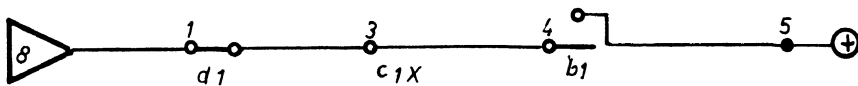


Fig. 8

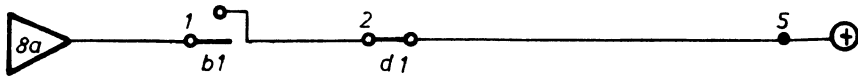


Fig. 8a

Die unter "E" für eine symmetrische Schaltung gegebene Aufgabe lautete: „Am Ausgang einer Schaltung soll dann ein "1"-Signal vorhanden sein, wenn von vier Relais 2 oder 3 beliebige Relaispulen unter Spannung stehen, nicht bei 0, 1 oder 4.“

Hier die Eingabe:

Anzeige	Eingabe	Taste
beliebig		BEEP!
"?"		A!
"EING. VAR.?"	4	R/S!
"AUSG.?"	1	R/S!
"a-e?"	"abcd"	R/S!
"abcd"		E!
"EZ P1?"	2	R/S!
"EZ P1?"	3	R/S!
"EZ P1?"		R/S!

Der Rechner ermittelt zuerst den für die Erregerzahlen 2 und 3 gültigen Nummernsatz und anschließend eine günstige Schaltung. Der „Suchvorgang“ dauert ca. 4 Minuten 15 Sekunden. Das Ergebnis zeigt Fig. 9.

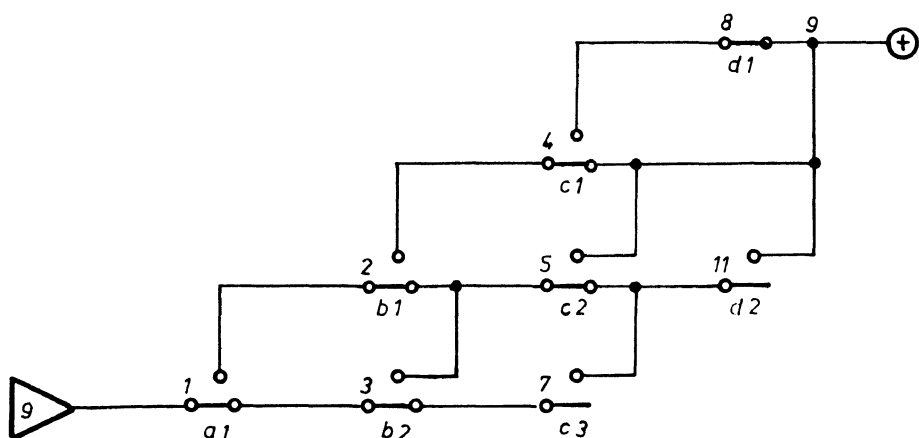


Fig. 9

Hier wollen wir eine symmetrische Schaltung mit 2 Ausgängen ermitteln. Ausgangspunkt 1 soll Spannung erhalten, wenn von vier Relais 1 oder 3 beliebige Relais „erregt“ sind, Punkt 2 bei 0 oder 2.

Anzeige	Eingabe	Taste
beliebig		BEEP!
"?"		A!
"EING. VAR.?"	4	R/S!
"AUSG.?"	2	R/S!
"a-e?"	"abcd"	R/S!
"abcd"		E!
"EZ 1?"	1	R/S!
"EZ 1?"	3	R/S!
"EZ 1?"		R/S!
"EZ 2?"	∅	R/S!
"EZ 2?"	2	R/S!
"EZ 2?"		R/S!

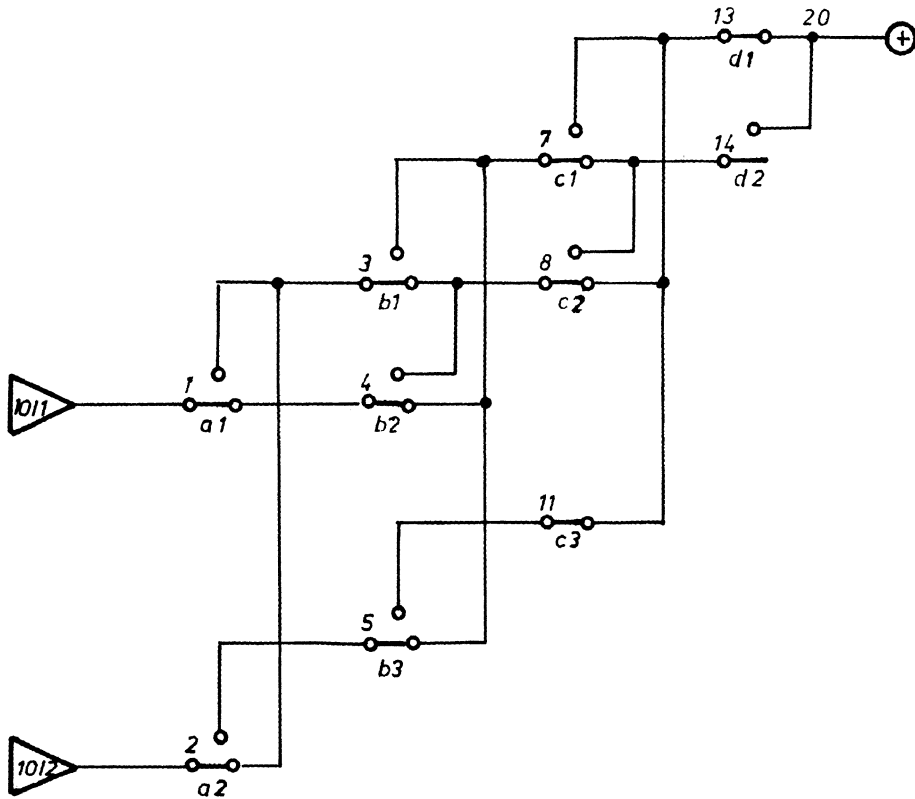


Fig. 10

Bei der Übertragung „auf's Papier“ beachten wir, daß zwei Ausgangspunkte aufgezeichnet werden. Als globale Marken wählen wir "10/1" und "10/2". Die gesamte Schaltung zeigt Fig. 10.

Das Unterprogramm für diese Schaltung kann folgende Schritte haben:

01 LBL "10/2"	07 GTO 11	13 LBL "10/1"
02 FS? 01	08 GTO 07	14 FS? 01
03 GTO 05	09 LBL 11	15 GTO 03
04 GTO 03	10 FS? 03	16 FS? 02
05 LBL 05	11 RTN	17 GTO 08
06 FS? 02	12 GTO 13	18 GTO 07

(Fortsetzung)

19 LBL 03	26 LBL 07	32 LBL 13
20 FS? 02	27 FS? 03	34 FS? 04
21 GTO 07	28 GTO 13	35 RTN
22 LBL 08	29 LBL 14	36 LBL 20
23 FS? 03	30 FS? 04	37 SIGN
24 GTO 14	31 GTO 20	38 END
25 GTO 13	32 RTN	

Bei diesem Unterprogramm sind alle Kontakte einheitlich mit FS? dargestellt.

Zur Kontrolle: BEEP! "?" F! "MARKE?" "10/1" R/S!  
"P?" "1" R/S! Nach ca. 30 Sekunden: "=".

F! "MARKE?" "10/2" R/S! "P?" "2" R/S!

Nach ca. 30 Sekunden: "=". Beide Ausgänge stimmen mit den gewünschten Erregerzahlen überein.

Vom Rechner wünschen wir die Ausgabe einer Schaltung für fünf Eingangs-Variablen und sechs Ausgängen, wobei die Ausgänge folgenden Erregerzahlen genügen sollen:

P1: EZ = 0

P2: EZ = 1

P3: EZ = 2

P4: EZ = 3

P5: EZ = 4

P6: EZ = 5

Anzeige	Eingabe	Taste
beliebig		BEEP!
"?"		A!
"EING. VAR.?"	5	R/S!
"AUSG.?"	6	R/S!
"a-e?"	"abcde"	R/S!
"abcde"		E!
"EZ P1?"	0	R/S!
"EZ P1?"		R/S!
"EZ P2?"	1	R/S!
"EZ P2?"		R/S!
"EZ P3?"	2	R/S!
"EZ P3?"		R/S!
"EZ P4?"	3	R/S!
"EZ P4?"		R/S!
"EZ P5?"	4	R/S!
"EZ P5?"		R/S!
"EZ P6?"	5	R/S!
"EZ P6?"		R/S!

Nach ca. 17 Minuten meldet der Rechner 46 Punkte. Die ermittelte Schaltung zeigt Fig. 11.

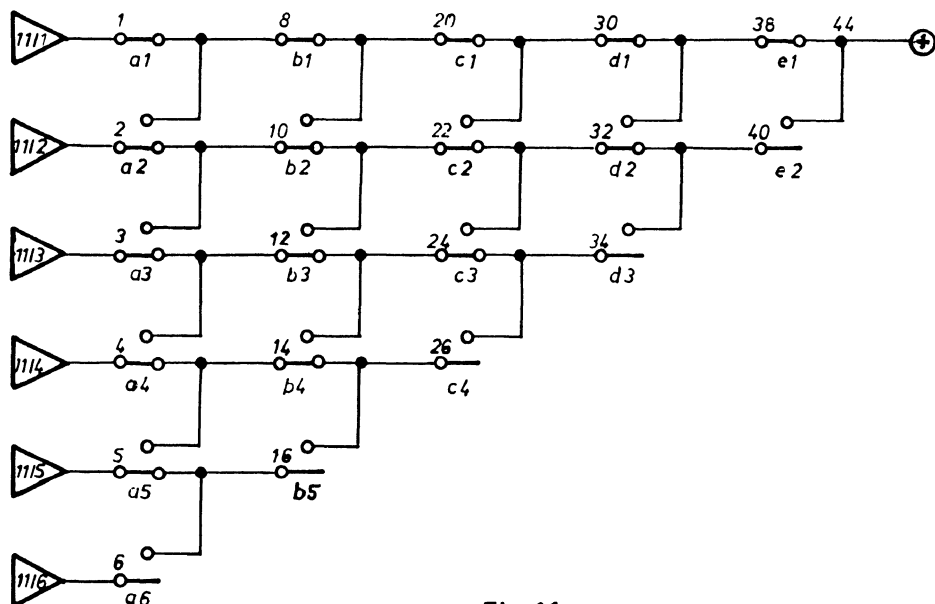


Fig. 11



## Relaisschaltungen

---

Das Unterprogramm kann folgende Schritte aufweisen:

01 LBL "11/6"	24 GTO 10	47 LBL 40
02 FS? 01	25 LBL 12	48 FS? 05
03 GTO 16	26 FS? 02	49 GTO 44
04 RTN	27 GTO 22	50 RTN
05 LBL "11/5"	28 LBL 24	51 LBL "11/1"
06 FS? 01	29 FS? 03	52 FS? 01
07 GTO 14	30 GTO 32	53 RTN
08 LBL 16	31 LBL 34	54 LBL 08
09 FS? 02	32 FS? 04	55 FS? 02
10 GTO 26	33 GTO 40	56 RTN
11 RTN	34 RTN	57 LBL 20
12 LBL "11/4"	35 LBL "11/2"	58 FS? 03
13 FS? 01	36 FS? 01	59 RTN
14 GTO 12	37 GTO 08	60 LBL 30
15 LBL 14	38 LBL 10	61 FS? 04
16 FS? 02	39 FS? 02	62 RTN
17 GTO 24	40 GTO 20	63 LBL 38
18 LBL 26	41 LBL 22	64 FS? 05
19 FS? 03	42 FS? 03	65 RTN
20 GTO 34	43 GTO 30	66 LBL 44
21 RTN	44 LBL 32	67 SIGN
22 LBL "11/3"	45 FS? 04	68 END
23 FS? 01	46 GTO 38	

Zur Kontrolle der einzelnen Punkte:

Anzeige	Eingabe	Taste
beliebig		BEEP!
"?"		F!
"MARKE ?"	"11/1"	R/S!
"P?"	"1"	R/S!
"="		

Die weiteren Punkte werden analog getestet.

Für die Schaltung nach Fig. 11 stellen wir folgende

### Aufgabe:

Von fünf Relais soll dann ein "1"-Signal erzeugt werden, wenn 1 oder 3 beliebige Relais „erregt“ sind, nicht bei 0, 2, 4, 5.

Dazu schalten wir die Ausgänge "11/2" und "11/4" parallel. Als Marke wählen wir LBL "11b" und geben zusätzlich als Unterprogramm ein:

```
01 LBL "11b" 02 XEQ "11/2" 03 XEQ "11/4" 04 END
```

Nach der Eingabe des zusätzlichen Unterprogrammes für die Parallelschaltung:

Anzeige	Eingabe	Taste
beliebig		BEEP!
"?"		A!
"EING. VAR.?"	5	R/S!
"AUSG.?"	1	R/S!
"a-e?"	"abcde"	R/S!
"abcde"		b!
"CE?"	"e"	R/S!
"EZ P1?"	1	R/S!
"EZ P1?"	3	R/S!
"EZ P1?"		R/S!

(Der Rechner ermittelt jetzt den für die gestellte Aufgabe erforderlichen Nummernsatz und speichert diesen in Punkt 1)

"NSΣ"		F!
"MARKE ?"	"11b"	R/S!
"P?"	"1"	R/S!
"="		

Für den Test benötigt der Rechner etwas über 1 Minute.

In der Praxis wird natürlich für einen konkreten Fall die symmetrische Schaltung nach Fig. 11 nicht verwendet. Für obige Aufgabe ermittelt der Rechner eine Schaltung nach Fig. 12.

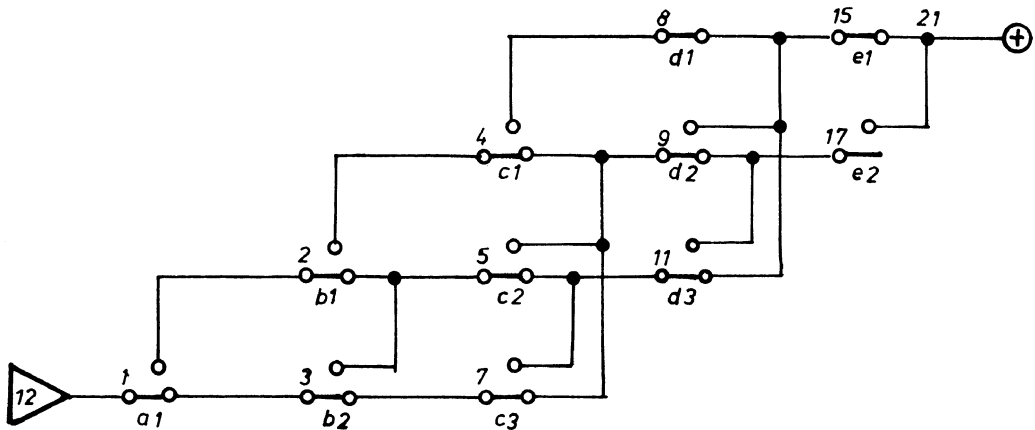


Fig. 12

Das Unterprogramm für diese Schaltung kann folgende Schritte enthalten:

01 LBL "12"	13 FS? 03	25 LBL 17
02 FS? 01	14 GTO 09	26 FS? 05
03 GTO 02	15 LBL 11	27 GTO 21
04 FS? 02	16 FS? 04	28 RTN
05 GTO 05	17 GTO 17	29 LBL 08
06 FS? 03	18 GTO 15	30 FS? 04
07 GTO 11	19 LBL 04	31 RTN
08 GTO 09	20 FS? 03	32 LBL 15
09 LBL 02	21 GTO 08	33 FS? 05
10 FS? 02	22 LBL 09	34 RTN
11 GTO 04	23 FS? 04	35 LBL 21
12 LBL 05	24 GTO 15	35 SIGN
		37 END

*W. N. Roginskij* macht in seinem oben erwähnten Buch darauf aufmerksam, daß in manchen Fällen durch Umzeichnen eines Schaltplanes weitere Kontakte eingespart werden können. Für eine Schaltung mit vier Eingangs-Variablen und zwei Ausgängen sollen die beiden Nummernsätze gelten:

NS 1: 1, 3, 8, 10, 13, 15. NS 2: 6, 7, 8, 9, 12, 13.

