

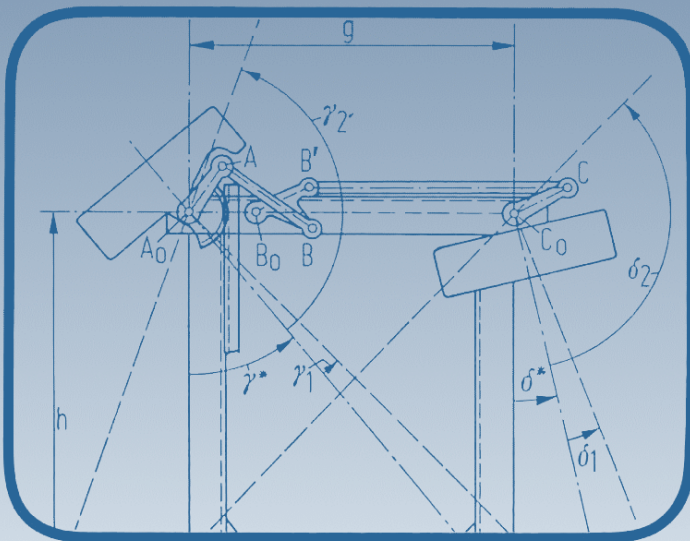
# 9

## Anwendung von Mikrocomputern

# Gelenkgetriebe- Konstruktion

mit HP Serie 40 und 80

Kurt Hain / Harald Schumny





Kurt Hain / Harald Schumny

## **Gelenkgetriebe-Konstruktion**

HP Serie 40 und 80

# **Anwendung von Mikrocomputern**

Herausgegeben von Dr. Harald Schumny

Die Buchreihe behandelt Themen aus den vielfältigen Anwendungsbereichen des Mikrocomputers: Technik, Naturwissenschaften, Betriebswirtschaft. Jeder Band enthält die vollständige Lösung von Problemen, entweder in Form von Programmpaketen, die der Anwender komplett oder in Teilen als Unterprogramme verwenden kann, oder in Form einer Problemaufbereitung, die dem Benutzer bei der Software- und Hardware-Entwicklung hilft.

- |                |   |
|----------------|---|
| <b>Band 1</b>  | <b>Digitale Regelung von Mikroprozessoren</b><br>von Norbert Hoffmann   |
| <b>Band 2</b>  | <b>Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik</b><br>von Dietmar Herrmann  |
| <b>Band 3</b>  | <b>Mathematische Routinen VC-20 (Elektrotechnik/Elektronik)</b><br>von Ernst-Friedrich Reinking                   |
| <b>Band 4</b>  | <b>Numerische Mathematik</b><br>von Dietmar Herrmann  |
| <b>Band 5</b>  | <b>Textverarbeitung (TI-99/4A und VC-20)</b><br>von Arnim und Ingeborg Tölke                                      |
| <b>Band 6</b>  | <b>Steuerberechnung mit dem Epson HX-20</b><br>von Werner Grajewski und Eduard Sachtje                            |
| <b>Band 7</b>  | <b>Getriebelehre mit dem Mikrocomputer (SHARP PC-1500 A)</b><br>von Hans Bürde                                    |
| <b>Band 8</b>  | <b>Dienstprogramme für VC-20, Commodore 64 und Executive</b><br>von Ernst-Friedrich Reinking                      |
| <b>Band 9</b>  | <b>Gelenkgetriebe-Konstruktion mit Kleinrechnern<br/>(HP Serie 40 und 80)</b><br>von Kurt Hain und Harald Schumny |
| <b>Band 10</b> | <b>Angewandte Matrizenrechnung</b><br>von Dietmar Herrmann  |



**Anwendung von Mikrocomputern Band 9**

Kurt Hain und Harald Schumny

# **Gelenkgetriebe-Konstruktion**

**mit Kleinrechnern**

**HP Serie 40 (HP-41C/CV) und**

**HP Serie 80 (HP-83, HP-85, HP-86, HP-87)**

Mit 38 Bildern und 81 Tabellen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

**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.**

**1984**

**Alle Rechte vorbehalten**

**© Springer Fachmedien Wiesbaden 1984**

**Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1984**

**Die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder, auch für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, gestattet das Urheberrecht nur, wenn sie mit dem Verlag vorher vereinbart wurden. Im Einzelfall muß über die Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums entschieden werden. Das gilt für die Vervielfältigung durch alle Verfahren einschließlich Speicherung und jede Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien. Dieser Vermerk umfaßt nicht die in den §§ 54 und 54 URG ausdrücklich erwähnten Ausnahmen.**

**Umschlaggestaltung: Peter Lenz, Wiesbaden**

**Satz: Vieweg, Braunschweig**

**ISBN 978-3-528-04288-2    ISBN 978-3-663-14113-6 (eBook)**

**DOI 10.1007/978-3-663-14113-6**

## Vorwort

In diesem Buch werden zwei wichtige Grundprobleme der Getriebesynthese, d.i. der Getriebe-Entwurf für gegebene praktische Bedingungen, behandelt. Im ersten Falle geht es um die Verwendung ungleichmäßig übersetzender Getriebe als Funktionsmechanismen, indem für gegebene, einander zuzuordnende Winkellagen zweier Getriebeglieder zwangsläufige Getriebe zu entwerfen sind. Im zweiten Falle werden Führungsgetriebe vorgestellt, von denen ein Koppelpunkt eine gegebene Bahnkurve durchlaufen soll. In beiden Fällen wird versucht, eine möglichst gute Annäherung an die exakten Bedingungen zu erreichen, und deshalb wurden, über die „klassischen“ Verfahren hinausgehend, zum einen Mittelwerte aus einer höheren als normal erreichbaren Zahl der Zuordnungen und zum anderen Punktlagenreduktionen verwendet, die mit Hilfe von Reduktionen ebenfalls über das Normalmaß hinauszugehen ermöglichen.

Für befriedigende Getriebekonstruktionen genügt es aber nicht, sich mit der beschriebenen Maßsynthese allein zu begnügen. Von nahezu gleicher Wichtigkeit ist die Berücksichtigung der „Nebenbedingungen“, an deren Nichtbeachtung viele Entwürfe scheitern müssen. Es sind dies vor allem die Garantie für den einwandfreien Getriebedurchlauf durch vorgegebene Bewegungsbereiche, die Prüfung der Übertragungsgüte und zusätzlich z.B. noch die Abschätzung des Raumbedarfs und vor allem auch der Beschleunigungsverlauf, um schließlich auch höchsten Ansprüchen zu genügen.

Die beiden hier vorgestellten Groß-Programme sind für das automatische Abtasten eines gesamten gegebenen Lösungsfeldes mit entsprechenden Zwischen- und Fehlmeldungen eingerichtet. Mit Getriebeproblemen in Grenzbereichen ist fast immer ein wichtiger Lernprozeß verbunden, indem für den Einzelfall Erkenntnisse grundlegender und grenzüberschreitender Art erworben werden können, die gegebenenfalls auf ähnliche Probleme übertragbar sind.

Die Programmierunterlagen werden in allgemeiner Form dargestellt, gleichzeitig aber auch für die Rechner HP-41C und HP-85 aufbereitet, um so weit gestreuten Erwartungen hinsichtlich der Übertragbarkeit auf beliebige andere Rechnerarten entgegenzukommen. Die praktischen Beispiele aus verschiedenen technischen Bereichen sollen Einblicke in Getriebekonstruktionen mit Rechnerunterstützung, gleichzeitig aber auch Anregungen für weitere Einsatzgebiete geben.

Die Verfasser

Braunschweig, im April 1984

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Problemstellung</b>	<b>1</b>
<b>2 Besonderheiten der verwendeten Kleinrechner und Bedienungshinweise</b>	<b>2</b>
2.1 HP-41C/CV (Serie 40)	2
2.1.1 Koordinaten-Transformation mit nur positiven Winkeln	2
2.1.2 Drehung eines Punktes um gegebenen zweiten Punkt	2
2.1.3 Schnittpunkt von zwei Geraden	7
2.1.4 Schnittpunkt von zwei Geraden bei gegebenen Steigungswinkeln	8
2.2 HP-85 und andere (Serie 80)	10
2.2.1 Koordinaten-Transformation	10
2.2.2 Drehung eines Punktes um gegebenen zweiten Punkt	12
2.2.3 Schnittpunkt von zwei Geraden	12
2.2.4 Schnittpunkt von zwei Geraden bei gegebenen Steigungswinkeln	13
<b>3 Berechnung von Gelenkvierecken für gegebene Winkelbewegungen</b>	<b>14</b>
3.1 Aufgabenstellung	14
3.2 Die geometrischen Grundlagen für Vierwinkel-Zuordnungen	15
3.3 Berechnungsgrundlagen und Programmbeschreibung	17
3.3.1 Die wichtigen Unterprogramme	17
3.3.2 Unterprogramme als Steuerprogramme	21
3.3.3 Das Laufprogramm	23
3.3.4 Gelenkviereck-Kernwertprogramm	27
3.3.5 Die Einführungsprogramme	29
3.3.6 Tabellen und Diagramme für HP-41	30
3.3.7 Tabellen und Diagramme für HP-85	36
3.3.8 Bedienungsanweisungen für den HP-41-Programmablauf	50
3.3.9 Bedienungsanweisungen für den HP-85-Programmablauf	51
3.3.10 Zahlenbeispiel für HP-41	55
3.3.11 Zahlenbeispiel für HP-85	57
3.4 Praxisbeispiele für Vier-Winkel-Zuordnungen	57
3.4.1 Achsschenkellenkung für Fahrzeuge mit kleinem Wenderadius	57
3.4.2 Berechnung beschleunigungsgünstiger Getriebe zur Herabsetzung der Massenkräfte	61
3.4.3 Hebebühne für Geradführungshub	67
3.4.4 Mittenzentrierende Spannvorrichtung	68
3.4.5 Verklemmungsfreie Schubführungen großer Breite	71
3.5 Literaturverzeichnis	72

<b>4 Der rechnerische Getriebeentwurf zur Erzeugung gegebener Bahnkurven</b>	<b>73</b>
4.1 Die Koppelkurven des Gelenkvierecks	73
4.2 Koppelunkt-Synthese mit Hilfe von Punktlagenreduktionen	74
4.3 Berechnungsgrundlagen und Programmbeschreibung	76
4.3.1 Die fünf $B_0$ -Reduktionen	76
4.3.2 Übersicht über fünffach unterschiedliche $B_0$ -Koordinaten	79
4.3.3 Vorbereitung zum Hauptprogramm nach Festlegen auf eine Mittelsenkrechten-Paarung	83
4.3.4 Zahlenbeispiel für $B_0$ -Auswahl	85
4.3.5 Berechnung der Kurbellagen	97
4.3.6 Zahlenbeispiel für die Berechnung der Kurbellagen	105
4.3.7 Berechnung des Gesamt-Gelenkvierecks	111
4.3.8 HP-41-Zahlenbeispiel für die 5-Punkte-Synthese	124
4.3.9 HP-85-Zahlenbeispiel für die 5-Punkte-Synthese	125
4.3.10 HP-41-Zahlenbeispiel für die 4-Punkte-Synthese	127
4.3.11 HP-85-Zahlenbeispiel für die 4-Punkte-Synthese	130
4.3.12 Das Gesamtprogramm 5-Punkte-Synthese	134
4.4 Praxisbeispiele für Koppelkurven-Synthese	134
4.4.1 Fördergetriebe in einem landwirtschaftlichen Ladewagen	134
4.4.2 Hubgetriebe für Rechtwinkel-Bewegung	142
4.4.3 Abricht- und Prüfmechanismus für Evolventen-Zahnflanken	152
4.4.4 Sechsgliedriges Zweistand-Schubgetriebe für zeitweise konstante Abtriebs-Geschwindigkeit	167
4.5 Literaturverzeichnis	178
4.6 Tabellenteil HP-41C/CV	179
4.7 Tabellenteil HP-85 und andere	188
<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>216</b>



# 1 Problemstellung

Ungleichmäßig übersetzende Getriebe werden in vielen technischen Gebieten mit Erfolg eingesetzt. Die Theorie und der Entwurf dieser Getriebe beruhen auf außerordentlich schwierigen mathematischen Beziehungen, deshalb war bis zur Einführung der programmierbaren Rechner die Geometrie, also die graphische Methode, die Domäne der Kinetik. Die Analyse- und Syntheseverfahren auf geometrischer Grundlage sind wegen der nichtlinearen Zusammenhänge schon nicht immer einfach zu lehren und zu begreifen, und deshalb wurden die ungleichmäßig übersetzenden Getriebe vielfach auch lediglich mit Hilfe der Empirie in Verbindung mit einem manchmal erstaunlichen Einfühlungsvermögen in Bewegungsvorgänge in ihren Abmessungen bestimmt, obwohl eine geometrische Synthese auf wissenschaftlichen Grundlagen zur Verfügung stand.