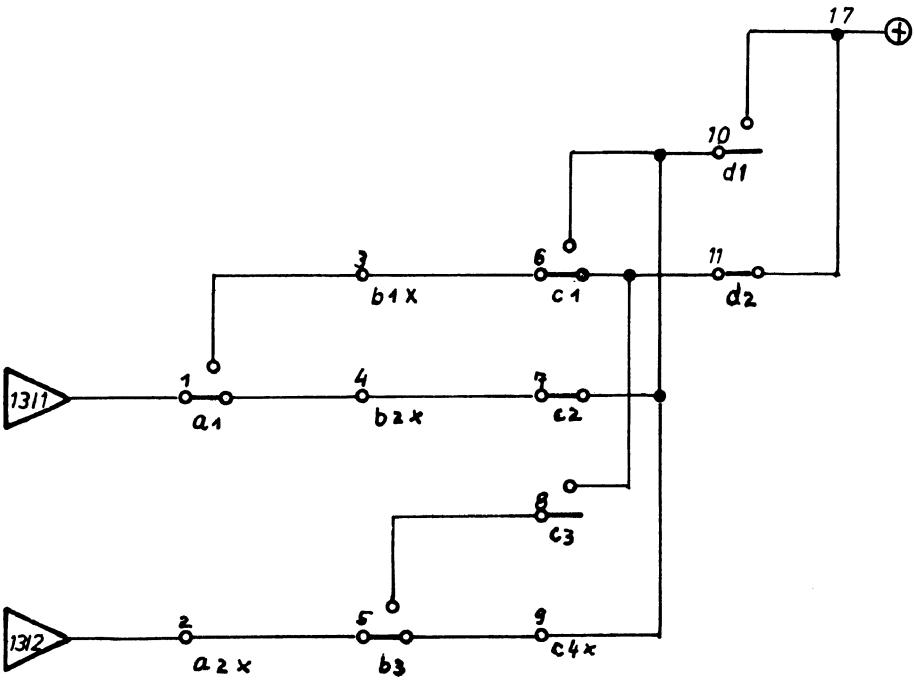


Fig. 13

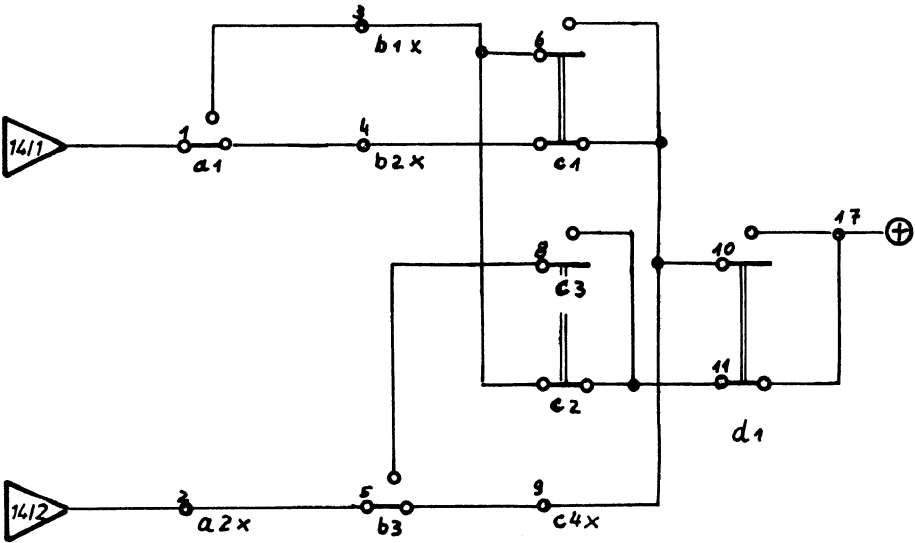


Fig. 14

Die vom Rechner ermittelte Schaltung zeigt Fig. 13. Nach dem Umzeichnen der Kontakte d1 und d2 enthält diese Schaltung vier Wechsler, einen Ruhekontakt und einen Arbeitskontakt. Die für unseren Test modifizierte Schaltung nach Fig. 14 enthält fünf Wechsler.

Das Unterprogramm für die Schaltung nach Fig. 14 kann lauten:

01 LBL "14/2"	11 GTO 06	21 GTO 17
02 FS? 02	12 FS? 03	22 LBL 10
03 GTO 08	13 RTN	23 FS? 04
04 GTO 10	14 GTO 10	24 GTO 17
05 LBL 08	15 LBL 06	25 RTN
06 FS? 03	16 FS? 03	26 LBL 17
07 GTO 11	17 GTO 10	27 SIGN
08 RTN	18 LBL 11	28 END
09 LBL "14/1"	19 FS? 04	
10 FS? 01	20 RTN	

Test über Taste F!

## 5 Heizungsregelung

Als Abschluß soll eine praktische Aufgabe dienen:

Ein Betrieb mit fünf etwa gleich großen Werkhallen wird über eine Warmluftanlage beheizt. Zur Verfügung steht ein Warmluftgebläse mit einem Zweistufenbrenner und einem dreistufigen Ventilator. In jeder Halle ist ein Thermostat installiert, der eine Luftklappe steuert. Bei geöffneter Luftklappe wird ein Relais angesprochen, welches mit den Relais der anderen Klappen folgende Kombinationen bewirken soll:

Brenner Stufe 1	bei 1 oder 2 Relais
Brenner Stufe 2	bei 3, 4 oder 5 Relais
Ventilator Stufe 1	bei 1 Relais
Ventilator Stufe 2	bei 2 oder 3 Relais
Ventilator Stufe 3	bei 4 oder 5 Relais.

Für diese Aufgabe geben wir ein:

Anzeige	Eingabe	Taste
beliebig		BEEP!
"?"		A!
"EING. VAR.?"	5	R/S!
"AUSG.?"	5	R/S!
"a-e?"	"abcde"	R/S!
"abcde"		E!
"EZ P1?"	1	R/S!
"EZ P1?"	2	R/S!
"EZ P1?"		R/S!
"EZ P2?"	3	R/S!
"EZ P2?"	4	R/S!
"EZ P2?"	5	R/S!
"EZ P2?"		R/S!
"EZ P3?"	1	R/S!
"EZ P3?"		R/S!
"EZ P4?"	2	R/S!
"EZ P4?"	3	R/S!
"EZ P4?"		R/S!
"EZ P5?"	4	R/S!
"EZ P5?"	5	R/S!
"EZ P5?"		R/S!

Für diese Aufgabe benötigt der Rechner fast 27 Minuten. Den Aufbau der Schaltung zeigt Fig. 15. Das Unterprogramm ist auf Seite 63 abgedruckt.

Die mit J! erfragten und in der Funktionstabelle mit "+" gekennzeichneten Kombinationen stimmen mit der Aufgabenstellung überein; ebenso die mit a! errechneten Ausgangswerte.

Einige Anmerkungen zum Programm:

Nach der Berechnung oder Eingabe der Nummernsätze werden die Sätze aller Ausgänge der Kontakte einer Vertikalen überprüft: Ausgänge mit gleichen Sätzen werden miteinander verbunden (Zeichen "↑"), leere Kontakte entfallen (Zeichen "x", das Multiplikationszeichen des Rechners), gleiche Sätze

01 LBL	"15e"	02 FS?	01	03 GTO	09	04 FS?	02	05 GTO	23
06 RTN		07 LBL	"15d"	08 FS?	01	09 GTO	07	10 FS?	02
11 GTO	19	12 GTO	21	13 LBL	"15c"	14 FS?	01	15 GTO	10
16 FS?	02	17 GTO	16	18 FS?	03	19 GTO	33	20 FS?	04
21 GTO	47	22 GTO	51	23 LBL	10	24 FS?	02	25 RTN	
26 GTO	16	27 LBL	"15b"	28 FS?	01	29 GTO	08	30 LBL	09
31 FS?	02	32 GTO	21	33 LBL	23	34 FS?	03	35 GTO	41
36 RTN		37 LBL	08	38 FS?	02	39 GTO	20	40 LBL	21
41 FS?	03	42 GTO	37	43 LBL	41	44 FS?	04	45 GTO	51
46 RTN		47 LBL	20	48 FS?	03	49 GTO	57	50 GTO	37
51 LBL	"15a"	52 FS?	01	53 GTO	06	54 LBL	07	55 FS?	02
56 GTO	17	57 LBL	19	58 FS?	03	59 GTO	35	60 LBL	37
61 FS?	04	62 GTO	57	63 LBL	51	64 FS?	05	65 GTO	57
66 RTN		67 LBL	06	68 FS?	02	69 GTO	16	70 LBL	17
71 FS?	03	72 GTO	33	73 LBL	35	74 FS?	04	75 GTO	47
76 GTO	57	77 LBL	16	78 FS?	03	79 RTN		80 LBL	33
81 FS?	04	82 RTN		83 LBL	47	84 FS?	05	85 RTN	
86 LBL	57	87 SIGN		88 END					

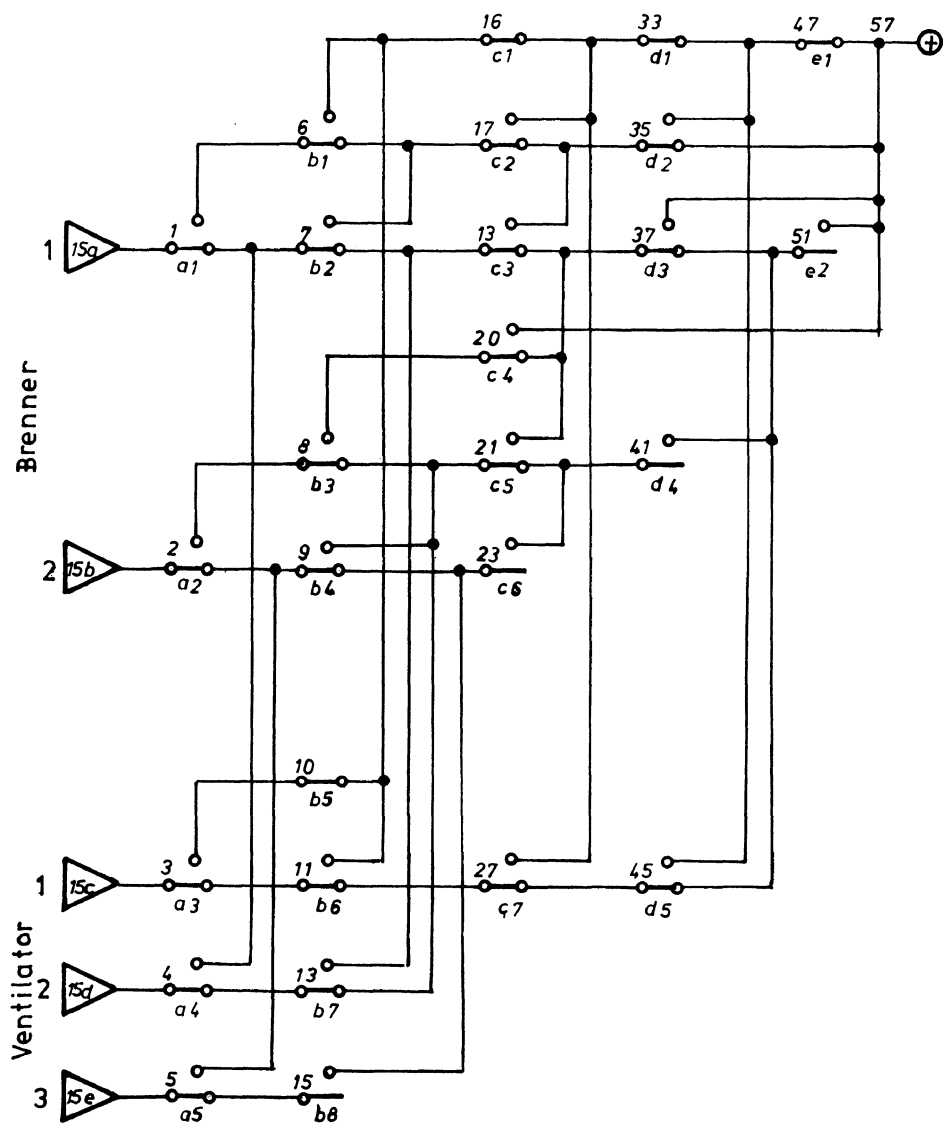


Fig. 15



## Relaisschaltungen

Die Nummernsätze der Punkte P1–P5 und die Ausgangswerte der Marken "15a"–"15e" übertragen wir in die Funktionstabelle für fünf Eingangs-Variablen.

Gerät					Brenner					Ventilator						
					EZ	1, 2		3, 4, 5			1		2, 3		4, 5	
a	b	c	d	e	K	P1	15a	P2	15b	P3	15c	P4	15d	P5	15e	
0	0	0	0	0	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	
0	0	0	0	1	1	+	1	—	0	+	1	—	0	—	0	
0	0	0	1	0	2	+	1	—	0	+	1	—	0	—	0	
0	0	0	1	1	3	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
0	0	1	0	0	4	+	1	—	0	+	1	—	0	—	0	
0	0	1	0	1	5	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
0	0	1	1	0	6	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
0	0	1	1	1	7	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
0	1	0	0	0	8	+	1	—	0	+	1	—	0	—	0	
0	1	0	0	1	9	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
0	1	0	1	0	10	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
0	1	0	1	1	11	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
0	1	1	0	0	12	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
0	1	1	0	1	13	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
0	1	1	1	0	14	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
0	1	1	1	1	15	—	0	+	1	—	0	—	0	+	1	
1	0	0	0	0	16	+	1	—	0	+	1	—	0	—	0	
1	0	0	0	1	17	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
1	0	0	1	0	18	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
1	0	0	1	1	19	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
1	0	1	0	0	20	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
1	0	1	0	1	21	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
1	0	1	1	0	22	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
1	0	1	1	1	23	—	0	+	1	—	0	—	0	+	1	
1	1	0	0	0	24	+	1	—	0	—	0	+	1	—	0	
1	1	0	0	1	25	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
1	1	0	1	0	26	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
1	1	0	1	1	27	—	0	+	1	—	0	—	0	+	1	
1	1	1	0	0	28	—	0	+	1	—	0	+	1	—	0	
1	1	1	0	1	29	—	0	+	1	—	0	—	0	+	1	
1	1	1	1	0	30	—	0	+	1	—	0	—	0	+	1	
1	1	1	1	1	31	—	0	+	1	—	0	—	0	+	1	

bei den beiden Ausgängen des gleichen Wechslers bedeuten, daß der Wechsler entfällt (Zeichen "X"), volle Sätze am Ausgang eines Kontaktes bedeuten, daß dieser Ausgang direkt mit dem Pol der Spannungsquelle verbunden wird (Zeichen "+").

Die Daten werden im X-Funktions-Modul gespeichert. Nach dem Durchgang aller Ausgänge einer Vertikalen werden die nicht mehr benötigten Daten gelöscht. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, auch umfangreiche Schaltungen zu testen. Die Löschung benötigt leider verhältnismäßig viel Zeit. Im Testprogramm ist auf Unterprogramme weitgehend verzichtet.

*W. N. Roginskij* bemerkt in seinem vorgenannten Buch, „daß in jeder Etappe des Entwurfes immer nur die Kontakte eines Relais eingeführt werden“. Parallelschaltungen werden als solche nicht erkannt. Bei zwei Eingangsvariablen hat eine Parallelschaltung der beiden Kontakte a und b den Nummernsatz 1, 2, 3. Der Rechner ermittelt zwar eine funktionsfähige Schaltung, bringt jedoch einen nicht erforderlichen Ruhekontakt des ersten Relais.

Der kurze Programmteil mit der globalen Marke LBL “%” wird in den Wert “1” verwandelt und umgekehrt. Für Schaltungen mit inversen Ausgängen zu verwenden.

Das Programm ist eingehend getestet. Eine Garantie dafür, daß in jedem Fall eine einwandfreie Schaltung entworfen wird, kann jedoch nicht übernommen werden.

Das Programm verarbeitet nur Nummernsätze mit obligatorischen Nummern; bedingte (gleichgültige) Nummern werden nicht berücksichtigt.

Programmliste

001 LBL RS	002 CF 28	003 '?'
004 PROMPT	005 LBL A	006 5
007 'EING. VAR.?'	008 PROMPT	009 $X \geq Y?$
010 ACOS	011 STO 12	012 2
013 $X \angle \Delta Y$	014 $Y \neq X$	015 1
016 -	017 1 E3	018 STO 13
019 /	020 STO 14	021 'AUSG.?'
022 PROMPT	023 STO 11	024 RCL 13
025 /	026 1	027 +
028 STO 15	029 LBL B	030 'a-e?'
031 RCL 12	032 AON	033 PROMPT
034 AOFF	035 ALENG	036 $X \neq Y?$
037 SF 66	038 STO 00	039 CLX
040 SEEKPT	041 DELREC	042 INSREC
043 LBL 15	044 2	045 RCL 00
046 1	047 -	048 $Y \neq X$
049 2	050 ATOX	051 STO 04
052 XTOA	053 81	054 -
055 $X \angle \Delta 04$	056 97	057 -
058 $X \angle 0?$	059 ACOS	060 STO 05
061 $Y \neq X$	062 -	063 STO IND 04
064 RCL 05	065 RCL 12	066 $X \angle = Y?$
067 ACOS	068 DSE 00	069 GTO 15
070 PROMPT	071 GTO 21	072 LBL b
073 SF 28	074 'CE?'	075 AON
076 PROMPT	077 AOFF	078 ATOX
079 XEQ IND X	080 'NS'	081 PROMPT
082 SF 66	083 LBL C	084 LBL 67
085 XEQ 29	086 LBL 16	087 AON
088 'MARKE P'	089 ARCL 02	090 APPEND '?'
091 PROMPT	092 AOFF	093 ASTO 09
094 RCL 14	095 STO 01	096 APPREC
097 DELREC	098 LBL 17	099 RCL 01
100 2	101 x	102 $X \angle \Delta F$
103 CLX	104 XEQ IND 09	105 $X = 0?$
106 GTO 00	107 CLA	108 RCL 01
109 INT	110 +	111 XTOA
112 APPCHR	113 LBL 00	114 ISG 01
115 GTO 17	116 RCL 02	117 INT
118 SEEKPT	119 3	120 GETREC

# Relaisschaltungen

121 FC?C 17	122 GTO 00	123 10 / X
124 BEEP	125 10 / X	126 LBL 00
127 ISG 02	128 GTO 16	129 GTO 21
130 LBL D	131 DEG	132 GTO 00
133 LBL E	134 LBL 69	135 RAD
136 LBL 00	137 XEQ 29	138 1
139 STO 02	140 2	141 RCL 12
142 ST+ 02	143 Y / X	144 FC? 43
145 STO 02	146 RCL 12	147 RCL 13
148 /	149 1	150 +
151 STO 03	152 RCL 15	153 STO 01
154 STO 07	155 LBL 18	156 APPREC
157 DELREC	158 RCL 03	159 STO 00
160 1,023	161 FC? 43	162 STO 00
163 CF 22	164 LBL 02	165 'EZ P'
166 FC? 43	167 'NS'	168 ARCL 01
169 APPEND '?'	170 RCL 02	171 PROMPT
172 FC?C 22	173 GTO 00	174 1
175 +	176 X $\Delta$ Y?	177 ACOS
178 CLA	179 XTOA	180 APPCHR
181 ISG 00	182 GTO 02	183 LBL 00
184 ISG 01	185 GTO 18	186 FC? 43
187 GTO 21	188 LBL 19	189 RCL 14
190 STO 01	191 CLX	192 X $\angle$ $\Delta$ F
193 CF 08	194 CF 09	195 CF 10
196 1	197 SEEKPT	198 GETREC
199 DELREC	200 APPREC	201 DELREC
202 ALENG	203 STO 00	204 LBL 03
205 ATOX	206 4	207 +
208 SF IND X	209 DSE 00	210 GTO 03
211 X $\angle$ $\Delta$ F	212 STO 03	213 LBL 20
214 RCL 01	215 RCL 03	216 +
217 X $\angle$ $\Delta$ F	218 1	219 ENTER/
220 ENTER/	221 ENTER/	222 CLX
223 FS?C 00	224 +	225 FS? 01
226 +	227 FS? 02	228 +
229 FS? 03	230 +	231 FS? 04
232 +	233 STO 02	234 FC? 05
235 GTO 00	236 x = 0?	237 SF 00
238 LBL 00	239 FC? 06	240 GTO 00
241 RCL 02	242 1	243 X = Y?

244 SF oo	245 LBL oo	246 FC? o7
247 GTO oo	248 RCL o2	249 2
25o X = Y?	251 SF oo	252 LBL oo
253 FC? o8	254 GTO oo	255 RCL o2
256 3	257 X = Y?	258 SF oo
259 LBL oo	26o FC? o9	261 GTO oo
262 RCL o2	263 4	264 X = Y?
265 SF oo	266 LBL oo	267 FC? 1o
268 GTO oo	269 RCL o2	27o 5
271 X = Y?	272 SF oo	273 LBL oo
274 FC? oo	275 GTO oo	276 CLA
277 RCL o1	278 INT	279 1
28o +	281 XTOA	282 APPCHR
283 LBL oo	284 ISG o1	285 GTO 2o
286 ISG o7	287 GTO 19	288 LBL 21
289 FS?C 28	29o RTN	291 APPREC
292 RCLPT	293 INT	294 RCL 11
295 STO o2	296 RCL 13	297 /
298 STO o1	299 +	3oo STO oo
3o1 LBL o4	3o2 RCL oo	3o3 INT
3o4 SEEKPT	3o5 DELREC	3o6 DSE oo
3o7 GTO o4	3o8 1	3o9 ST+ o1
31o ST+ o2	311 RCL 12	312 STO o8
313 33	314 +	315 STO o7
316 LBL 22	317 RCL o1	318 INT
319 SEEKPT	32o GETREC	321 23
322 ALENG	323 X $\angle$ = Y?	324 GTO oo
325 1o $\nearrow$ X	326 BEEP	327 1o $\nearrow$ X
328 LBL oo	329 STO oo	33o LBL 23
331 ATOX	332 1	333 -
334 ENTER $\nearrow$	335 X $\angle$ $\Delta$ F	336 X $\angle$ $\Delta$ Y
337 FS? oo	338 RCL 16	339 FS?C oo
34o +	341 FS? o1	342 RCL 17
343 FS?C o1	344 +	345 FS? o2
346 RCL 18	347 FS?C o2	348 +
349 FS? o3	35o RCL 19	351 FS?C o3
352 +	353 FS? o4	354 RCL 2o
355 FS?C o4	356 +	357 1
358 +	359 XTOA	36o DSE oo
361 GTO 23	362 RCL o7	363 XTOA
364 -1	365 AROT	366 APPREC

# Relaisschaltungen

367 ISG 01	368 GTO 22	369 LBL 24
370 CLX	371 SEEKPT	372 GETREC
373 REL 12	374 RCL 08	375 -
376 AROT	377 ATOX	378 STO 07
379 RCL 02	380 STO 01	381 APPREC
382 DELREC	383 RCLPT	384 STO 02
385 181	386 STO 06	387 LBL 25
388 CLA	389 RCL 01	390 SEEKPT
391 RCL 08	392 33	393 +
394 XTOA	395 POSFL	396 X $\angle$ 0?
397 GTO 26	398 GETREC	399 SEEKPT
400 50	401 DELCHR	402 ATOX
403 ALENG	404 STO 00	405 APPREC
406 2	407 2	408 RCL 08
409 STO 09	410 1	411 -
412 Y $\nearrow$ X	413 STO 05	414 Y $\nearrow$ X
415 1	416 -	417 STO 10
418 32	419 ST+ 09	420 CLX
421 STO 03	422 STO 04	423 LBL 05
424 RCL 05	425 ATOX	426 X $\angle$ = Y?
427 GTO 00	428 RCL 05	429 -
430 XTOA	431 1	432 -
433 2	434 X $\angle$ $\Delta$ Y	435 Y $\nearrow$ X
436 ST+ 03	437 LBL 00	438 DSE 00
439 GTO 05	440 RCL 03	441 X $\neq$ 0?
442 GTO 00	443 '*'	444 INSREC
445 LBL 00	446 X = 0?	447 GTO 00
448 ARCL 03	449 RCL 09	450 XTOA
451 -1	452 AROT	453 INSREC
454 RCL 03	455 RCL 10	456 X $\neq$ Y?
457 GTO 00	458 '+'	459 DELREC
460 INSREC	461 LBL 00	462 GETREC
463 DELREC	464 ALENG	465 STO 00
466 LBL 06	467 RCL 05	468 ATOX
469 X $\Delta$ Y?	470 GTO 00	471 XTOA
472 1	473 -	474 2
475 X $\angle$ $\Delta$ Y	476 Y $\nearrow$ X	477 ST+ 04
478 LBL 00	479 DSE 00	480 GTO 06
481 RCL 04	482 X $\neq$ 0?	483 GTO 00
484 '*'	485 INSREC	486 LBL 00
487 X = 0?	488 GTO 00	489 ARCL 04

490 RCL 09	491 XTOA	492 -1
493 AROT	494 INSREC	495 RCL 04
496 RCL 10	497 X ≠ Y?	498 GTO 00
499 '+'	500 DELREC	501 INSREC
502 LBL 00	503 RCL 03	504 RCL 04
505 X ≠ Y?	506 GTO 00	507 DELREC
508 RCLPT	509 1	510 -
511 SEEKPT	512 'X'	513 RCL 07
514 XTOA	515 RCL 06	516 XTOA
517 -2	518 AROT	519 ARCLREC
520 DELREC	521 INSCHR	522 GTO 07
523 LBL 00	524 RCLPT	525 INT
526 SEEKPT	527 CLA	528 RCL 07
529 XTOA	530 RCL 06	531 XTOA
532 ASTO 00	533 APPEND 'R'	534 INSCHR
535 RCL Z	536 1	537 -
538 SEEKPT	539 CLA	540 ARCL 00
541 APPEND 'A'	542 INSCHR	543 LBL 07
544 1	545 ST+ 06	546 GTO 25
547 LBL 26	548 CLA	549 RCL 07
550 XTOA	551 1	552 SEEKPT
553 POSFL	554 X < 0?	555 GTO 28
556 APPREC	557 DELREC	558 RCLPT
559 2	560 -	561 RCL 13
562 /	563 +	564 STO 01
565 STO 04	566 LBL 27	567 RCL 01
568 INT	569 SEEKPT	570 GETREC
571 CF 22	572 ANUM	573 FC?C 22
574 GTO 00	575 STO 03	576 ATOX
577 ATOX	578 ATOX	579 CLA
580 R /	581 R /	582 XTOA
583 R /	584 XTOA	585 R /
586 XTOA	587 ASTO 00	588 LBL 08
589 CLA	590 ARCL 03	591 CLX
592 POSFL	593 X < 0?	594 GTO 00
595 RCLPT	596 INT	597 SEEKPT
598 GETREC	599 ANUM	600 RCL 03
601 X ≠ Y?	602 GTO 08	603 RCLPT
604 INT	605 ,003	606 +
607 SEEKPT	608 50	609 DELCHR
610 'A'	611 ARCL 00	612 APPCHR
613 GTO 08	614 LBL 00	615 ISG 01

# Relaisschaltungen

616 GTO 27	617 RCL 04	618 ,001
619 +	620 STO 01	621 INT
622 STO 02	623 LBL 09	624 RCL 01
625 INT	626 SEEKPT	627 GETREC
628 CF 22	629 ANUM	630 FC?C 22
631 GTO 00	632 CLA	633 ARCL X
634 RCL 01	635 INT	636 SEEKPT
637 POSFL	638 50	639 DELCHR
640 LBL 00	641 ISG 01	642 GTO 09
643 DSE 08	644 GTO 24	645 LBL 28
646 BEEP	647 RTN	648 SF 66
649 LBL 29	650 CLX	651 SEEKPT
652 GETREC	653 ASTO 06	654 RCL 15
655 STO 02	656 'K'	657 CLFL
658 CLA	659 ARCL 06	660 APPREC
661 RTN	662 LBL e	663 RCL 11
664 'PUNKT ?'	665 PROMPT	666 X $\angle$ = Y?
667 SF 66	668 STO 02	669 GTO 30
670 LBL I	671 'K'	672 APPREC
673 DELREC	674 RCLPT	675 1
676 -	677 RCL 13	678 /
679 RCL 11	680 1	681 +
682 +	683 STO 02	684 LBL 30
685 CLX	686 X $\angle$ $\Delta$ F	687 RCL 02
688 INT	689 SEEKPT	690 GETREC
691 3	692 ALENG	693 X = Y?
694 SF 00	695 STO 00	696 LBL 10
697 132	698 ATOX	699 X $\angle$ Y?
700 GTO 00	701 X $\angle$ $\Delta$ Y	702 -
703 LBL 00	704 XTOA	705 DSE 00
706 GTO 10	707 FS? 00	708 APPEND '-'
709 FC?C 00	710 APPEND '/'	711 ARCL 02
712 PROMPT	713 ISG 02	714 GTO 30
715 CLX	716 SEEKPT	717 ' $\Sigma$ '
718 ARCLREC	719 PROMPT	720 SF 66
721 LBL J	722 RCL 11	723 'P?'
724 PROMPT	725 X $\Delta$ Y?	726 ACOS
727 X = 0?	728 LN	729 STO 01
730 SEEKPT	731 GETREC	732 ALENG
733 STO 00	734 STO 02	735 LBL 11
736 ATOX	737 1	738 -
739 RTN	740 DSE 00	741 GTO 11



742 'P'	743 4o	744 XTOA
745 ARCL o1	746 41	747 XTOA
748 APPEND 'Σ'	749 ARCL o2	75o PROMPT
751 SF 66	752 LBL a	753 AON
754 'MARKE?'	755 PROMPT	756 AOFF
757 ASTO o9	758 CLX	759 STO o1
76o 2	761 RCL 12	762 Y $\nearrow$ X
763 STO o2	764 8	765 X $\angle$ Y?
766 STO o2	767 /	768 INT
769 STO o4	77o LBL 31	771 RCL o2
772 STO o3	773 CLA	774 ARCL o1
775 APPEND ':'	776 LBL 12	777 RCL o1
778 2	779 x	78o X $\angle$ $\Delta$ F
781 CLX	782 XEQ IND o9	783 ARCL X
784 1	785 ST+ o1	786 DSE o3
787 GTO 12	788 APPEND ':'	789 RCL o1
79o 1	791 -	792 ARCL X
793 PROMPT	794 DSE o4	795 GTO 31
796 'AWΣ'	797 PROMPT	798 SF 66
799 LBL F	8oo DEG	8o1 GTO oo
8o2 LBL G	8o3 GRAD	8o4 LBL oo
8o5 AON	8o6 'MARKE'	8o7 FS? 42
8o8 APPEND '1'	8o9 APPEND '??'	81o PROMPT
811 ASTO o9	812 'MARKE 2?'	813 FC? 42
814 'P?'	815 PROMPT	816 AOFF
817 ASTO 1o	818 RCL 14	819 STO o1
82o FS? 42	821 GTO 13	822 ATOX
823 48	824 -	825 SEEKPT
826 GETREC	827 LBL 13	828 RCL o1
829 2	83o x	831 X $\angle$ $\Delta$ F
832 CLX	833 XEQ IND o9	834 FC? 42
835 GTO oo	836 o	837 XEQ IND 1o
838 GTO o1	839 LBL oo	84o RCL o1
841 INT	842 1	843 +
844 POSA	845 SIGN	846 X $\angle$ o?
847 CLX	848 LBL o1	849 X = Y?
85o GTO oo	851 '✓'	852 APPEND ' K'
853 RCL o1	854 INT	855 ARCL X
856 PROMPT	857 SF 66	858 LBL oo
859 ISG o1	86o GTO 13	861 '='
862 PROMPT	863 SF 66	864 LBL H

## Relaisschaltungen

---

865 AON	866 'MARKE ?'	867 PROMPT
868 PS?C 23	869 ASTO 09	870 LBL 32
871 AON	872 CLX	873 X $\angle$ $\triangleright$ F
874 'A-E/?'	875 PROMPT	876 AOFF
877 PC?C 23	878 GTO 00	879 ALENG
880 STO 00	881 LBL 14	882 5
883 ATOX	884 64	885 -
886 X $\angle$ Y?	887 ACOS	888 SF IND X
889 DSE 00	890 GTO 14	891 LBL 00
892 CLX	893 XEQ IND 09	894 RTN
895 GTO 32	896 LBL %	897 X = 0?
898 GTO 00	899 CLX	900 RTN
901 LBL 00	902 SIGN	903 END

---

# Regelkreis-Optimierung mit dem Taschenrechner HP-41 CV/CX im Bode-Diagramm

Peter F. Orlowski

## Einleitung

In diesem Beitrag wird ein Taschenrechnerprogramm vorgestellt, mit dem sich eine Vielzahl technischer Regelkreise optimieren läßt. Als Grundlage dient das vereinfachte Stabilitätskriterium nach *Nyquist* und seine Darstellung im Bode-Diagramm. Vergleichbare Literatur ist in [2] angegeben.

## Stabilitätsbegriff

Ist von einer Regelung das Übertragungsverhalten von Regler und Strecke bekannt, läßt sie sich auf Stabilität untersuchen bzw. optimieren [1]. Besonders anschaulich ist dabei die Darstellung des Übertragungsverhaltens im Bode-Diagramm. Dort werden der Frequenzgangbetrag  $|F_0|$  des offenen Regelkreises und sein Phasenwinkel  $\varphi_0$  im logarithmischen Maßstab aufgezeichnet. Dabei wird  $|F_0|$  als logarithmische Summe des Reglerfrequenzgangs  $|F_R|$  und Streckenfrequenzgangs  $|F_S|$  aufgetragen, also

$$\frac{|F_0|}{\text{dB}} = 20 \lg |F_R| + 20 \lg |F_S|$$

und

$$\varphi_0 = \varphi_R + \varphi_S.$$

Ein so definierter Regelkreis ist stabil, wenn der Frequenzgangbetrag  $|F_0|$  bei der Frequenz  $\omega_D$  (dort ist  $|F_0| = 1$ ) einen Phasenwinkel  $\varphi_0 > -180^\circ$  aufweist. Dieses Stabilitätskriterium nach Nyquist liegt auch dem folgenden Taschenrechnerprogramm zugrunde.

### Programmbeschreibung

Entsprechend dem vereinfachten Stabilitätskriterium nach Nyquist wird im Programm folgender Formelsatz angewendet:

$$\begin{array}{ll} |F_0| \stackrel{!}{=} 1 & \longrightarrow \text{Durchtrittsfrequenz } \omega_D \\ \alpha_R = 180^\circ + \varphi_0(\omega_D) \stackrel{!}{>} 0 & \longrightarrow \text{Phasenreserve } \alpha_R \\ 0 \stackrel{!}{=} 180^\circ + \varphi_0(\omega_z) & \longrightarrow \omega_z \\ A_R = 10^{-\frac{|F_0|(\omega_z)}{20 \cdot \text{dB}}} & \longrightarrow \text{Amplitudenreserve } A_R \end{array}$$

Mit dem in Fig. 1 abgedruckten Programm lassen sich, je nach Wahl der Parameter, folgende Regler realisieren:

$$\begin{array}{lll} \text{P-Regler} & T_N = 10^{50} \text{ s}, & T_V = 0 \\ \text{PI-Regler} & T_N = T_N, & T_V = 0 \\ \text{PD-Regler} & T_N = 10^{50} \text{ s}, & T_V = T_V \\ \text{PID-Regler} & T_N = T_N, & T_V = T_V \end{array}$$

Als Regelstrecke lassen sich aus einer Liste von acht typischen Strecken jeweils zwei auswählen. Dazu erscheint mit dem Start des Programms ein Vorspann auf dem Drucker, der die Kennbuchstaben und ihre zugehörige Regelstrecke angibt. Auf diese Weise lassen sich mehr als 80 verschiedene Regelkreise zusammenstellen und optimieren.