Die Einführung der programmierbaren Rechner mit den anfänglich komplizierten Verfahren zur Erstellung der Software veranlaßte die Experten der numerischen Verfahren zur Suche nach Algorithmen für den Aufbau und für die Wirkungsweise der Getriebe, die wegen ihres algebraischen Aufbaues keine Analogie zur Geometrie herstellen konnte. Damit entstanden Verständigungsschwierigkeiten zwischen den Computer-Fachleuten und den Abnehmern ihrer Arbeiten, den Konstrukteuren im Entwicklungsbüro. Die wissenschaftlichen Veröffentlichungen in dieser Richtung sind vor allem in den Ländern, in denen den graphischen Methoden die Tradition in dem Ausmaße wie in Deutschland und einigen anderen Ländern fehlte, mit beachtlich hohem Niveau angewachsen. Es entstand die Auffassung, daß zwischen den numerischen Verfahren wegen ihrer allein möglichen Computer-Anwendung und den graphischen Verfahren mit der Begrenzung auf das Zeichenbrett ein scharfer Trennungsstrich gezogen werden muß. Gelegentlich kam allerdings auch zum Ausdruck, daß die Anschaulichkeit und Übersicht der graphischen Verfahren bei Benutzung numerischer Verfahren bedauerlicherweise verlorengeht.

In der Zwischenzeit wurde versucht, die Vorzüge beider Methoden mit Hilfe der „Zeichnungsfolge-Rechenmethode“ zu vereinen, indem das Entstehen der Zeichnung mit den einfachen rechnerischen Methoden der analytischen Geometrie nachvollzogen wird. Es hat sich gezeigt, daß die Aufeinanderfolge vieler Einzelrechnung mit Speichern und Weiterverarbeiten der Zwischenwerte nicht bzw. in immer vernachlässigbarer Größenordnung die Genauigkeit beeinflusst. Die Zeichnungsfolge-Rechenmethode hat den großen Vorzug der in hohem Maße vereinfachten Programmierung. In jeder beliebigen Zwischenphase lassen sich die Rechenergebnisse durch Nachmessen der Zeichnung mit guter Annäherung rasch nachprüfen. Die aufeinanderfolgenden Gleichungen sind in ihrem Aufbau im allgemeinen recht einfach. Es brauchen keine neuen Rechenverfahren entwickelt zu werden. Immerhin müssen aber, wie bei jedem anderen Verfahren auch, die kinematisch-geometrischen Grundgesetze berücksichtigt werden. Weil z.B. ein Kreis mit einer Geraden zwei Schnittpunkte hat, muß dem Rechner in irgend einer Form mitgeteilt werden, welcher der beiden Schnittpunkte zu verwenden ist. Und wenn es überhaupt keinen Schnittpunkt

gibt, muß auch das vermeldet werden; und es muß auch verlangt und im Programm verankert werden können, wie der Rechner mit neuen Parametern weiter laufen muß, um zu solchen Schnittpunkten zu kommen.

Zusätzlich sollte man dem Rechner auch zumuten, seine Ergebnisse mit entsprechenden Kennzahlen zu bewerten, deren Aufstellung und deren Einsatz in systemgerechter Weise allerdings eine rein kinematische Frage bleibt.

Diese zusätzlichen Problemlösungen sind aber auf keinen Fall ein Kennzeichen der Zeichnungsfolge-Rechenmethode, sie müssen bei Verwendung anderer Algorithmen in der gleichen Weise angegangen werden, wofür man allerdings im Schrifttum bisher nur wenig Vermerke und Anwendungen finden konnte.

Bei Getriebeuntersuchungen werden nach der Strukturauswahl zwei Bearbeitungsschritte unterschieden: die Getriebe-Analyse zur Darstellung der Bewegungs- und Kräfteverhältnisse in Getrieben mit gegebenen Abmessungen und die Getriebe-Synthese als der Entwurf von Getrieben für gegebene praktische Bedingungen, d.h. die Bestimmung der Abmessungen.

In dem hier gesteckten Rahmen sollen zwei Hauptprobleme der Getriebe-Synthese behandelt werden. Im ersten Fall geht es darum, Gelenkvierecke zu berechnen, die eine vorgegebene Funktion der Winkelbewegungen eines im Gestell gelagerten Abtriebsgliedes in Abhängigkeit von den Winkelbewegungen eines ebenfalls im Gestell gelagerten Antriebsgliedes mit möglichst hoher Genauigkeit erfüllen. Es handelt sich um das Problem der Winkelzuordnungen.

Für das zweite Problem ist eine geschlossene ebene Kurve oder auch nur ein Teilbereich einer solchen Kurve vorgeschrieben, und es sind Gelenkvierecke zu konstruieren, von denen ein Koppelpunkt diese Kurve möglichst genau durchläuft.

Zum besseren Verständnis und zur Herausstellung der Bedeutung dieser beiden Grundaufgaben der Getriebe-Synthese sind in jedem Falle weit gestreute praktische Beispiele beigelegt worden, deren Zahl sich beliebig erhöhen läßt. Darüber hinaus soll aber ein neuer Weg beschritten werden, indem die Programme so umfassend auszulegen sind, daß nicht nur eine Lösung oder deren mehrere in einem engen Bereich erarbeitet werden, sondern es soll das gesamte überhaupt mögliche Lösungsfeld abgetastet werden, selbstverständlich mit im einzelnen festlegbaren Grenzen, außerhalb derer eine Lösung nicht mehr interessiert. Damit eröffnen sich Möglichkeiten zum vollautomatischen Getriebe-Entwurf mit dem Ziel, nicht nur eine oder mehrere zufällige Lösungen erarbeitet zu haben, sondern das jeweils optimale Getriebe zu finden. Falls bei einer solchen automatischen Rechnung aber überhaupt keine Lösung zustande kommt, so braucht die Ursache weder in einem mangelhaften Programm noch im Rechner zu liegen, es wird lediglich angezeigt, daß es für eine solche zahlenmäßig festgelegte Aufgabenstellung überhaupt keine Lösung geben kann. Und dies ist für den Konstrukteur eine außerordentlich wertvolle Information; denn dann muß er bzw. kann er Überlegungen anstellen, wie er die Aufgabenstellung zu ändern hat, wie er gegebenenfalls sogar mit Einschränkungen für ihn wichtige Teil-Funktionen rechnen muß, oder ob er zu einem höheren Aufwand, nämlich zu Getrieben mit höherer Gliederzahl übergehen muß.



Wenn also in Zukunft weitere derartige Programme aufgestellt werden, kann der Lösung eines alten Wunschtraumes der Getriebetechnik entgegengesehen werden, nämlich endlich die Grenzen der ungleichmäßig übersetzenden Getriebe in Abhängigkeit von ihrer Gliederzahl abstecken zu können, um so auch zu einem wirtschaftlichen Einsatz dieser Getriebe zu kommen. Für einige klar definierbare Problemstellungen sind solche Grenzen mit Computerhilfe sichtbar.

Für die beiden angegebenen Aufgaben soll im folgenden ein Weg versucht werden, möglichst breit gefächerten Ansprüchen gerecht zu werden. Zunächst werden sämtliche aufeinanderfolgende Gleichungen, die das Programm bilden, sowie auch alle erforderlichen Verzweigungen mit Unterprogrammen aufgeführt. Von besonderer Wichtigkeit ist, eigentlich für jede Programmier-Arbeit, das Vorführen von Zahlenbeispielen, damit der Erfolg in wichtigen Zwischenphasen nachgeprüft werden kann. Für zwei Rechner werden aber auch die rechnerspezifischen Forderungen z.T. getrennt voneinander behandelt. Es werden der programmierbare Kleinrechner HP-41C/CV und der Tischrechner HP-85 einander gegenübergestellt.

Der Rechner HP-41 arbeitet mit der erfolgreichen „Umgekehrten Polnischen Notation“ (UPN). Seine Möglichkeiten sind breit gefächert, vor allem hinsichtlich der Steuerung von Programmschleifen für Iterationszwecke mit der Verwendung beliebig vieler Unterprogramme. Das „Stackregister“ als automatischer Rechenregister-Stapel und eigens zugeordnete Tastenbefehle für Koordinaten-Transformationen tragen wesentlich zur Erleichterung und Verkürzung des Programmierens bei. Die Rechnerkapazität ist für die meisten bisher behandelten Getriebe-Aufgaben ausreichend. Bei Bedarf größeren Programm-Umfanges, wie im folgenden am zweiten Beispiel demonstriert, steht ein Massenspeicher mit etwa 50facher Erweiterung in einer einzigen Kassette zur Verfügung. Und dieser Speicher kann in das Programm so einbezogen werden, daß sämtliche unterschiedlichen Teilprogramme automatisch, also ohne manuelle Unterbrechung des selbsttätig ablaufenden Programmes, nach Belieben nacheinander abgerufen werden können. Hinzu kommt die Möglichkeit eines Plotter-Anschlusses zum Aufzeichnen von Diagrammen und Kurvenzügen.

Die HP-Tischrechner der Serie 80 (HP-83/85/86/87) sind leistungsfähige, dabei noch kostengünstige Personal-Computer (PC), die vorzugsweise in technisch-wissenschaftlichen Bereichen eingesetzt werden. Wegen ihrer reifen Schnittstellenstruktur werden sie besonders gerne zum Messen, Steuern und Regeln verwendet, weshalb der HP-85 auch als „kompakter Prozeß-Controller“ bezeichnet wird – kompakt deshalb, weil in einem etwa schreibmaschinengroßen Gehäuse der komplette 8-Bit- $\mu$ C mit bis zu 32 Kbyte Schreib-/Lesespeicher (RAM), eine ausgezeichnete Tastatur, ein Bildschirm und ein Kassettenrecorder zur digitalen Speicherung von 195 Kbyte vereinigt sind. Weitere Merkmale:

- Erweitertes BASIC mit hohem Komfort;
- für die 8-Bit-Klasse erstaunlich hohe Verarbeitungs- und Datenübertragungsgeschwindigkeit;
- ausreichende Rechengenauigkeit (12 Stellen);
- überdurchschnittliche Graphik-Möglichkeiten.

Für beide Rechnersysteme werden, wenn es die unterschiedliche Programmierung erfordert, auch parallel zueinander sämtliche Gleichungen, Verzweigungen und Nutzenanwen-

dungen, diese vergleichsweise mit denselben Ergebnissen zu Verfügung gestellt. Außerdem wurden für beide Rechner die vollständigen Programm-Ausdrucke mit zugehörigen Bedienungsanweisungen aufgenommen.

So dürfte es also möglich sein, auch jedem beliebigen anderen Rechner die Programme einzugeben. Deshalb werden die Programme auch nicht in allen Einzelheiten auf rechner-spezifische Eigenschaften abgestellt. Wenn z.B. die  $\text{sign-x}$ -Funktion nicht unmittelbar zur Verfügung steht, läßt sich diese leicht auch durch den  $\frac{|x|}{x}$ -Ausdruck ersetzen. Bei Verwendung der beiden bevorzugt benutzten Rechner können, ohne die Bestimmungsgleichungen im einzelnen studieren zu müssen, die Programme unmittelbar, den Programm-Ausdrucken folgend, eingegeben werden. Schließlich bleibt noch ein Angebot offen, Magnetkarten bzw. Magnetbandkassetten als sofort verwendbare Software zu übernehmen.

Die Winkelberechnung kann in wenigen Sonderfällen dazu führen, daß bei Winkeladditionen trotz richtiger absoluter Winkelwerte unterschiedliche Vorzeichen für  $s$  zustandekommen, weil die beiden hier verwendeten Rechner offenbar verschiedene trigonometrische Algorithmen verwenden. Für das korrekte Vorzeichen von  $s$  sind in allen Fällen Kontrollen durch die Berechnung und Ausgabe von  $\psi^*$  vorgesehen (vgl. z. B. Bild 3.3 in 3.1 und die Fußnote zu Gl. (3.25) in 3.3.4).

Zu den Programmen ist noch folgendes anzumerken: Alle hier vorgestellten Grundroutinen, Laufprogramme und Beispiele wurden auf einem HP-41 entwickelt. Um vergleichen zu können, wurden bei der Übertragung in BASIC-Programme die Zeilennummern so in der Form „ähnlich“ festgelegt, daß z.B. zu *Label 20* (Kreis durch drei Punkte in 3.3.1) die *Startzeile 2000* des BASIC-Unterprogramms korrespondiert. Es wurde dabei in Kauf genommen, daß die Struktur der BASIC-Programme teilweise unbefriedigend ist.

Die BASIC-Programme in Kapitel 3 zur Berechnung von Gelenkvierecken für gegebene Winkelbewegungen sind weitgehend „1:1-Übertragungen“ der HP-41-Programme. Die Ausführungen in Kapitel 4 (Getriebeentwurf zur Erzeugung gegebener Bahnkurven) wurden an vielen Stellen erweitert, um einige der Fähigkeiten vorzuführen, die Rechner der HP-80-Serie bieten. Wenn Speicherplatz knapp wird, können die großzügigen Kommentierungen, Erklärungen auf dem Bildschirm und Abfragen gestrichen werden, ohne die Substanz zu beeinträchtigen.

Die hier abgedruckten und diskutierten BASIC-Programme sind darum weder elegant, noch in irgendeiner Weise optimiert, was Programmlaufzeit und Speicherbedarf angeht. Sie sollen vor allem dazu motivieren, die Materie weiter zu bearbeiten und die Möglichkeiten zu nutzen, die durch moderne, preiswerte Kleincomputer am Arbeitsplatz zur Verfügung stehen.