Der in Fig. 2 dargestellte Rechnerstatus zeigt die Anzahl der notwendigen Programm- und Datenspeicher sowie die verwendeten Unterprogramme. Es ist darauf zu achten, daß der

Rechner wegen der Länge des gesamten Programms auf SIZE 072 gestellt werden muß. Zum besseren Verständnis des Programms ist in Fig. 3 ein Flußdiagramm abgebildet, das den Programmablauf verdeutlichen soll.

Mit dem Eintippen des Programmnamens "BODE-SY" erscheint zunächst der Textvorspann zur Auswahl der Regelstrecken. Dann erfolgt die Eingabe der Reglerparameter (Reglerverstärkung  $V_R$ , Nachstellzeit  $T_N$  und Vorhaltzeit  $T_V$ ). Anschließend fragt der Rechner nach dem Kennbuchstaben der ersten Regelstrecke. Nach Eintippen des Buchstabens drückt man "RUN", und es kommt die Abfrage der zugehörigen Streckenparameter. Wenn weitere Strecken gewünscht sind, ist nun "1" einzugeben (sonst "0"). Danach ist wieder der Streckenname gefragt. Mit Eintippen des gewählten Kennbuchstabens werden die Parameter abgefragt. Damit ist die Regelung definiert, und der Rechner fragt nun nach dem ersten Frequenzwert  $\omega$  (bzw.  $w$ ). Mit diesem Wert werden der Frequenzbetrag  $|F_0|/\text{dB}$  und sein Phasenwinkel  $\varphi_0/\text{Grad}$  berechnet und ausgedruckt. Es können nun beliebige Werte von  $\omega \approx 0$  bis  $10^6$  Hz eingegeben werden. Dabei ist es sinnvoll, für die später erforderliche Eingabe von Frequenzwerten des Nullstellen-Unterprogramms solche  $\omega$ -Werte zu wählen, bei denen zum einen  $|F_0|/\text{dB} = 0$  wird und zum anderen der Phasenwinkel  $\varphi_0/\text{Grad} = -180^\circ$  erreicht.

Wird eine Frequenz  $\omega \geq 10^6$  Hz eingetippt, springt der Rechner in das Unterprogramm zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz  $\omega_D$ . Es sind zwei  $\omega$ -Werte einzugeben, zwischen denen der Nulldurchgang von  $|F_0|/\text{dB}$  liegen muß. Nach einigen Sekunden druckt der Rechner das Ergebnis aus und setzt die „Flag“ 10.

Nach der Berechnung des Frequenzbetrags und Phasenwinkels für die Frequenz  $\omega_D$  wird die Phasenreserve  $\alpha_R/\text{Grad}$  ermittelt, Flag 10 gelöscht und Flag 00 gesetzt. Ist die Phasenreserve  $\alpha_R > 0$  (stabile Regelung), erfolgt die Berechnung von  $\omega_z$  mit dem Nullstellen-Unterprogramm. Ist  $\alpha_R < 0$ , liegt

eine instabile Regelung vor, und das Programm wird beendet. Es kann für eine geänderte Parameter-Eingabe mit den Befehlen "GTO.001" und "RUN" neu gestartet werden. Erfolgt die Berechnung von  $\omega_z$ , erhält man nach einigen Sekunden das Ergebnis und anschließend die Angabe der Amplitudenreserve  $A_R$ . Sie gibt den Abstand der Verstärkung der Regelung bis zum Erreichen der Stabilitätsgrenze an.

### Optimierungsbeispiele

Für eine gut optimierte Regelung läßt sich folgende Vorschrift bezüglich der Phasen- und Amplitudenreserve angeben:

$$\begin{array}{lcl} \alpha_R = 40^\circ \dots 60^\circ & | & \text{bei Sollwertänderungen} \\ A_R = 4 \dots 10 & | & \\ \alpha_R = 20^\circ \dots 50^\circ & | & \text{bei Störgrößenänderungen} \\ A_R = 1 \dots 3 & | & \end{array}$$

Außerdem sollte die Durchtrittsfrequenz  $\omega_D$  möglichst groß sein, da sie ein Maß für die Reaktionsfähigkeit der Regelung auf Sollwert- bzw. Störgrößenänderungen ist.

Fig. 4 zeigt den Ausdruck, wie ihn der Drucker produziert, wenn man eine Regelung aus PD-Regler und  $PT_1$ - $PT_1$ - $PT_t$ -Strecke wählt, Dazu ist bei den Regler-Parametern  $T_N = 10^{50} \text{ s}$  vorzugeben sowie die Strecken-Namen N und R einzutippen.

Mit den eingegebenen Parametern für Regler und Strecke erhält man die ausgedruckten Ergebnisse:

$$\begin{array}{l} \omega_D = 44.052 \text{ Hz} \\ \alpha_R = 10,502^\circ \\ \omega_z = 51,85 \text{ Hz} \\ A_R = 1,303 \end{array}$$

Die Regelung ist zwar stabil, jedoch reicht die Phasenreserve nicht aus. Dies zeigt auch das in Fig. 5 dargestellte Bode-Diagramm.

In einem zweiten Rechnerlauf wird die Reglerverstärkung von  $V_R = 10$  auf  $V_R = 5$  reduziert, alle anderen Parameter bleiben unverändert. Dann erhält man die optimierte Regelung mit

$$\omega_D = 28,284 \text{ Hz}$$

$$\alpha_R = 38,117^\circ$$

$$\omega_z = 51,84 \text{ Hz}$$

$$A_R = 2,605$$

Die Regelung ist für Störgrößenänderungen bis zu einer Frequenz von  $\omega = \omega_D = 28,284 \text{ Hz}$  geeignet und besitzt eine gute Phasen- und Amplitudenreserve (siehe Optimierungsvorschrift).

Als Hilfsmittel zur RegelkreISOptimierung ist das Bode-Diagramm besonders gut geeignet, da es sich aus den ausgedruckten Werten zeichnen läßt. Meist reicht eine Änderung der Reglerverstärkung jedoch aus, um die günstigsten Parameter zu erreichen.

In **Fig. 6** ist ein Ausdruck dargestellt, wie er sich für eine Regelung aus PI-Regler und  $PT_2$ -I-Strecke ergibt. Es ist  $T_V = 0$  zu setzen und für die Strecken-Namen K und P einzugeben. Nach Abfrage der einzelnen Parameter erhält man einen stabilen Regelkreis mit folgenden Werten:

$$\omega_D = 12,342 \text{ Hz}$$

$$\alpha_R = 23,042^\circ$$

$$\omega_z = 17,32 \text{ Hz}$$

$$A_R = 1,5$$

Ist man bestrebt, die Regelung auf Sollwertänderungen zu optimieren, zeigt sich im Bode-Diagramm (**Fig. 7**), daß eine Verstärkungsänderung des Reglers nicht ausreicht, da der Phasenwinkelverlauf davon unberührt bleibt. Soll also eine Phasenreserve von  $\alpha_R = 40^\circ \dots 60^\circ$  erreicht werden, muß zusätzlich die Nachstellzeit  $T_N$  des Reglers verändert werden.

Für die geänderten Parameter des Reglers ergibt sich eine stabile Regelung mit den optimierten Werten:

$$\omega_D = 3.076 \text{ Hz}$$

$$\alpha_R = 71,815^\circ$$

$$\omega_z = 19,747 \text{ Hz}$$

$$A_R = 6,499$$

Die Phasenreserve beträgt zwar mehr als  $60^\circ$ , das kann jedoch nur von Vorteil sein. Allerdings hat sich bei der Optimierung eine verkleinerte Durchtrittsfrequenz ergeben. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Verstärkung des Reglers reduziert wird.

## Zusammenfassung

Das vorliegende Taschenrechner-Programm ist in der Lage Regelkreise optimal einzustellen, wenn die Parameter der Regelstrecke bekannt sind. Es ermittelt die zugehörigen Werte zur Darstellung des Bode-Diagramms und druckt die für eine Stabilitätsaussage wichtigen Werte  $\omega_D$ ,  $\alpha_R$ ,  $\omega_z$  und  $A_R$  aus. Haupteinsatzgebiet dürfte die Anwendung als Lernhilfe für Studenten der Regeltechnik sein.

## Literatur

- [1] *Orlowski, P. F.*: Praktische Regeltechnik. München: Oldenbourg 1985
- [2] *Martin, P.*: Mathematische Verfahren der Regelungstechnik. Verfahren gezeigt mit dem HP 41. München: Oldenbourg 1984



01*LBL "BODE-SY"	43 AVIEW	83*LBL 02
02 CF 00	44 ADV	84 "-----"
03 CF 01	45 FIX 3	85 AVIEW
04 CF 02	46 "VR=?"	86 1
05 CF 03	47 PROMPT	87 STO 10
06 CF 04	48 STO 00	88 1
07 CF 05	49 "TN/S=?"	89 STO 11
08 CF 06	50 PROMPT	90 1
09 CF 07	51 STO 01	91 STO 12
10 CF 08	52 "TV/S=?"	92 1
11 CF 09	53 PROMPT	93 STO 13
12 CF 10	54 STO 02	94 1
13 CF 11	55 ADV	95 STO 14
14 "EIN PID-REGLER"	56 "STRECK.-PARAM."	96 1
15 AVIEW	57 AVIEW	97 STO 15
16 "KANN MIT ZWEI"	58 ADV	98 1
17 AVIEW	59 "STRECKEN-NAME ?"	99 STO 16
18 "STRECKEN MULTI--"	60 AON	100 1
19 AVIEW	61 PROMPT	101 STO 17
20 "PLIZ. WERDEN."	62 ASTO 03	102 0
21 AVIEW	63 AOFF	103 STO 20
22 "K. I"	64 XEQ IND 03	104 0
23 AVIEW	65 "WEITERE STRECKE"	105 STO 21
24 "L. I2"	66 AVIEW	106 0
25 AVIEW	67 "GEWUENSCHT ?"	107 STO 22
26 "M. PT1"	68 AVIEW	108 0
27 AVIEW	69 "WENN JA, TASTE1"	109 STO 23
28 "N. PT1-PT1"	70 AVIEW	110 0
29 AVIEW	71 "WENN NEIN, 0"	111 STO 24
30 "0. PT1-PT1-PT1"	72 PROMPT	112 0
31 AVIEW	73 STO 04	113 STO 25
32 "P. PT2"	74 RCL 04	114 0
33 AVIEW	75 X=0?	115 STO 26
34 "0. PT1-PT1-PT2"	76 GTO 02	116 0
35 AVIEW	77 "STRECKEN-NAME ?"	117 STO 27
36 "R. PTT"	78 AON	118*LBL 01
37 AVIEW	79 PROMPT	119 ADV
38 ADV	80 ASTO 05	120 "W/HZ=?"
39 "-----"	81 AOFF	121 PROMPT
40 AVIEW	82 XEQ IND 05	122 STO 06
41 ADV		123 RCL 06
42 "REGLER-PARAM."		

Fig. 1 HP-41-CV-Taschenrechnerprogramm für das Bode-Diagramm

Fig. 1 (Fortsetzung)

124 1 E6	159+LBL 12	194 1/X	232 SQRT
125 X<=Y?	160 FS? 03	195 STO 11	233 1/X
126 GTO "NULLST"	161 XEQ IND 57	196 -180	234 RCL 45
		197 STO 21	235 *
127+LBL 07	162+LBL 13	198 GTO 12	236 STO 13
128 RCL 06	163 FS? 04		237 RCL 06
129 RCL 02	164 XEQ IND 58	199+LBL "MM"	238 RCL 46
130 *		200 RCL 44	239 *
131 RCL 06	165+LBL 14	201 RCL 06	240 ATAN
132 RCL 01	166 FS? 05	202 *	241 CHS
133 *	167 XEQ IND 59	203 X↑2	242 RCL 06
134 1/X	168+LBL 15	204 1	243 RCL 47
135 -	169 FS? 06	205 +	244 *
136 X↑2	170 XEQ IND 60	206 SQRT	245 ATAN
137 1		207 1/X	246 -
138 +	171+LBL 16	208 RCL 43	247 STO 23
139 SQRT	172 FS? 07	209 *	248 GTO 14
140 RCL 00	173 XEQ IND 61	210 STO 12	
141 *		211 RCL 44	249+LBL "00"
142 STO 07	174+LBL 17	212 RCL 06	250 RCL 06
	175 FS? 08	213 *	251 RCL 49
143+LBL 18	176 XEQ IND 62	214 ATAN	252 *
144 RCL 06	177 GTO 10	215 CHS	253 X↑2
145 RCL 02	178+LBL "KK"	216 STO 22	254 1
146 *	179 RCL 40	217 GTO 13	255 +
147 RCL 06	180 RCL 06		256 RCL 06
148 RCL 01	181 *	218+LBL "NN"	257 RCL 50
149 *	182 1/X	219 RCL 06	258 *
150 1/X	183 STO 10	220 RCL 46	259 X↑2
151 -	184 -90	221 *	260 1
152 ATAN	185 STO 20	222 X↑2	261 +
153 STO 08	186 GTO 11	223 1	262 *
154 FS? 01		224 +	263 RCL 06
155 XEQ IND 55	187+LBL "LL"	225 RCL 06	264 RCL 51
	188 RCL 41	226 RCL 47	265 *
156+LBL 11	189 RCL 42	227 *	266 X↑2
157 FS? 02	190 *	228 X↑2	267 1
158 XEQ IND 56	191 RCL 06	229 1	268 +
	192 X↑2	230 +	269 *
	193 *	231 *	270 SQRT

Fig. 1 (Fortsetzung)

271 1/X	310 SQRT	350 RCL 65	390 1/X
272 RCL 48	311 1/X	351 *	391 2
273 *	312 RCL 52	352 X12	392 *
274 STO 14	313 *	353 1	393 RCL 67
275 RCL 06	314 STO 15	354 +	394 *
276 RCL 49	315 RCL 06	355 *	395 RCL 06
277 *	316 RCL 53	356 SQRT	396 *
278 ATAN	317 *	357 1/X	397 RCL 66
279 CHS	318 X12	358 RCL 63	398 *
280 RCL 06	319 CHS	359 *	399 ATAN
281 RCL 50	320 1	360 STO 16	400 CHS
282 *	321 +	361 RCL 06	401 STO 26
283 ATAN	322 1/X	362 RCL 66	402 RCL 26
284 -	323 2	363 *	403 X<0?
285 RCL 06	324 *	364 X12	404 GTO 08
286 RCL 51	325 RCL 54	365 CHS	405 RCL 26
287 *	326 *	366 1	406 180
288 ATAN	327 RCL 06	367 +	407 -
289 -	328 *	368 X12	408 STO 26
290 STO 24	329 RCL 53	369 RCL 06	
291 GTO 15	330 *	370 RCL 66	409*LBL 08
	331 ATAN	371 *	410 RCL 26
292*LBL "PP"	332 CHS	372 RCL 67	411 RCL 06
293 RCL 06	333 STO 25	373 *	412 RCL 64
294 RCL 53	334 RCL 25	374 X12	413 *
295 *	335 X<0?	375 4	414 ATAN
296 X12	336 GTO 16	376 *	415 -
297 CHS	337 RCL 25	377 +	416 RCL 06
298 1	338 180	378 SQRT	417 RCL 65
299 +	339 -	379 1/X	418 *
300 X12	340 STO 25	380 RCL 16	419 ATAN
301 RCL 06	341 GTO 16	381 *	420 -
302 RCL 53	342*LBL "QQ"	382 STO 16	421 STO 26
303 *	343 RCL 06	383 RCL 06	422 GTO 17
304 2	344 RCL 64	384 RCL 66	
305 *	345 *	385 *	423*LBL "RR"
306 RCL 54	346 X12	386 X12	424 RCL 68
307 *	347 1	387 CHS	425 STO 17
308 X12	348 +	388 1	426 RCL 69
309 +	349 RCL 06	389 +	427 RCL 06

Fig. 1 (Fortsetzung)