## 2 Besonderheiten der verwendeten Kleinrechner und Bedienungshinweise

### 2.1 HP-41C/CV (Serie 40)

#### 2.1.1 Koordinaten-Transformation mit nur positiven Winkeln

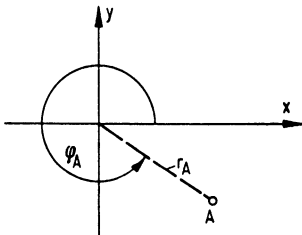
Koordinaten-Transformationen lassen sich im Rechner HP-41CV mit einfachen Tastendrücken außerordentlich einfach und problemlos mit Hilfe der PR- und RP-Tasten ausführen. Bei der Umwandlung von Rechtwinkel- in Polar-Koordinaten (RP-Taste) ergibt sich der „Polar-Winkel“ im 3. und 4. Quadranten mit negativem Vorzeichen. Im allgemeinen kann dieses Vorzeichen für analytisch-geometrische Rechnungen mit beliebigem Vorzeichen eingesetzt werden, das Ergebnis wird dadurch in keiner Weise gefälscht. Dies ist z.B. bei der Berechnung des Schnittpunktes einer Geraden mit einer zweiten Geraden oder mit einem Kreis der Fall.

Es gibt aber auch Beispiele, wie in diesem Buch im zweiten Hauptprogramm dargestellt, bei denen man mit Winkelsummen und Winkeldifferenzen arbeitet und für die sämtliche Winkel positives Vorzeichen haben müssen. Dies kann man mit einem kleinen Zusatz erreichen. Wenn z.B. nach Bild 2.1 die Rechtwinkel-Koordinaten  $x_A$  und  $y_A$  des Punktes A gegeben sind und die Polar-Koordinaten  $r_A$  und  $\varphi_A$ , letzterer unbedingt mit positivem Vorzeichen, berechnet werden sollen, empfiehlt sich folgender Ansatz (hier mit Label 01):

$$y_A \text{ ENTER } x_A : \text{RP} \rightarrow r_A \gtrless [ ] + \text{sign} \rightarrow \text{arc cos} \cdot 2 = \varphi_A \quad (2.1)$$

$$R_{02} \text{ ENTER } R_{01} : \text{RP} \rightarrow R_{03} \gtrless [ ] + \text{sign} \rightarrow \text{arc cos} \cdot 2 = R_{04} \quad (2.2)$$

Vom unmittelbar im Rechner bereitgestellten Winkelergebnis  $\varphi'_A$  wird also mit „sign“ der Wert  $\pm 1$ , davon mit  $\text{arc cos } 0^\circ$  oder  $180^\circ$  bestimmt, mit 2 (auf  $360^\circ$ ) multipliziert und damit die algebraische Summe mit dem Ursprungswinkel  $\varphi'_A$  gebildet. Ist dieser Ausdruck zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$ , so ist der Zusatz  $0^\circ$ , bei der Lage zwischen  $-180^\circ$  und  $-0^\circ$  ist der Zusatz  $360^\circ$ . Es ist von besonderem Vorteil, daß diese Rechnung ohne eine IF-Schranke, also ohne besondere Verzweigung möglich ist.



**Bild 2.1**

Umrechnung der Koordinaten  $x_A$  und  $y_A$  des Punktes A in dessen Polarkoordinaten  $r_A$  und  $\varphi_A$ , letztere aber immer mit positivem Vorzeichen (HP-41C)

Tabelle 2.1

Rechen-Unterprogramm für  
Koordinaten-Transformation  
nach Bild 2.1

01	LBL 01		
02	RCL 02	$y_A = -20$	Eingangswerte
03	ENTER↑		
04	RCL 01	$x_A = +30$	
05	R-P		
06	STO 03	$\gamma_A = 36,0555$	Ergebniswerte
07	X<>Y		
08	ENTER↑		
09	SIGN		
10	ACOS		
11	2		
12	*		
13	+		
14	STO 04	$\varphi_A = 326,3099$	
15	STOP		

Tabelle 2.1 zeigt den Programm-Ausdruck dieses Ansatzes. Hierzu ist zu bemerken, daß der Schritt „ENTER“ der Programmzeile 03 wegfallen kann, wenn  $y_A$  in Speicher-Registerform verwendet wird, bei einem Zahlenwert ist „ENTER“ aber notwendig! In Tabelle 2.1, (und in allen folgenden Beispiel-Tabellen) sind Beispiel- und Ergebniswerte zum besseren Verständnis mit Zahlenangaben angegeben.

### 2.1.2 Drehung eines Punktes um gegebenen zweiten Punkt

Bild 2.2 zeigt ein im Getriebebereich oft zu lösendes Problem. Die Koordinaten  $x, y$  eines Punktes A sowie  $x_0, y_0$  eines Punktes  $A_0$  sind gegeben. Punkt A soll um  $A_0$  und um den Winkel  $\psi$  verdreht werden, und die Koordinaten  $x', y'$  der neuen Lage  $A'$  von A sind zu berechnen.

Hier können die Befehle RP und PR mit Erfolg eingesetzt werden. Mit Label 02 ergeben sich:

$$(y - y_0) \text{ ENTER } (x - x_0) : \text{RP} \rightarrow r_0 \geq \varphi_0 \quad (2.3)$$

$$(R_{02} - R_{06}) \text{ ENTER } (R_{01} - R_{05}) : \text{RP} \rightarrow [ ] \leq [ ] \quad (2.4)$$

$$(\varphi_0 + \psi) \geq \text{PR} \rightarrow + x_0 = x' \geq + y_0 = y' \quad (2.5)$$

$$([ ] + R_{07}) \geq \text{PR} \rightarrow + R_{05} = R_{08} \geq + R_{06} = R_{09} \quad (2.6)$$

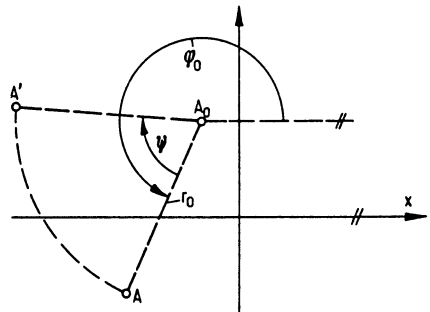


Bild 2.2

Drehung eines Punktes A mit gegebenen Koordinaten  $x_A$  und  $y_A$  um einen Punkt  $A_0$  mit gegebenen Koordinaten  $x_{A0}$  und  $y_{A0}$  und um einen gegebenen Winkel  $\psi$ . Bestimmung der Koordinaten  $x_{A'}$  und  $y_{A'}$  der neuen Punktlage  $A'$  (HP-41CV)

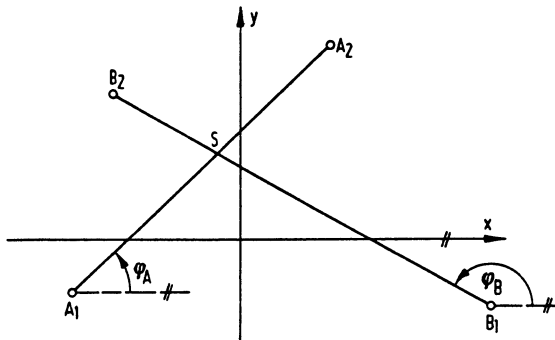
**Tabelle 2.2** Rechen-Unterprogramm für die Koordinaten-Berechnung der Lage  $A'$  des Punktes A nach seiner Drehung um einen gegebenen Punkt  $A_0$  und um einen gegebenen Winkel  $\psi$  nach Bild 2.2

16	LBL 02		
17	RCL 02	$y = -20$	Eingangswerte
18	RCL 06	$y_0 = +25$	
19	-		
20	ENTER↑		
21	RCL 01	$x = -30$	Eingangswerte
22	RCL 05	$x_0 = -10$	
23	-		
24	R-P		
25	X<>Y		
26	RCL 07	$\psi = -70^\circ$	Eingangswerte
27	+		
28	X<>Y		
29	P-R		
30	RCL 05	$x_0 = -10$	Ergebniswerte
31	+		
32	STO 08	$x' = -59,1266$	
33	X<>Y		
34	RCL 06	$y_0 = +25$	
35	+		Ergebniswerte
36	STO 09	$y' = +28,4029$	
37	STOP		
38	END.		

Das zugehörige Programm ist in Tabelle 2.2 ausgedruckt. Es ist ersichtlich, daß die Zwischenwerte  $r_0$  und  $\varphi_0$  automatisch gespeichert und wieder abgerufen werden. Die eingesetzten Zahlenwerte können zur Erläuterung und zur Erleichterung bei der Programm-Gestaltung dienen.

### 2.1.3 Schnittpunkt von zwei Geraden

Nach Bild 2.3 ist folgende Aufgabe zu lösen: Eine Gerade ist mit den Koordinaten der Punkte  $A_1$  und  $A_2$  und eine zweite Gerade mit den Koordinaten der Punkte  $B_1$  und  $B_2$  gegeben, die Koordinaten des Schnittpunktes S der beiden Geraden sind zu berechnen.



**Bild 2.3**

Bestimmung des Schnittpunktes S von zwei Geraden, die durch die Koordinaten je zweier Punkte  $A_1$  und  $A_2$ , sowie  $B_1$  und  $B_2$  gegeben sind (HP-41CV)

Als Zwischenaufgabe sind die Steigungen  $\varphi_A$  und  $\varphi_B$  der beiden Geraden beliebig in einem ihrer beiden Punkte zu bestimmen. Mit Label 03 ergibt sich:

$$(y_{A2} - y_{A1}) \text{ ENTER } (x_{A2} - x_{A1}): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq \varphi_A \tan = m_A \quad (2.7)$$

$$(R_{13} - R_{11}) \text{ ENTER } (R_{12} - R_{10}): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq [ ] \tan = R_{18} \quad (2.8)$$

$$(y_{B2} - y_{B1}) \text{ ENTER } (x_{B2} - x_{B1}): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq \varphi_B \tan = m_B \quad (2.9)$$

$$(R_{17} - R_{15}) \text{ ENTER } (R_{16} - R_{14}): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq [ ] \tan = R_{19} \quad (2.10)$$

$$\frac{m_A \cdot x_{A1} - m_B \cdot x_{B1} + y_{B1} - y_{A1}}{m_A - m_B} = x_S \quad (2.11)$$

$$\frac{R_{18} \cdot R_{10} - R_{19} \cdot R_{14} + R_{15} - R_{11}}{R_{18} - R_{19}} = R_{19} \quad (2.12)$$

$$m_A \cdot (x_S - x_{A1}) + y_{A1} = y_S \quad (2.13)$$

$$R_{18} (R_{19} - R_{10}) + R_{11} = R_{18} \quad (2.14)$$

Bei solchen Programmen empfiehlt sich nacheinander die Mehrfach-Belegung einiger Speicher-Register, wie hier der Speicher  $R_{18}$  und  $R_{19}$ . Der Programm-Ausdruck, **Tabelle 2.3**, läßt mit Zahlenbeispielen die 8 Koordinaten der A- und B-Punkte als Eingangswerte und die Koordinaten  $x_S, y_S$  des Schnittpunktes S als Ergebniswerte erkennen.

#### 2.1.4 Schnittpunkt von zwei Geraden bei gegebenen Steigungswinkeln

Die Koordinaten des Schnittpunktes zweier Geraden lassen sich einfach bestimmen, wenn (**Bild 2.4**) die Steigungswinkel  $\varphi$  und  $\psi$  sowie der Abstand  $d$  der Abszissen-Schnittpunkte der beiden Geraden bekannt sind. Die Koordinaten des Schnittpunktes P können mit folgenden einfachen Beziehungen (**Label 04**) berechnet werden:

$$\frac{d}{\frac{1}{\tan \varphi} - \frac{1}{\tan \psi}} = y_P \quad (2.15)$$

$$\frac{R_{20}}{\frac{1}{\tan R_{21}} - \frac{1}{\tan R_{22}}} = R_{24} \quad (2.16)$$

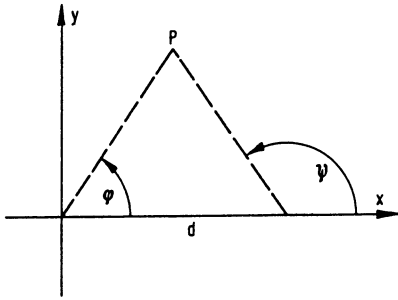
$$\frac{y_P}{\tan \varphi} = x_P \quad (2.17)$$

$$\frac{[ ]}{\tan R_{21}} = R_{23} \quad (2.18)$$

Der Programm-Ausdruck, **Tabelle 2.4**, läßt erkennen, in welchem hohen Maße hier die Stack-Register des UPN-Verfahrens zur Verkürzung des Programmes beitragen.

**Tabelle 2.3** Rechen-Unterprogramm für die Koordinaten-Berechnung des Schnittpunktes S von zwei Geraden, die durch je zwei Punkte  $A_1$  und  $A_2$ , sowie  $B_1$  und  $B_2$  bestimmt sind, nach Bild 2.3

38+LBL 03		
39 RCL 13	$y_{A2} = 50$	Eingangswerte
40 RCL 11	$y_{A1} = -18,5$	
41 -		
42 ENTER↑		
43 RCL 12	$x_{A2} = 24$	
44 RCL 10	$x_{A1} = -45$	
45 -		
46 R-P		
47 X<>Y		
48 TAN		
49 STO 18		
50 RCL 17	$y_{B2} = 37,5$	Eingangswerte
51 RCL 15	$y_{B1} = -17,5$	
52 -		
53 ENTER↑		
54 RCL 16	$x_{B2} = -34,5$	
55 RCL 14	$x_{B1} = 66$	
56 -		
57 R-P		
58 X<>Y		
59 TAN		
60 STO 19		Ergebniswerte
61 RCL 18		
62 RCL 10		
63 *		
64 RCL 19		
65 RCL 14		
66 *		
67 -		
68 RCL 15		
69 +		
70 RCL 11		Ergebniswerte
71 -		
72 RCL 18		
73 RCL 19		
74 -		
75 /		
76 STO 19	$y_s = -4,9055$	
77 RCL 10		
78 -		
79 RCL 18		
80 *		
81 RCL 11		
82 +		
83 STO 18	$x_s = 21,3040$	
84 STOP		
85 .END.		