428 *	466*LBL "H"	504 STO 53	542*LBL 10
429 100	467 SF 04	505 "d=?"	543 FS? 10
430 *	468 "VS=?"	506 PROMPT	544 GTO 09
431 PI	469 PROMPT	507 STO 54	545 RCL 07
432 /	470 STO 45	508 "PP"	546 RCL 10
433 CHS	471 "T11/S=?"	509 ASTO 60	547 *
434 STO 27	472 PROMPT	510 RTN	548 RCL 11
435 GTO 10	473 STO 46		549 *
	474 "T12/S=?"	511*LBL "Q"	550 RCL 12
436*LBL "K"	475 PROMPT	512 SF 07	551 *
437 SF 01	476 STO 47	513 "VS=?"	552 RCL 13
438 "TI/S=?"	477 "NH"	514 PROMPT	553 *
439 PROMPT	478 ASTO 58	515 STO 63	554 RCL 14
440 STO 40	479 RTN	516 "T11/S=?"	555 *
441 "KK"		517 PROMPT	556 RCL 15
442 ASTO 55	480*LBL "O"	518 STO 64	557 *
443 RTN	481 SF 05	519 "T12/S=?"	558 RCL 16
444*LBL "L"	482 "VS=?"	520 PROMPT	559 *
445 SF 02	483 PROMPT	521 STO 65	560 RCL 17
446 "T11/S=?"	484 STO 48	522 "T2/S=?"	561 *
447 PROMPT	485 "T11/S=?"	523 PROMPT	562 LOG
448 STO 41	486 PROMPT	524 STO 66	563 20
449 "T12/S=?"	487 STO 49	525 "d=?"	564 *
450 PROMPT	488 "T12/S=?"	526 PROMPT	565 FS? 09
451 STO 42	489 PROMPT	527 STO 67	566 GTO 06
452 "LL"	490 STO 50	528 "QQ"	567 STO 70
453 ASTO 56	491 "T13/S=?"	529 ASTO 61	568 "/F0/ IN dB="
454 RTN	492 PROMPT	530 RTN	569 ARCL 70
	493 STO 51		570 AVIEW
455*LBL "M"	494 "00"	531*LBL "R"	571 FS? 00
456 SF 03	495 ASTO 59	532 SF 08	572 GTO "AR"
457 "VS=?"	496 RTN	533 "VS=?"	
458 PROMPT		534 PROMPT	573*LBL 09
459 STO 43	497*LBL "P"	535 STO 68	574 RCL 08
460 "T1/S=?"	498 SF 06	536 "TT/S=?"	575 RCL 20
461 PROMPT	499 "VS=?"	537 PROMPT	576 +
462 STO 44	500 PROMPT	538 STO 69	577 RCL 21
463 "MM"	501 STO 52	539 "RR"	578 +
464 ASTO 57	502 "T2/S=?"	540 ASTO 62	579 RCL 22
465 RTN	503 PROMPT	541 RTN	580 +

Fig. 1 (Fortsetzung)

581 RCL 23	619 RCL 39	655 PROMPT
582 +	620 X<0?	656 STO 31
583 RCL 24	621 STOP	657 *WD2/HZ=?*
584 +	622 GTO B	658 PROMPT
585 RCL 25		659 STO 32
586 +	623*LBL *WZ*	660 GTO 38
587 RCL 26	624 RCL 34	
588 +	625 STO 06	661*LBL B
589 RCL 27	626 SF 10	662 *WZ*
590 +	627 CF 11	663 ASTO 33
591 STO 71	628 GTO 18	664 *WZ1/HZ=?*
592 FS? 10		665 PROMPT
593 GTO 19	629*LBL 19	666 STO 31
594 *PHI 0/GRAD=*	630 RCL 71	667 *WZ2/HZ=?*
595 ARCL 71	631 179,99	668 PROMPT
596 AVIEW	632 +	669 STO 32
597 FS? 11	633 STO 71	
598 GTO *aR*	634 RTN	670*LBL 38
599 FS? 10		671 RCL 31
600 GTO *AR*	635*LBL *AR*	672 STO 34
601 GTO 01	636 RCL 70	673 XEQ IND 33
	637 CHS	674 STO 35
602*LBL *WD*	638 20	675 RCL 32
603 RCL 34	639 /	676 STO 34
604 STO 06	640 10	677 XEQ IND 33
605 GTO 07	641 X<>Y	678 STO 36
606*LBL 06	642 Y+X	679 RCL 35
607 RTN	643 STO 38	680 *
	644 *AR=*	681 X>0?
608*LBL *aR*	645 ARCL 38	682 GTO 35
609 RCL 71	646 AVIEW	
610 100	647 STOP	683*LBL 30
611 +		684 RCL 32
612 STO 39	648*LBL *NULLST*	685 RCL 32
613 *aR/GRAD=*	649 FIX 3	686 RCL 31
614 ARCL 39	650 *WD*	687 -
615 AVIEW	651 ASTO 33	688 RCL 36
616 CF 09	652 SF 09	689 RCL 35
617 CF 11	653*LBL A	690 -
618 ADV	654 *WD1/HZ=?*	691 /

Fig. 1 (Fortsetzung)

692 RCL 36	714 RCL 34	733 CF 09
693 *	715 STO 32	734 SF 11
694 -	716 RCL 37	735 ADV
695 STO 34	717 STO 36	736 GTO 07
696 XEQ IND 33	718 GTO 30	737*LBL 40
697 STO 37		738 *WZ/HZ="
698 X=0?	719*LBL 31	739 ARCL 34
699 GTO 34	720 2	740 AVIEW
700 ABS	721 ST/ 35	741 RCL 34
701 1 E-4	722 GTO 32	742 STO 06
702 X>Y?	723*LBL 34	743 CF 10
703 GTO 34	724 FS? 09	744 SF 00
704 RCL 37	725 GTO 39	745 ADV
705 RCL 36	726 GTO 40	746 GTO 07
706 *		
707 X>0?	727*LBL 39	747*LBL 35
708 GTO 31	728 *WD/HZ="	748 *KEINE NULLST."
709 RCL 32	729 ARCL 34	749 AVIEW
710 STO 31	730 AVIEW	750 FS? 09
711 RCL 36	731 RCL 34	751 GTO A
712 STO 35	732 STO 06	752 GTO B
713*LBL 32		753 END

<u>Rechner-Status</u>			
SIZE 072			
Unterprogramme:			
LBL'BODE-SY	LBL'PP	LBL'M	LBL'WD
LBL'KK	LBL'QQ	LBL'N	LBL'aR
LBL'LL	LBL'RR	LBL'O	LBL'WZ
LBL'MM	LBL'K	LBL'P	LBL'AR
LBL'NN	LBL'L	LBL'Q	LBL'NULLST
LBL'00		LBL'R	
Belegte Flags:			
FS 00 - 11			
Benutzte Speicher:			
ST0 00 - 08	Parameter-Eingaben		
St0 10 - 17	Werte für $ F_S $		
St0 20 - 27	Werte für $\varphi_S$		
St0 30 - 37	Nullstellenwerte		
St0 38 - 39	Werte für $A_R$ und $\alpha_R$		
St0 40 - 54	Streckenparameter		
St0 63 - 69			
St0 70 - 71	Werte für $ F_0 $ und $\varphi_0$		
AST0 55 - 62	Streckenprogramme		

Fig. 2 Rechner-Status und belegte Speicher

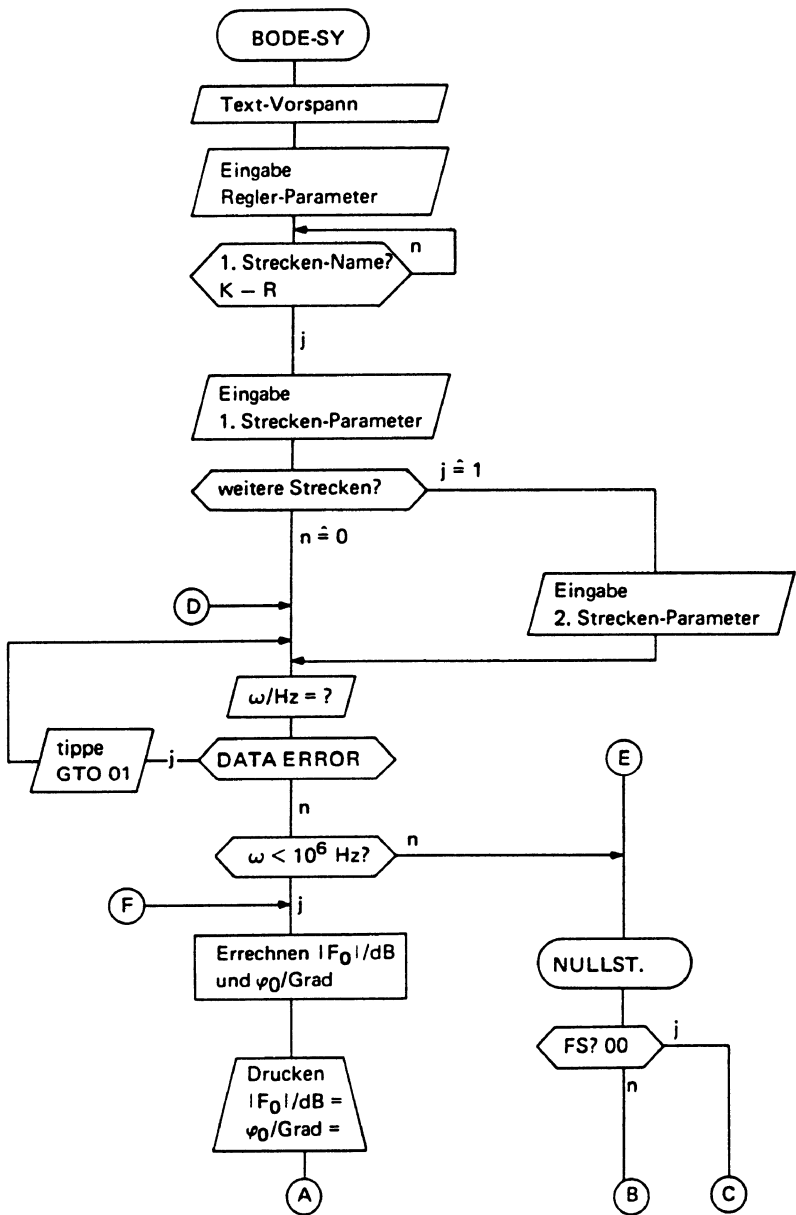


Fig. 3 Flußdiagramm des Bode-Programms



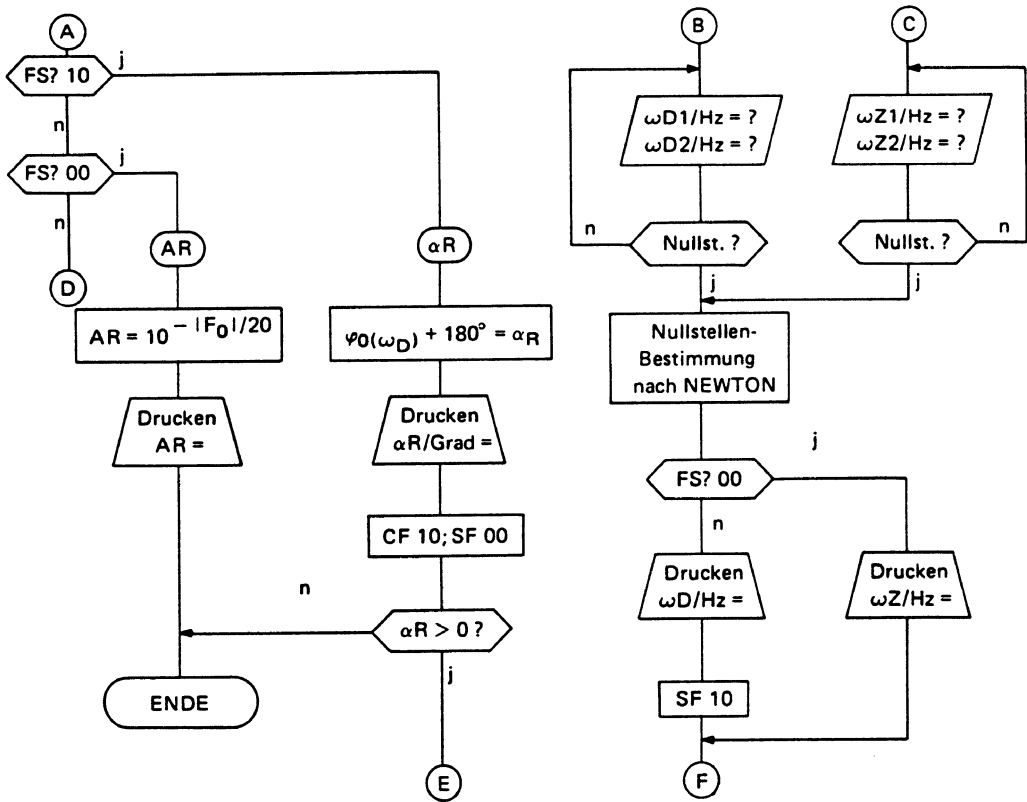


Fig. 3 (Fortsetzung)

## 1. Rechnerlauf

```

      XEQ "BODE-SY"
EIN PID-REGLER
KANN MIT ZWEI
STRECKEN MULTI-
PLIZ. WERDEN.
K. I
L. I2
M. PT1
N. PT1-PT1
O. PT1-PT1-PT1
P. PT2
Q. PT1-PT1-PT2
R. PTT

-----
REGLER-PARAM.

VR=?
      10,000    RUN
TN/S=?
      1+50     RUN
TV/S=?
      0,010    RUN

STRECK.-PARAM.

STRECKEN-NAME ?
N
VS=?
      1,000    RUN
T11/S=?
      0,100    RUN
T12/S=?
      0,050    RUN
WEITERE STRECKE
GEWUENSCHT ?
WENN JA, TASTE1
WENN NEIN, 0

      1,000    RUN
STRECKEN-NAME ?
R
VS=?
      1,000    RUN
TT/S=?
      0,020    RUN
-----
W/HZ=?
      1,000    RUN
/F0/ IN dB=19,946
PHI 0/GRAD=-9,146

W/HZ=?
      10,000   RUN
/F0/ IN dB=16,064
PHI 0/GRAD=-77,314

W/HZ=?
      20,000   RUN
/F0/ IN dB=10,170
PHI 0/GRAD=-120,043

W/HZ=?
      30,000   RUN
/F0/ IN dB=5,255
PHI 0/GRAD=-145,553

W/HZ=?
      50,000   RUN
/F0/ IN dB=-1,784
PHI 0/GRAD=-177,619

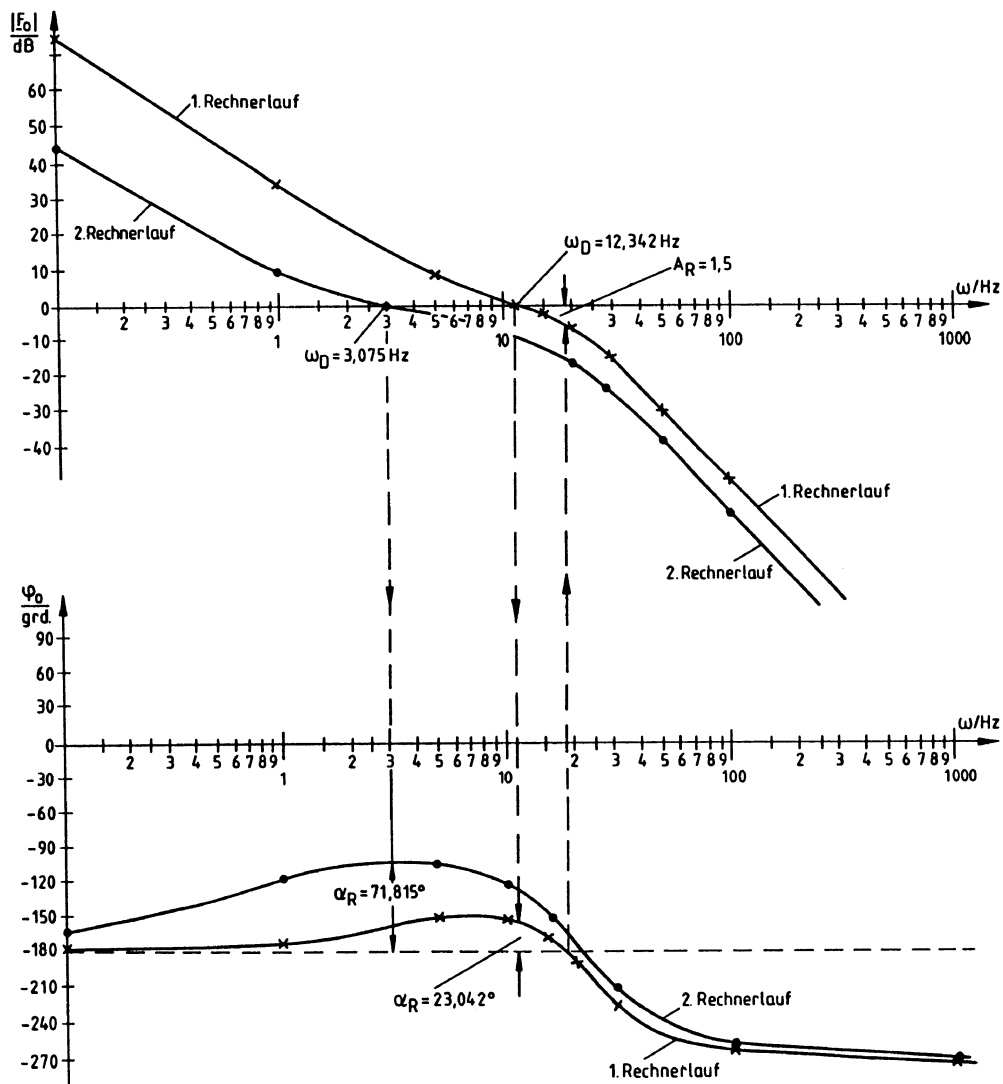
W/HZ=?
      70,000   RUN
/F0/ IN dB=-6,430
PHI 0/GRAD=-201,147

```

Fig. 4 Ausdruck der Parameter und Ergebnisse für eine Regelung aus PD-Regler und PT<sub>1</sub>-PT<sub>1</sub>-PT<sub>1</sub>-Strecke

Fig. 4 (Fortsetzung)

W/HZ=? 100,000 RUN /F0/ IN dB=-11,183 PHI 0/GRAD=-232,571		STRECKEN-NAME ? N RUN VS=? 1,000 RUN T11/S=? 0,100 RUN T12/S=? 0,050 RUN WEITERE STRECKE GEWUENSCHT ? WENN JA, TASTE1 WENN NEIN, 0 1,000 RUN STRECKEN-NAME ? R RUN VS=? 1,000 RUN TT/S=? 0,020 RUN -----
W/HZ=? 1+06 RUN WD1/HZ=? 30,000 RUN WD2/HZ=? 50,000 RUN <u>WD/HZ=44,052</u>		W/HZ=? 1+06 RUN WD1/HZ=? 25,000 RUN WD2/HZ=? 30,000 RUN <u>WD/HZ=20,284</u>
/F0/ IN dB=-9,499E-6 PHI 0/GRAD=-169,498 <u>aR/GRAD=10,502</u>		/F0/ IN dB=-2,000E-5 PHI 0/GRAD=-141,883 <u>aR/GRAD=38,117</u>
WZ1/HZ=? 50,000 RUN WZ2/HZ=? 60,000 RUN <u>WZ/HZ=51,850</u>		WZ1/HZ=? 50,000 RUN WZ2/HZ=? 60,000 RUN <u>WZ/HZ=51,842</u>
/F0/ IN dB=-2,296 <u>AR=1,303</u>		/F0/ IN dB=-8,315 <u>AR=2,605</u>
<b>2. Rechnerlauf</b> REGLER-PARAM.		
VR=? 5,000 RUN TH/S=? 1+50 RUN TV/S=? 0,010 RUN		
STRECK.-PARAM.		



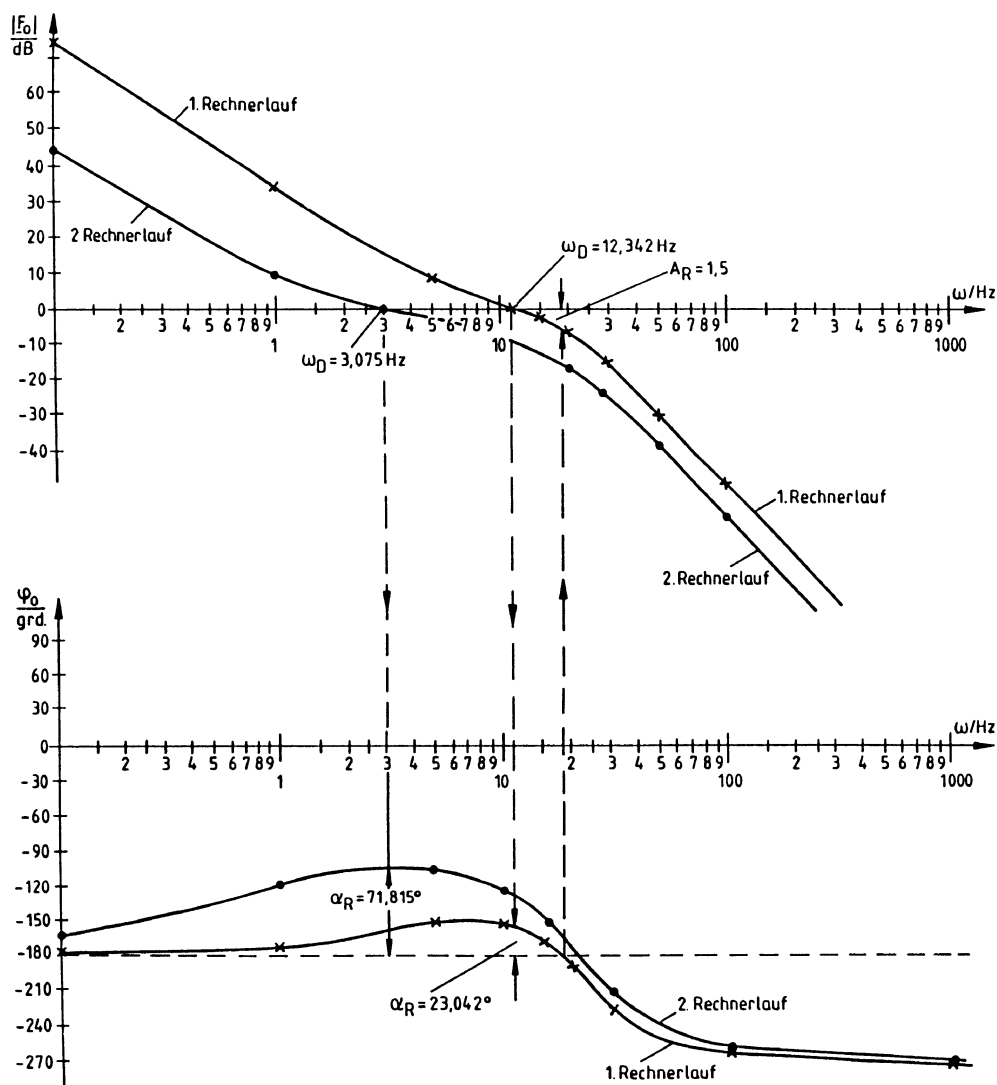
**Fig. 5** Bode-Diagramm des Regelkreises aus PD-Regler und  $PT_1$ - $PT_1$ - $PT_t$ -Strecke



**Fig. 6 (Fortsetzung)**

W/HZ=? 21,000 RUN /F0/ IN dB=-6,670 PHI 0/GRAD=-198,968	2. Rechnerlauf REGLER-PARAM. VR=? 3,000 RUN TH/S=? 2,000 RUN TV/S=? 0,000 RUN
W/HZ=? 30,000 RUN /F0/ IN dB=-15,236 PHI 0/GRAD=-229,268	STRECK.-PARAM. STRECKEN-NAME ? K RUN TI/S=? 1,000 RUN
W/HZ=? 50,000 RUN /F0/ IN dB=-29,227 PHI 0/GRAD=-250,247	WEITERE STRECKE GEWUNSCHT ? WENN JA, TASTE1 WENN NEIN, 0 1,000 RUN
W/HZ=? 100,000 RUN /F0/ IN dB=-47,778 PHI 0/GRAD=-261,094	STRECKEN-NAME ? P RUN VS=? 1,000 RUN
W/HZ=? 1.000,000 RUN /F0/ IN dB=-107,957 PHI 0/GRAD=-269,140	T2/S=? 0,050 RUN d=? 0,500 RUN -----
W/HZ=? 1+06 RUN WD1/HZ=? 12,000 RUN WD2/HZ=? 15,000 RUN <u>WD/HZ=12,342</u>	WD1/HZ=? 1,000 RUN WD2/HZ=? 5,000 RUN <u>WD/HZ=3,075</u>
/F0/ IN dB=-4,875E-6 PHI 0/GRAD=-156,958 <u>aR/GRAD=23,042</u>	/F0/ IN dB=-6,399E-5 PHI 0/GRAD=-108,105 <u>aR/GRAD=71,815</u>
WZ1/HZ=? 15,000 RUN WZ2/HZ=? 21,000 RUN <u>WZ/HZ=17,321</u>	WZ1/HZ=? 15,000 RUN WZ2/HZ=? 21,000 RUN <u>WZ/HZ=19,747</u>
/F0/ IN dB=-3,522 <u>AR=1,500</u>	/F0/ IN dB=-16,257 <u>AR=6,499</u>

## Regelkreis-Optimierung



**Fig. 7** Bode-Diagramm des Regelkreises aus PI-Regler und PT<sub>2</sub>-l-Strecke

---

# Polkonfigurationen in bewegten Systemen

Kurt Hain

## Einleitung

In bewegten Systemen sind neben den Hauptbewegungen zusätzliche Relativbewegungen zu verzeichnen, die, wie in ungleichmäßig übersetzenden Getrieben, mit Erfolg für praktische Forderungen ausgenutzt werden können. Ein einfaches Mittel, sämtliche Relativbewegungen darstellen zu können, bieten die Geschwindigkeitspole als augenblickliche Drehpunkte eines Getriebegliedes relativ zu einem beliebigen anderen Gliede. Die Polkonfiguration erfaßt den Gesamtplan der Pole, und hier soll auf nicht ausgenutzte Anwendungsmöglichkeiten und auch neuartige Mittel für eine höhere Getriebesynthese hingewiesen werden. Die Berechnungsgrundlagen werden für den Rechner HP-41CV zu Verfügung gestellt.

## Die Lagenberechnungen

In Fig. 1 ist eine von zwei zwangsläufigen sechsgliedrigen kinematischen Ketten, die *Stephensonsche Kette*, dargestellt. Sie besteht aus den zwei ternären (dreigelenkigen) Gliedern  $1 = d$  und  $3 = b$ , sowie aus den vier binären (zweigelenkigen) Gliedern  $2 = a$ ,  $4 = c$ ,  $5 = b_{II}$ ,  $6 = c_{II}$ . Zunächst ist es notwendig, diese Kette als Getriebe z. B. mit dem Glied  $1 = d$  als Abszisse eines x-y-Achsenkreuzes mit  $A_0$  als Ursprung und mit einem Winkel  $\varphi$  festzulegen.



Nach **Tabelle 1** gelten in Übereinstimmung mit Fig. 1 die hier angegebenen Eingabewerte mit dem Abruf XEQ 10. Das Gesamtprogramm läuft dann nach **Tabelle 2** mit dem Abruf XEQ 05.

**Tabelle 1**

Eingangswerte mit Speicherzurodnungen für das Getriebe nach Fig. 1

XEQ 10	
↓	
<b>EINGABE</b>	
<b>POLKOORD.</b>	
A,B,C,D,S1	
30.00000000	$a = R02$
54.00000000	$b = R03$
40.00000000	$c = R04$
60.00000000	$d = R05$
1.00000000	$s1 = R10$
EPS,E	
15.00000000	$e = R06$
80.00000000	$e = R07$
GAMMA,G	
-20.00000000	$\gamma = R08$
70.00000000	$g = R09$
BII,CII,SII	
50.00000000	$b_{II} = R40$
65.00000000	$c_{II} = R41$
1.00000000	$s_{II} = R11$

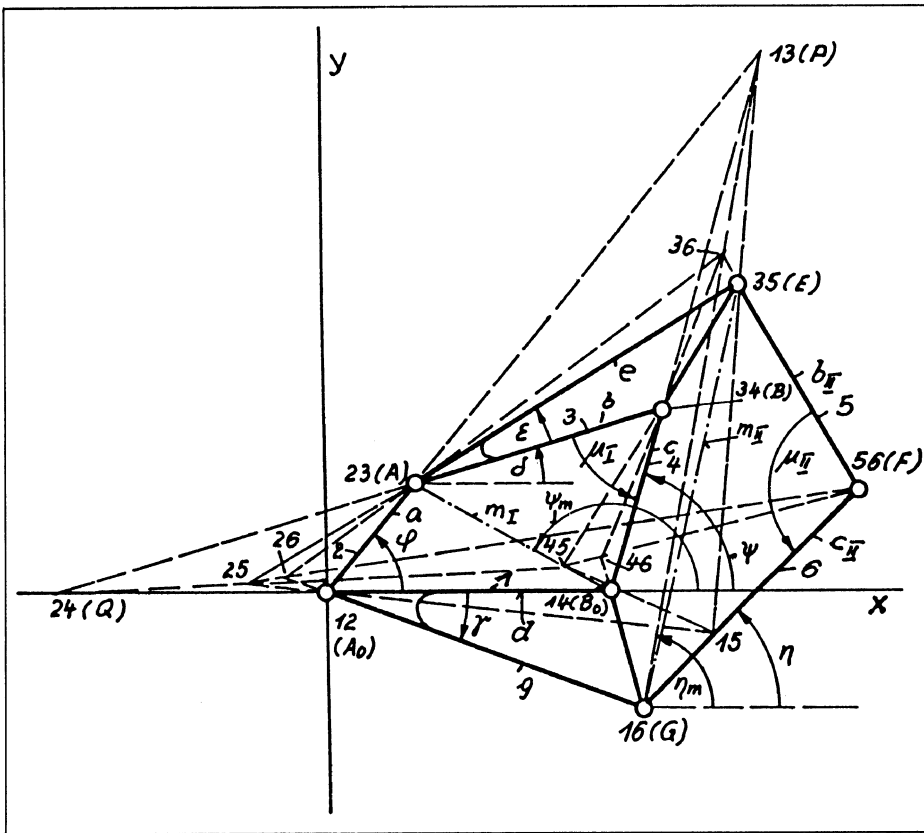
**Tabelle 2**

Polberechnungen für eine gegebene Getriebebelage für das Getriebe nach Fig. 1

XEQ 05	
↓	
<b>POLKORD.</b>	
<b>PHI</b>	
50.00000000	
***	
12<A0>	
0.00000000	$x_{12}$
0.00000000	$y_{12}$
13<P>	
91.12272253	$x_{13} = R38$
108.5958320	$y_{13} = R39$

Tabelle 2 (Fortsetzung)

14(B0)	60.00000000	$X_{14} = R_{05}$
	0.00000000	$Y_{14}$
15	81.05698571	$X_{15} = R_{43}$
	-8.969937800	$Y_{15} = R_{44}$
16(G)	65.77848346	$X_{16} = R_{18}$
	-23.94141003	$Y_{16} = R_{19}$
23(A)	19.28362829	$X_{23} = R_{12}$
	22.98133329	$Y_{23} = R_{13}$
24(Q)	-57.56954819	$X_{24} = R_{38}$
	0.00000000	$Y_{24}$
25	-15.26161484	$X_{25} = R_{47}$
	1.688882638	$Y_{25} = R_{48}$
26	-7.824324259	$X_{26} = R_{49}$
	2.847821133	$Y_{26} = R_{50}$
34(B)	71.02005269	$X_{34} = R_{14}$
	38.45202776	$Y_{34} = R_{15}$
35(E)	87.38649961	$X_{35} = R_{16}$
	64.95750412	$Y_{35} = R_{17}$
36	83.93303422	$X_{36} = R_{45}$
	70.99748640	$Y_{36} = R_{46}$
45	49.92657338	$X_{45} = R_{51}$
	4.291117991	$Y_{45} = R_{52}$
46	58.39763817	$X_{46} = R_{53}$
	6.638904802	$Y_{46} = R_{54}$
56(F)	112.2045352	$X_{56} = R_{20}$
	21.55168528	$Y_{56} = R_{21}$



**Fig. 1** Pollagen-Berechnungen in einem sechsgliedrigen zwangsläufigen Getriebe

**Tabelle 3** Auflistung des Gesamt-Rechenprogrammes für Pollagen-Berechnungen

01+LBL "KH11"	11 -	21 RCL 03	31 CHS
02+LBL 01	12 R-P	22 X↑2	32 RCL 10
03 RCL 01	13 STO 32	23 -	33 *
04 RCL 02	14 X<>Y	24 2	34 RCL 33
05 P-R	15 STO 33	25 /	35 +
06 STO 12	16 RCL 32	26 RCL 32	36 STO 34
07 X<>Y	17 X↑2	27 /	37 RCL 04
08 STO 13	18 RCL 04	28 RCL 04	38 P-R
09 X<>Y	19 X↑2	29 /	39 RCL 05
10 RCL 05	20 +	30 ACOS	40 +

**Tabelle 3 (Fortsetzung)**

41 STO 14	82 /	123 RCL 18	163 -
42 X<>Y	83 -	124 +	164 /
43 STO 15	84 /	125 STO 20	165 STO 31
44 RCL 13	85 STO 38	126 X<>Y	166 RCL 22
45 -	86 RCL 01	127 RCL 19	167 -
46 RCL 14	87 TAN	128 +	168 RCL 30
47 RCL 12	88 *	129 STO 21	169 *
48 -	89 STO 39	130 RTN	170 RCL 23
49 R-P	90 RCL 17	131*LBL 02	171 + \
50 X<>Y	91 RCL 19	132 RCL 25	172 STO 30
51 STO 35	92 -	133 RCL 23	173 RTN
52 RCL 06	93 RCL 16	134 -	
53 +	94 RCL 18	135 RCL 24	174*LBL 15
54 RCL 07	95 -	136 RCL 22	175 RCL 38
55 P-R	96 R-P	137 -	176 STO 22
56 RCL 12	97 STO 32	138 /	177 RCL 39
57 +	98 X<>Y	139 STO 30	178 STO 23
58 STO 16	99 STO 33	140*LBL 03	179 RCL 16
59 X<>Y	100 RCL 32	141 RCL 29	180 STO 24
60 RCL 13	101 X↑2	142 RCL 27	181 RCL 17
61 +	102 RCL 41	143 -	182 STO 25
62 STO 17	103 X↑2	144 RCL 28	183 RCL 18
63 RCL 08	104 +	145 RCL 26	184 STO 26
64 RCL 09	105 RCL 40	146 -	185 RCL 19
65 P-R	106 X↑2	147 /	186 STO 27
66 STO 18	107 -	148 STO 31	187 RCL 20
67 X<>Y	108 2		188 STO 28
68 STO 19	109 /	149*LBL 04	189 RCL 21
69 RCL 12	110 RCL 32	150 RCL 30	190 STO 29
70 RCL 13	111 /	151 RCL 22	191 XEQ 02
71 RCL 35	112 RCL 41	152 *	192 RCL 31
72 TAN	113 /	153 RCL 31	193 STO 43
73 /	114 ACOS	154 RCL 26	194 RCL 30
74 -	115 CHS	155 *	195 STO 44
75 STO 36	116 RCL 11	156 -	196 RTN
76 RCL 05	117 *	157 RCL 27	
77 1	118 RCL 33	158 +	197*LBL 36
78 RCL 01	119 +	159 RCL 23	198 RCL 38
79 TAN	120 STO 42	160 -	199 STO 22
80 RCL 34	121 RCL 41	161 RCL 30	200 RCL 39
81 TAN	122 P-R	162 RCL 31	201 STO 23