**Bild 2.4**

Bestimmung des Schnittpunktes P von zwei Geraden, die durch die Winkel  $\varphi$  und  $\psi$ , sowie durch den gegebenen Abstand  $d$  zweier ihrer Punkte bestimmt sind (HP-41CV)

**Tabelle 2.4** Rechen-Unterprogramm für die Koordinaten-Berechnung des Schnittpunktes P von zwei Geraden, die durch die Winkel  $\varphi$  und  $\psi$ , sowie durch den Abstand  $d$  zweier ihrer Punkte gegeben sind, nach Bild 2.4

85*LBL 04		
86 RCL 20	$d = 60$	Eingangswerte
87 RCL 21	$\varphi = 55^\circ$	
88 TAN		
89 1/X		
90 RCL 22	$\psi = 125^\circ$	Ergebniswerte
91 TAN		
92 1/X		
93 -		
94 /		
95 STO 24	$y_P = 42,8444$	
96 RCL 21		
97 TAN		
98 /		
99 STO 23	$x_P = 30$	
100 STOP		
101 .END.		

## 2.2 HP-85 und andere (Serie 80)

### 2.2.1 Koordinaten-Transformation

Die 80er Tischcomputer werden in BASIC programmiert, d.h. es stehen die üblichen mathematischen Funktionen zur Verfügung, Zahlenwerte und Ergebnisse müssen Variablen zugewiesen werden. Die Variablennamen beim HP-85 können aus einem Buchstaben oder aus einem Buchstaben gefolgt von einer Ziffer bestehen. Beim HP-86 können sogar Langnamen aus bis zu 31 Zeichen verwendet werden. Wir benutzen diese Möglichkeit jedoch nicht, damit alle Programme auf allen 80er Rechnern lauffähig sind. Die Variablen sind in jedem Fall „global“, d.h. sie gelten für ein ganzes Programm und müssen eindeutig sein. Darum ist eine Mehrfachbenutzung wie die der HP-41-Register nicht möglich.



Umwandlungsfunktionen wie RP und PR (vgl. 2.1.1) gibt es in BASIC nicht. Zur Transformation von Rechtwinkel- in Polar-Koordinaten steht aber die Anweisung ATN2(Y, X) zur Verfügung. Die in 2.1.1 für den HP-41 nach Bild 2.1 aufgestellten Gleichungen (2.1) und (2.2) können für den HP-85 wie folgt geschrieben werden:

$$r_A = \sqrt{y_A^2 + x_A^2} \quad \rightarrow \quad R = \text{SQR}(Y \uparrow 2 + X \uparrow 2) \quad (2.19)$$

$$\text{Winkel } \varphi'_A \quad \rightarrow \quad W = \text{ATN2}(Y, X) \quad (2.20)$$

$$\varphi_A = w + \arccos(\text{sign}(w)) \cdot 2 \rightarrow F = W + \text{ACS}(\text{SGN}(W)) * 2 \quad (2.21)$$

Es ist hier nebeneinander gestellt, wie beispielsweise die mathematischen Größen im BASIC-Programm benannt werden können. Für die Programme in diesem Buch sind in Tabellenform Variablennamen-Referenzlisten angegeben.

Mit dem Term  $\text{ACS}(\text{SGN}(W)) * 2$  in Gl. (2.21) wird zu W entweder 0 oder 360 addiert, abhängig vom Vorzeichen von W. Dadurch wird der Polarwinkel  $\varphi_0$  (F0) in jedem Fall positiv.

Tabelle 2.5 zeigt die zugehörigen Programmschritte, die Dateneingabe und Ergebnisse  $r(A) = r_A$  und  $\text{Phi}(A) = \varphi_A$  (vgl. auch Tabelle 2.1).

Zwei Besonderheiten sollen noch herausgestellt werden:

- Für die Ergebnisausgaben mit DISP USING wurde in Zeile 15 das Ausgabeformat mit IMAGE festgelegt. Es bedeutet  
 8A — 8 Textzeichenstellen (Alphastellen)  
 M — Minuszeichen oder Leerstelle  
 3D — Platz für 3 Dezimalstellen vor dem Komma (bzw. Dezimalpunkt)  
 .4D — 4 Nachkommastellen, gerundet  
 Mit DISP USING 15 wird dieses Ausgabeformat aufgerufen.
- Beim HP-85 ist für trigonometrische Berechnungen das Bogenmaß die Grundeinstellung (RAD). Sollen Argumente als Winkel eingegeben werden, muß mit DEG darauf umgeschaltet werden (Zeile 35).

Tabelle 2.5 Beispiel zur Koordinaten-Transformation (HP-85)

<pre> 10 ! BEISPIEL 1 15 IMAGE 8A,M3D 4D 20 DISP "&gt;(A)";@ BEEP @ INPUT Y 30 DISP "&gt;(A)";@ BEEP @ INPUT X. 35 DEG 40 R=SQR(Y^2+X^2) 50 W=ATN2(Y,X) 60 F=W+ACS(SGN(W))*2 70 DISP USING 15 ; "r(A)    =" ; R 80 DISP USING 15 ; "Phi(A) =" ; F 90 PAUSE 95 ! ----- </pre>	<p><i>Bildschirmausgaben</i></p> <pre> &gt;(A)? -20 &gt;(A)? 30 r(A)    = 36.0555 Phi(A)  = 326.3099 </pre>
--	---

### 2.2.2 Drehung eines Punktes um gegebenen zweiten Punkt

Wieder ausgehend von den für den HP-41 anhand von Bild 2.2 in 2.1.2 angestellten Überlegungen formulieren wir die Gleichungen (2.3) und (2.5) für den HP-85 wie folgt:

$$r_0 = \sqrt{(y - y_0)^2 + (x - x_0)^2} \rightarrow R0 = \text{SQR}((Y - Y0) \uparrow 2 + (X - X0) \uparrow 2) \quad (2.22)$$

$$\varphi_0 = \arccos \frac{|x - x_0|}{r_0} + \arctan \frac{y - y_0}{x - x_0} \rightarrow W = \text{ATN2}(Y - Y0, X - X0) \quad (2.23)$$

$$F0 = W + \text{ACS}(\text{SGN}(W)) * 2$$

$$x' = r_0 \cdot \cos(\varphi_0 + \psi) + x_0 \quad X1 = R0 * \cos(F0 + P) + X0 \quad (2.24)$$

$$y' = r_0 \cdot \sin(\varphi_0 + \psi) + y_0 \quad Y1 = R0 * \sin(F0 + P) + Y0 \quad (2.25)$$

Wenn der Radius  $r_0$  benötigt wird, ist er wie in Gl. (2.22) gezeigt zu berechnen. Für  $\varphi_0$  läßt sich wieder die ATN2-Anweisung verwenden. Das Vorzeichen wird wie in 2.2.1 (Gl. (2.21)) berücksichtigt.  $x'$  und  $y'$  sind direkt aus den Winkelfunktionen ermittelt. In Tabelle 2.6 sind alle zugehörigen Programminformationen zu finden.