Tabelle 3 (Fortsetzung)

202 RCL 18	241 STO 48	279 STO 27	318 PRA
203 STO 24	242 RTN	280 RCL 16	319 *PHI*
204 RCL 19		281 STO 28	320 PRA
205 STO 25	243+LBL 26	282 RCL 17	321 RCL 01
206 RCL 16	244 XEQ 36	283 STO 29	322 PRX
207 STO 26	245 RCL 45	284 XEQ 02	323 CF 12
208 RCL 17	246 STO 28	285 RCL 31	324 *12<AO>*
209 STO 27	247 RCL 46	286 STO 51	325 PRA
210 RCL 20	248 STO 29	287 RCL 30	326 0
211 STO 28	249 0	288 STO 52	327 PRX
212 RCL 21	250 STO 22	289 RTN	328 0
213 STO 29	251 STO 23		329 PRX
214 XEQ 02	252 RCL 18	290+LBL 46	330 *13<P>*
215 RCL 31	253 STO 24	291 XEQ 36	331 PRA
216 STO 45	254 RCL 19	292 RCL 45	332 RCL 38
217 RCL 30	255 STO 25	293 STO 28	333 PRX
218 STO 46	256 RCL 12	294 RCL 46	334 RCL 39
219 RTN	257 STO 26	295 STO 29	335 PRX
	258 RCL 13	296 RCL 14	336 *14<BO>*
220+LBL 25	259 STO 27	297 STO 26	337 PRA
221 XEQ 15	260 XEQ 02	298 RCL 15	338 RCL 05
222 0	261 RCL 31	299 STO 27	339 PRX
223 STO 22	262 STO 49	300 RCL 05	340 0
224 STO 23	263 RCL 30	301 STO 22	341 PRX
225 RCL 43	264 STO 50	302 0	342 *15*
226 STO 24	265 RTN	303 STO 23	343 PRA
227 RCL 44		304 RCL 18	344 XEQ 15
228 STO 25	266+LBL 45	305 STO 24	345 RCL 43
229 RCL 12	267 XEQ 15	306 RCL 19	346 PRX
230 STO 26	268 RCL 43	307 STO 25	347 RCL 44
231 RCL 13	269 STO 24	308 XEQ 02	348 PRX
232 STO 27	270 RCL 44	309 RCL 31	349 *16<G>*
233 RCL 16	271 STO 25	310 STO 53	350 PRA
234 STO 28	272 RCL 05	311 RCL 30	351 RCL 18
235 RCL 17	273 STO 22	312 STO 54	352 PRX
236 STO 29	274 0	313 RTN	353 RCL 19
237 XEQ 02	275 STO 23	314+LBL 05	354 PRX
238 RCL 31	276 RCL 14	315 XEQ 01	355 *23<A>*
239 STO 47	277 STO 26	316 SF 12	356 PRA
240 RCL 30	278 RCL 15	317 *POLKORD.*	357 RCL 12

Tabelle 3 (Fortsetzung)

358 PRX	399 PRX	438 RCL 05	477 RCL 01
359 RCL 13	400 "45"	439 PRX	478 TAN
360 PRX	401 PRA	440 RCL 10	479 STO 30
361 "24(Q)"	402 XEQ 45	441 PRX	480 RCL 03
362 PRA	403 RCL 51	442 "EPS,E"	481 STO 26
363 RCL 36	404 PRX	443 PRA	482 0
364 PRX	405 RCL 52	444 RCL 06	483 STO 27
365 0	406 PRX	445 PRX	484 RCL 35
366 PRX	407 "46"	446 RCL 07	485 TAN
367 "25"	408 PRA	447 PRX	486 STO 31
368 PRA	409 XEQ 46	448 "GAMMA,G"	487 XEQ 04
369 XEQ 25	410 RCL 53	449 PRA	488 RCL 31
370 RCL 47	411 PRX	450 RCL 08	489 STO 14
371 PRX	412 RCL 54	451 PRX	490 RCL 30
372 RCL 48	413 PRX	452 RCL 09	491 STO 15
373 PRX	414 "56(F)"	453 PRX	492 0
374 "26"	415 PRA	454 "BII,CII,SII"	493 STO 22
375 PRA	416 RCL 20	455 PRA	494 STO 23
376 XEQ 26	417 PRX	456 RCL 40	495 RCL 01
377 RCL 49	418 RCL 21	457 PRX	496 90
378 PRX	419 PRX	458 RCL 41	497 -
379 RCL 50	420 ADV	459 PRX	498 TAN
380 PRX	421 ADV	460 RCL 11	499 STO 30
381 "34(B)"	422 STOP	461 PRX	500 RCL 14
382 PRA		462 ADV	501 STO 26
383 RCL 14	423+LBL 10	463 ADV	502 RCL 15
384 PRX	424 SF 12	464 STOP	503 STO 27
385 RCL 15	425 "EINGABE"		504 RCL 35
386 PRX	426 PRA	465+LBL 06	505 90
387 "35(E)"	427 "POLKOORD."	466 RCL 01	506 -
388 PRA	428 PRA	467 90	507 TAN
389 RCL 16	429 CF 12	468 -	508 STO 31
390 PRX	430 "A,B,C,D,SI"	469 RCL 02	509 XEQ 04
391 RCL 17	431 PRA	470 P-R	510 RCL 31
392 PRX	432 RCL 02	471 STO 12	511 STO 38
393 "36"	433 PRX	472 X<>Y	512 RCL 30
394 PRA	434 RCL 03	473 STO 13	513 STO 39
395 XEQ 36	435 PRX	474 STO 23	514 RCL 01
396 RCL 45	436 RCL 04	475 X<>Y	515 RCL 24
397 PRX	437 PRX	476 STO 22	516 +
398 RCL 46			

Tabelle 3 (Fortsetzung)

517 RCL 11	556 STO 30	595 STO 27	635 STO 27
518 +	557 RCL 14	596 RCL 01	636 RCL 46
519 STO 34	558 STO 26	597 RCL 24	637 TAN
520 RTN	559 RCL 15	598 +	638 STO 31
	560 STO 27	599 90	639 XEQ 04
521*LBL *15*	561 RCL 01	600 -	640 RCL 31
522 RCL 38	562 90	601 TAN	641 STO 53
523 STO 22	563 -	602 STO 31	642 RCL 30
524 RCL 39	564 TAN	603 XEQ 04	643 STO 54
525 STO 23	565 STO 31	604 RCL 31	644 RTN
526 RCL 01	566 XEQ 04	605 STO 51	
527 RCL 24	567 RCL 31	606 RCL 30	645*LBL 20
528 +	568 STO 36	607 STO 52	646 SF 12
529 90	569 RCL 30	608 RTN	647 *SCHUBGETR.*
530 -	570 STO 37		648 PRA
531 TAN	571 RTN	609*LBL *36*	649 *POLKCOORD.*
532 STO 30		610 *TAU 36*	650 PRA
533 RCL 05	572*LBL *25*	611 PRA	651 *PHI*
534 STO 26	573 *TAU 25*	612 RCL 39	652 PRA
535 0	574 PRA	613 CHS	653 RCL 01
536 STO 27	575 RCL 44	614 RCL 05	654 PRX
537 RCL 34	576 RCL 43	615 RCL 38	655 CF 12
538 90	577 /	616 -	656 *12(A0)*
539 -	578 ATAN	617 /	657 PRA
540 TAN	579 STO 33	618 ATAN	658 0
541 STO 31	580 PRX	619 STO 46	659 PRX
542 XEQ 04	581 RTN	620 PRX	660 0
543 RCL 31		621 RTN	661 PRX
544 STO 43	582*LBL *45*	622*LBL *46*	662 XEQ 06
545 RCL 30	583 RCL 43	623 RCL 05	663 *13(P)*
546 STO 44	584 STO 22	624 STO 22	664 PRA
547 RTN	585 RCL 44	625 0	665 RCL 38
	586 STO 23	626 STO 23	666 PRX
548*LBL *24*	587 RCL 35	627 RCL 35	667 RCL 39
549 0	588 90	628 90	668 PRX
550 STO 22	589 -	629 -	669 *TAU 14*
551 STO 23	590 TAN	630 TAN	670 PRA
552 RCL 35	591 STO 30	631 STO 30	671 RCL 35
553 90	592 RCL 14	632 RCL 14	672 90
554 -	593 STO 26	633 STO 26	673 +
555 TAN	594 RCL 15	634 RCL 15	674 PRX

Tabelle 3 (Fortsetzung)

675 *15"	699 RCL 37	723 XEQ *45"	747 PRA
676 PRA	700 PRX	724 RCL 51	748 "SCHUBGETR."
677 XEQ *15"	701 XEQ *25	725 PRX	749 PRA
678 RCL 43	702 *TAU 26'	726 RCL 52	750 CF 12
679 PRX	703 PRA	727 PRX	751 "D,V,H,DELTA"
680 RCL 44	704 0	728 *TAU 46"	752 PRA
681 PRX	705 PRX	729 PRA	753 RCL 05
682 *16"	706 *34<B>"	730 XEQ *46"	754 PRX
683 PRA	707 PRA	731 RCL 53	755 RCL 02
684 RCL 05	708 RCL 14	732 PRX	756 PRX
685 PRX	709 PRX	733 RCL 54	757 RCL 03
686 0	710 RCL 15	734 PRX	758 PRX
687 PRX	711 PRX	735 *TAU 56"	759 RCL 35
688 *TAU 23"	712 *TAU 35"	736 PRA	760 PRX
689 PRA	713 PRA	737 RCL 34	761 "BETA,MUE-II"
690 RCL 01	714 RCL 01	738 90	762 PRA
691 90	715 RCL 24	739 -	763 RCL 24
692 +	716 +	740 PRX	764 PRX
693 PRX	717 90	741 ADV	765 RCL 11
694 *24"	718 +	742 ADV	766 PRX
695 PRA	719 PRX	743 STOP	767 ADV
696 XEQ *24"	720 XEQ *36"	744+LBL 18	768 ADV
697 RCL 36	721 *45"	745 SF 12	769 STOP
698 PRX	722 PRA	746 "EINGABE"	770 .END.

Aus der Programmauflistung, **Tabelle 3**, ist zu erkennen, daß im Label 05 zunächst Label 01 (XEQ 01) abgerufen wird, und dieses dient zur Lagenberechnung. Es werden mit  $\varphi$  die Koordinaten von A, mit der Diagonalen  $m_1$  deren Länge und deren Winkel  $\Psi_m$  berechnet. Nun muß  $\mp AB_0B$  mit  $\pm$  Vorzeichen zu  $\Psi_m$  addiert werden: wenn  $0 < \mu_1 < 180^\circ$  positiv, ist der Lagenwert  $+s_1$  einzusetzen. Nun findet man  $\Psi$ . Mit dem berechenbaren Winkel  $\delta$  und den gegebenen Werten  $e$  und  $e$  lassen sich die Koordinaten von E berechnen und mit  $\gamma$  und  $g$  diejenigen von G. Hinsichtlich der Diagonalen  $m_{11} = GE$  ist



bei positivem Winkel  $0 < \mu_1 < 180^\circ$  der Lagenwert  $s_{11}$  das Winkel-Vorzeichen, so daß sich die Winkel  $\eta_m$ ,  $\eta$  und die Koordinaten von F berechnen lassen, womit nunmehr der gesamte Lagenplan mit den Koordinaten der sieben Gelenke  $A_0, B_0, A, B, E, G, F$ , bekannt sind.

### Unterprogramm „Schnittpunkt zweier Geraden“

Im folgenden Gesamtprogramm ist immer wieder der Schnittpunkt zweier Geraden zu berechnen. Im ersten Fall sind diese Geraden durch je zwei Punkte R und S, sowie T und U, im zweiten Falle durch je zwei Punkte R und S, einen Punkt T und eine Steigungs-Tangente  $m_1$ , und im dritten Falle durch je einen Punkt R und U und die Steigungs-Tangenten  $m_1$  und  $m_2$  gegeben. Deshalb gilt Label 02 für den ersten, Label 03 den den zweiten und Label 04 für den dritten Fall, Tabelle 3. Diese „Labels“ gehen in der angeführten Reihenfolge nahtlos ineinander über.

### Die Pollagen

Jedes sechsgliedrige, zwangsläufige Getriebe hat 15 Pole, hier die sieben Gelenke als reelle und die restlichen acht als ideelle Pole. Es gibt für diesen Fall 20 Polgerade, auf jeder liegen i. allg. je 3 der 15 Pole, und damit gehen durch jeden Pol 4 Polgerade. Die noch unbekannten ideellen Pole können in bestimmter Reihenfolge durch die Schnittpunkte je zweier Polgeraden gefunden werden. Hier zunächst die Zusammenstellung der 15 Pole:

12/0	13/1	14/0	15/2	16/0
	23/0	24/1	25/3	26/3
		34/0	35/0	36/3
			45/3	46/3
				56/0

## Polkonfigurationen

---

1. Die Pole nullter Ordnung (z. B. 12/0) sind die Gelenke, die im Lageplan sofort zur Verfügung stehen, sie sind mit 12/0–14/0 usw. gekennzeichnet.
2. Die Pole erster Ordnung können im Gelenkviereck als Schnittpunkte je zweier Gelenke gefunden werden. Es sind:

<u>13/1 (P)</u>	<u>24/1 (Q)</u>
12/0 – 23/0	12/0 – 14/0
14/0 – 34/0	23/0 – 34/0

3. Die Pole zweiter Ordnung brauchen außer den Polen nullter Ordnung noch je einen Pol erster Ordnung. Es sind:

<u>15/2</u>	<u>36/2</u>
13/1 – 35/0	13/1 – 16/0
16/0 – 56/0	35/0 – 56/0

4. Die Pole dritter Ordnung brauchen außer den Polen nullter Ordnung noch je einen Pol zweiter Ordnung. Es sind:

<u>25/3</u>	<u>26/3</u>	<u>45/3</u>	<u>46/3</u>
12/0 – 15/2	12/0 – 16/0	14/0 – 15/2	14/0 – 16/0
23/0 – 35/0	23/0 – 36/2	34/0 – 35/0	34/0 – 36/2

In dieser Reihenfolge erhalten die Pole 2. und 3. Ordnung (0. und 1. Ordnung sind bereits im Lageplan gefunden worden) die nach ihren Ziffern benannten Unterprogramme, so daß sie sämtlich im Führungs-Label 05 abgerufen werden können. In Fig. 1 sind sämtliche 15 Pole mit ihren Polgeraden aufgezeichnet worden.

## Das Zusammenfallen von Polen

Über Polkonfigurationen i. allg. liegt eine große Zahl von Untersuchungen vor, aber es sind nur Ansätze zu erkennen, welche Folgen und insbesondere Vorzüge ein Zusammenfallen

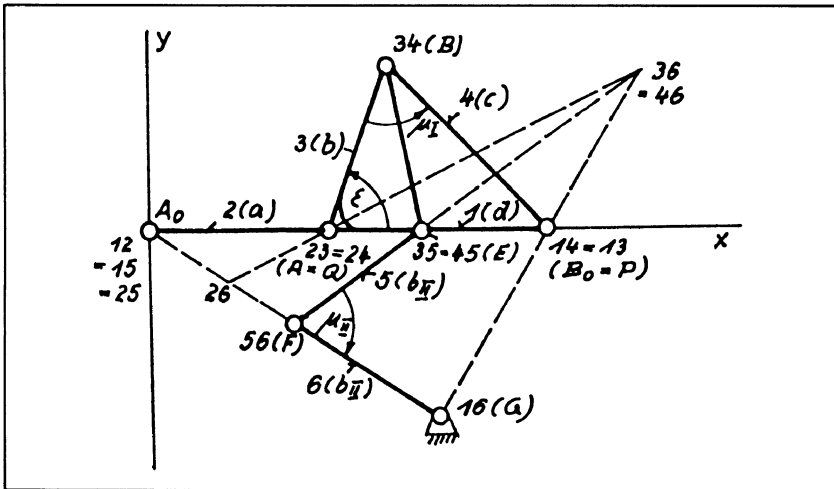


Fig. 2 Pollagen-Berechnung in einem sechsgliedrigen zwangsläufigen Getriebe mit dem mehrfachen Zusammenfallen einiger Polgruppen

von Polen haben kann. Es ist bekannt, daß jede Umkehrlage eines Getriebegliedes, d. h. jede Null-Geschwindigkeitslage das Zusammenfallen der beiden anderen Pole auf der Polgeraden voraussetzt. Zum anderen ist es auch möglich, daß drei Pole in einem Punkt zusammenfallen, daß hier also eine Polgerade in einen Punkt entartet ist! Dies könnte z. B. mehr als bisher bei Untersuchungen an mehrgliedrigen Umlaufräder-Getrieben zu einer besseren Übersicht führen.

In Fig. 2 sind gleichzeitig zwei dieser Sonderfälle angezeigt. Wenn das Glied 6 ( $b_{II}$ ) durch den Pol 12 ( $A_0$ ) geht, fallen in  $A_0$  die Pole 12 = 15 = 25 zusammen. Liegt das Gelenk 35 (E) auf der Polgeraden 14–15, so muß 35 mit 45 zusammenfallen. Der dritte zugehörige Pol 34 (Paarung der ungleichen Ziffern von 35 und 45) muß dann eine Umkehrlage in 34, also zwischen den beiden Gliedern 3 und 4 verursachen. Da der Pol 34, wie jeder andere Pol, auf vier Polgeraden liegen muß, gehören zu 34 noch die Pol-Paarungen 13 = 14, 23 = 24, 36 = 46.

## Polkonfigurationen

In **Tabelle 4** und **Tabelle 5** sind mit den Eingabewerten XEQ 10 im Pol-Programm mit XEQ 05 die Pollagen von Fig. 2 mit für den allgemeinen Fall, Fig. 1, gültigen Programm berechnet worden.

**Tabelle 4** Eingangswerte für das Getriebe nach Fig. 2 mit Pol-Koinzidenzen

<b>XEQ 10</b>	
↓	
<b>EINGABE</b>	
<b>POLKOORD.</b>	
A,B,C,D,SI	
38.00000000	
36.00000000	
48.00000000	
84.00000000	
1.00000000	
	<b>EPS,E</b>
	-78.45500000
	28.00000000
	<b>GAMMA,G</b>
	-32.50000000
	72.00000000
	<b>BII,CII,SI</b>
	33.73400000
	36.00000000
	-1.00000000

**Tabelle 5** Polberechnungen für die Getriebeelagen mit Polkoinzidenzen des Getriebes nach Fig. 2

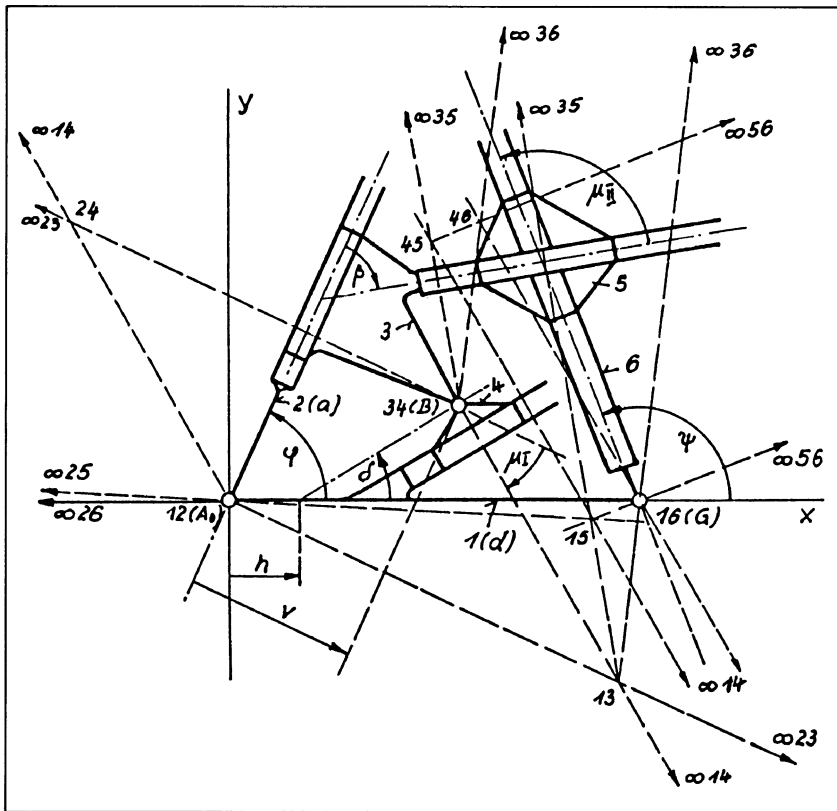
<b>XEQ 05</b>		
↓		
<b>POLKORD.</b>		
<b>PHI</b>		
0.00000000		
***		
12<A0>		
0.00000000		
0.00000000		
13<P>		
84.00000000		
0.00000000		
14<B0>		
84.00000000		
0.00000000		
15		
0.00051588		
0.00041431		
	<b>16&lt;G&gt;</b>	<b>34&lt;B&gt;</b>
	66.72418410	58.04347825
	-38.68557180	33.92572226
	<b>23&lt;A&gt;</b>	<b>35&lt;E&gt;</b>
	38.00000000	58.00000000
	0.00000000	0.000128240
	<b>24&lt;Q&gt;</b>	<b>36</b>
	38.00000000	102.9117030
	0.00000000	31.43219758
	<b>25</b>	<b>45</b>
	-0.000303349	58.00000002
	-0.000243658	0.000128240
	<b>26</b>	<b>46</b>
	16.41018187	102.9117030
	-10.45443884	31.43219758
		<b>56&lt;F&gt;</b>
		38.36226038
		-19.34252168

Da, wie bereits erwähnt, mit dem Zusammenfallen von Polen (Pol-Koinzidenz) bemerkenswerte Vorzüge entstehen können [1], muß das Fehlen grundlegender Untersuchungen über Koinzidenzen dieser Art, insbesondere für vielgliedrige Getriebe, als empfindliche Lücke vermerkt werden.

## Getriebe mit Schubgelenken

Unter Berücksichtigung der *Grüblerschen Restriktionen* [2] lassen sich Drehgelenke durch Schubgelenke ersetzen, und solche Schubgelenke führen gegenüber Drehgelenken nicht nur zu einfacheren mathematischen Zusammenhängen, sie ermöglichen auch Bewegungsgesetze mit mathematischer Genauigkeit, die mit reinen Drehgelenk-Getrieben nicht bzw. nur mit Annäherungen möglich sind, kinematisch darzustellen.

Wenn z. B. auf einer Polgeraden zwei Drehpole und ein Schubpol liegen, so müssen die Winkelgeschwindigkeiten der beiden Drehpole gleich groß sein! Bei zwei Schubpolen muß der dritte ebenfalls ein Schubpol sein. Die gleich großen Winkelgeschwindigkeiten ermöglichen die Wirkung der Oldham-Kupplung und anderer wellenbeweglicher Kupplungssysteme [3], auch bei Parallel-Wellenverschiebungen ein konstant bleibendes Übersetzungsverhältnis zu garantieren. Damit sind auch verstellbare Hubbewegungen mit gleichbleibender Bewegungs-Charakteristik durchführbar [4]. Mit Schubgelenkgetrieben können geometrische Kurven auch höheren Grades genau erzeugt werden [5], und es könnten mannigfaltige neue Erkenntnisse gewonnen werden, wenn der Großteil solcher Getriebe in Computer-Programmen festgehalten würde. Es gibt insgesamt 78 sechsgliedrige kinematische Ketten mit verschiedenartiger Verteilung der Schubgelenke. Aus der hier behandelten Stephensonschen Kette entstehen 26 Bauformen, davon 3 mit einem, 8 mit zwei, 10 mit drei und 5 mit 4 Schubgelenken [6]. Eine der letzteren, mit 4 Schubgelenken, ist in **Fig. 3** dargestellt.



**Fig. 3** Pollagen-Berechnung in einem sechsgliedrigen zwangsläufigen Getriebe mit vier Schubgelenken

Im "Gestell" 1 (d) sind zwei Drehgelenke 12 (A<sub>0</sub>) und 16 (G) und ein Schubgelenk 14 angeordnet, und dieses ist durch die Geradschub-Bewegung  $\delta$  und  $h$  des Drehgelenkes 34 (B) festgelegt. Das zweite Schubgelenk 23 definiert die Lage des Schleifenhebels 2 (a) mit der Versetzung des Schubgliedes 3, wobei der Winkel  $\beta$  die Neigung der beiden Schubführungen des Gliedes 3 kennzeichnet. Schließlich gibt es noch den Doppelschieber 5, dessen Kreuzungswinkel  $\mu_{II}$  das alleinige Maß dieses Getriebe-Gliedes ausmacht. Schubglied 3 und der in 16 (G) gelagerte Schleifenhebel 6 sind durch Kreuzschieber 5 „gelenkig“ miteinander verbunden.

**Tabelle 6** Eingangswerte mit Speicherzuordnungen für das Getriebe nach Fig. 3 mit vier Schubgelenken

XEQ 18	
EINGABE SCHUBGETR.	
D, V, H, DELTA	
90.00000000	$\alpha = R05$
37.00000000	$v = R02$
15.00000000	$h = R03$
30.00000000	$\delta = R35$
BETA, MUE-II	
-56.00000000	$\beta = R24$
101.00000000	$\mu_{II} = R11$

Für jedes Schubgelenk gibt es den im Unendlichen liegenden Pol, senkrecht zur Schubrichtung, und mit diesen Richtstrahlen, durch die zugehörigen Drehgelenke gehend, lassen sich nun sämtliche noch fehlenden Pole der insgesamt 15 möglichen bestimmen. Nach **Tabelle 6** werden mit XEQ 18 die Eingabewerte abgerufen.

Zuerst muß aber das Getriebe in die dem gegebenen  $\varphi$ -Winkel zugeordnete Lage gebracht werden. Im Schleifenhebel 2 (a) wird bei gegebenem  $\varphi$  der Schieber 3 so lange verschoben, bis sein Gelenkpunkt 34 (B) die mit  $\delta$  und  $h$  vorgegebene Geradbahn schneidet. Damit erhält der Kreuzschieber 5 relativ zu 3 eine eindeutige Lage, wenn mit  $\mu_{II}$  die Parallele durch 16 (G) gezogen wird, womit auch die Lage von 6 durch  $\Psi$  bestimmt ist. Diese einfache geometrische Konstruktion wird im Hauptprogramm, XEQ 20 (vgl. Tabelle 3) nach Label 06 (XEQ 06) weitergeleitet und dort rechnerisch nachvollzogen, wobei die Pole 34 und 13 anfallen, der letztere als Schnittpunkt der Senkrechten in 12 zur Führung 2 mit der Senkrechten in 34 zur  $\delta$ -Führung. In **Tabelle 7** sind nun nach Eingabe  $\varphi = R01$  sämtliche 15 Pole in ihrer numerischen Reihenfolge aufgelistet. Den Einzelpolen ist je ein Unterprogramm mit der zugehörigen Nummer, hier im  $\alpha$ -Modus, gewidmet,

## Polkonfigurationen

**Tabelle 7** Polberechnungen für eine gegebene Getriebelage  
für das Getriebe nach Fig. 3

XEQ 20	
↓	
SCHUBGETR. POLKOORD. PHI	
65.00000000 $\varphi = R01$	
***	
12(A0)	
0.00000000	$X_{12}$
0.00000000	$Y_{12}$
13(P)	
85.00369352	$X_{13} = R38$
-39.63787326	$Y_{13} = R39$
TAU 14	
120.00000000	$T_{14}$
15	
79.34018014	$X_{15} = R43$
-3.879857880	$Y_{15} = R44$
16	
90.00000000	$X_{16} = R05$
0.00000000	$Y_{16}$
TAU 23	
155.00000000	$T_{23}$
24	
-34.66462596	$X_{24} = R36$
60.04089340	$Y_{24} = R37$
TAU 25	
-2.799621703	$T_{25} = R33$
TAU 26	
0.00000000	$T_{26}$
34(B)	
50.33906754	$X_{34} = R14$
20.40302015	$Y_{34} = R15$
TAU 35	
99.00000000	$T_{35}$
TAU 36	
82.81582331	$T_{36} = R46$
45	
44.67555416	$X_{45} = R51$
56.16103636	$Y_{45} = R52$
46	
55.33537402	$X_{46} = R53$
60.04089344	$Y_{46} = R54$
TAU 56	
20.00000000	$T_{56}$



das entweder allein für sich oder auch in der Zusammenfassung nach Tabelle 7 abgerufen werden kann. Diese „Labels“ sind in Tabelle 3 aufgelistet. Für einige Pole mit Winkelwerten können im Label 20 aus den Eingabewinkeln unmittelbar die zugehörigen Winkelwerte untergebracht werden. Nach Tabelle 7 und Fig. 3 ist für die gewählte Struktur festzustellen, daß es 8 Drehpole und 7 Schubpole (diese durch „ $\tau$ “ gekennzeichnet) gibt. Der Relativpol 26 für die Bewegungen von 2 und 6 liegt auf der Geraden 1 im Unendlichen, d. h. jeder Winkeländerung von  $\Delta\varphi$  entspricht die gleich große und gleich gerichtete Winkeländerung  $\Delta\Psi$ ! Dies trifft aber für sämtliche Drehpole untereinander zu. Dies bedeutet nunmehr, daß dieses Getriebe mit 4 Schubgelenken und drei Drehgelenken hinsichtlich sämtlicher Drehbewegungen genau gleichförmige Übertragungen erzeugt. Ungleichförmige Übertragungen, die dieses Getriebe immer noch als ungleichförmig übersetzend herausstellen, treten dafür lediglich als Relativ-Schubbewegungen auf [7].

## Schlußbetrachtung

An willkürlich herausgegriffenen Getriebebeispielen sollte auf die besondere Bedeutung der *Pole* hingewiesen werden, insbesondere sollte aber kenntlich gemacht werden, daß hier bei der beachtlich großen Zahl der Getriebestrukturen noch viele Fragen offen sind. Die vorhandene Erkenntnislücke erscheint noch wesentlich größer, wenn der Übergang zu den achtgliedrigen, zwangsläufigen Getrieben [8] zu vollziehen ist oder Getriebe mit höherem Freiheitsgrad einbezogen werden sollen [9].

Aus der Vor-Computerzeit liegen noch bemerkenswerte Untersuchungen vor, die der Tatsache gerecht zu werden versuchten, daß die Polbahnen, d. i. der geometrische Ort der aufeinander folgenden Pollagen, durch ihr Abrollen aufeinander die Relativbewegungen eines bewegten Systems in

klarer Weise offenlegen. Es ist deshalb eine verheißungsvolle Aufgabe, die Anwendung der Umkehrung zu versuchen [10], nämlich aus den gegebenen Polbahnen die Getriebedimensionen für gegebene praktische Bedingungen zu bestimmen.

## Literatur

- [1] *Hain, K.*: Entwerfen von Gelenkgetrieben mit gegebenem Verlauf des Übersetzungsverhältnisses. Maschinenmarkt 83 (1977), Nr. 35 S. 694/697
- [2] *Grübler, M.*: Getriebelehre. Berlin: Springer 1917
- [3] *Duditza, R.*: Querbewegliche Kupplungen. Strukturelle und kinematische Systematisierung. Antriebstechnik 10 (1971), H. 1., S. 409/419
- [4] *Hain, K.*: Die Oldham-Kupplung als wandlungsfähiges Getriebe. Konstruktion 34 (1982), H. 7, S. 265/270
- [5] *Artobolevskii, I.*: Mechanisms for the Generation of Plane Curves. Oxford, London, Edinburgh, New York, Paris, Frankfurt: Pergamon 1964
- [6] *Hain, K.*: Systematik sechsgliedriger kineamtischer Ketten. Maschinenmarkt 74 (1968), Nr. 38, S. 717/723
- [7] *Hain, K.*: Bewegungen in sechsgliedrigen Getrieben. Verteilung von Umlauf-, Schwing- und Schubbewegungen. Maschinenmarkt 75 (1969), Nr. 11, S. 170/177
- [8] *Hain, K. und A.-W. Zielstorff*: Die zwangläufigen, achtegliedrigen Getriebe mit Einfach- und Mehrfachgelenken. Maschinenmarkt 70 (1984), Nr. 64, S. 12/18
- [9] *Hain, K.*: Die Polbestimmung in Getrieben mit zwei Freiheitsgraden bei beliebiger Verteilung der Antriebsbewegungen. Forsch. Ing.-Wes. 41 (1975), Nr. 2, S. 51/62
- [10] *Sieker, K.-H.*: Ermittlung von Gelenkvierecken aus den Krümmungshalbmessern der Polbahnen und deren Änderungen. Technik 3 (1948), S. 170/174



# **VIEWEG PROGRAMMBIBLIOTHEK**

## **Mikrocomputer**

Die Bände der Programmbibliothek enthalten ausgetestete Programme zu jeweils einem ausgewählten Themenschwerpunkt oder für einen aktuellen Mikrocomputer. Dabei wird der jeweilige Entwicklungsstand der Rechnertechnik berücksichtigt.

Die Programme sind, ausgehend von einer konkreten Aufgabenstellung, in der Regel in ihrem Ablauf beschrieben und durch ausgeführte Beispiele ergänzt. Wenn es nötig scheint, sind auch theoretische Grundlagen für die Programmierung erläutert.

Durch die graphischen, tabellarischen oder in Textform gegebenen Ablaufbeschreibungen wird die Übertragbarkeit auf andere Rechner-typen erleichtert, so daß die wirtschaftliche Nutzung der einzelnen Bände möglich ist. An Hand gleichartiger Aufgabenstellungen wird fallweise auch die unterschiedliche Arbeitsweise verschiedener Rechnertypen aufgezeigt.

Der Herausgeber bemüht sich ständig um eine sorgfältige Auswahl und Begutachtung der eingesandten Programme. Trotzdem kann keine Gewährleistung für vollständige Fehlerfreiheit übernommen werden. Programme zeigen ja oft erst nach vielen Testläufen mit wechselnden Parametern und Grenzbedingungen logische Fehlreaktionen und Sackgassen.

Für die Fälle, die zu Anregungen oder Kritik führen, sind in jedem Band die Anschriften der einzelnen Autoren angegeben. Wir erhoffen uns dadurch einen regen Gedankenaustausch zwischen Autoren und Benutzern der Programmbibliothek, der sich für beide Seiten als nützlich erweisen dürfte.

VIEWEG

ISBN 978-3-528-04463-3