Tabelle 2.6 Beispiel zur Drehung eines Punktes um gegebenen zweiten Punkt (HP-85)

100 ! BEISPIEL 2	
110 DISP ">" ; @ BEEP @ INPUT Y	
120 DISP ">(0) " ; @ BEEP @ INPUT	Bildschirm Ausgaben
Y0	> ?
130 DISP "x " ; @ BEEP @ INPUT X	-20
140 DISP "x(0) " ; @ BEEP @ INPUT	x(0) ?
X0	25
150 DISP "Psi " ; @ BEEP @ INPUT P	x ?
155 R0=SQR((Y-Y0)^2+(X-X0)^2)	-30
160 W=ATN2(Y-Y0,X-X0)	x(0) ?
165 F0=W+ACS(SGN(W))*2	-10
170 X1=R0*COS(F0+P)+X0	Psi ?
180 Y1=R0*SIN(F0+P)+Y0	-70
190 DISP USING 15 ; " x' = " ; X1	x' = -59.1266
200 DISP USING 15 ; " y' = " ; Y1	y' = 28.4029
210 PAUSE	

### 2.2.3 Schnittpunkt von zwei Geraden

Die Referenz hierfür ist Abschn. 2.1.3 mit Bild 2.3 und den Gleichungen (2.7) bis (2.14). Die Richtungstangenten programmieren wir wie folgt:

$$m_A \rightarrow A = \text{TAN}(\text{ATN2}(Y2 - Y1, X2 - X1)) \quad (2.26)$$

$$m_B \rightarrow B = \text{TAN}(\text{ATN2}(Y4 - Y3, X4 - X3)) \quad (2.27)$$

Damit folgen dann die Koordinaten für den Schnittpunkt S:

$$x_s \rightarrow X = (A * X1 - B * X3 + Y3 - Y1) / (A - B) \quad (2.28)$$

$$y_s \rightarrow Y = A * (X - X1) + Y1 \quad (2.29)$$

Tabelle 2.7 Beispiel für Schnittpunkt von zwei Geraden (HP-85)

300 ! BEISPIEL 3	
310 DISP ">(A2) = "; @ BEEP @ INP	
UT Y2	
320 DISP ">(A1) = "; @ BEEP @ INP	
UT Y1	
330 DISP "x(A2) = "; @ BEEP @ INP	<i>Bildschirmausgaben</i>
UT X2	y(A2) = ?
340 DISP "x(A1) = "; @ BEEP @ INP	50
UT X1	y(A1) = ?
350 DISP ">(B2) = "; @ BEEP @ INP	-18.5
UT Y4	x(A2) = ?
360 DISP ">(B1) = "; @ BEEP @ INP	24
UT Y3	x(A1) = ?
370 DISP "x(B2) = "; @ BEEP @ INP	-45
UT X4	y(B2) = ?
380 DISP "x(B1) = "; @ BEEP @ INP	37.5
UT X3	y(B1) = ?
390 A=TAN(ATN2(Y2-Y1,X2-X1))	-17.5
400 B=TAN(ATN2(Y4-Y3,X4-X3))	x(B2) = ?
410 X=(A*X1-B*X3+Y3-Y1)/(A-B)	-34.5
420 Y=A*(X-X1)+Y1	x(B1) = ?
430 DISP USING 15 ; "x(S) = "; X	66
440 DISP USING 15 ; "y(S) = "; Y	x(S) = -4.9055
450 PAUSE	y(S) = 21.3040

Die Bedeutung der hier eingeführten Rechner-Variablenamen wird leicht durch Vergleich mit Abschn. 2.1.3 klar. Die Anfertigung von Referenzlisten ist unbedingt erforderlich, weil schon nach kurzer Zeit kaum noch erkannt wird, daß  $x_{A1} \hat{=} X1$  und  $x_{B1} \hat{=} X3$  gilt. Tabelle 2.7 zeigt das kleine Programm, Werteeingaben und Ergebnisse (vgl. Tabelle 2.3).

#### 2.2.4 Schnittpunkt von zwei Geraden bei gegebenen Steigungswinkeln

Entsprechend Bild 2.4 und Gl. (2.15) bis Gl. (2.18) in Abschn. 2.1.4 schreiben wir für den HP-85:

$$y_P \rightarrow Y = D / ((1/\tan(F)) - (1/\tan(P))) \quad (2.30)$$

$$x_P \rightarrow X = Y / \tan(F) \quad (2.31)$$

Die Ergebnisse in Tabelle 2.8 stimmen natürlich mit den in Tabelle 2.4 vorgestellten überein.

Tabelle 2.8 Beispiel für Schnittpunkt von zwei Geraden bei gegebenen Steigungswinkeln (HP-85)

500 ! BEISPIEL 4	<i>Bildschirmausgaben</i>
510 DISP "d "; @ BEEP @ INPUT D	d ?
520 DISP "Phi "; @ BEEP @ INPUT F	60
530 DISP "Psi "; @ BEEP @ INPUT P	Phi?
540 Y=D/(1/TAN(F)-1/TAN(P))	55
550 X=Y/TAN(F)	Psi?
560 DISP USING 15 ; "y(P) = "; Y	125
570 DISP USING 15 ; "x(P) = "; X	x(P) = 42.8444
580 END	x(P) = 30.0000

## 3 Berechnung von Gelenkvierecken für gegebene Winkelbewegungen

### 3.1 Aufgabenstellung

Das Gelenkviereck als einfachstes Gelenkgetriebe ist in der Lage, gegebene Relativ-Winkelbewegungen der beiden im Gestell gelagerten Glieder mit strukturbedingten Einschränkungen zu erzeugen. Es kann somit z.B. zur mechanischen Darstellung mathematischer Funktionen oder auch von Bewegungszuordnungen, die empirisch oder aus Meßstreifen von Meßreihen gewonnen wurden, eingesetzt werden.

Aus der Getriebetheorie ist bekannt [1], daß bei der Vorgabe von je drei Winkeln am An- und Abtriebsglied unendlich viele Gelenkvierecke gefunden werden können, deren geometrische Örter durch die Kreis- und Mittelpunktkurve bestimmt sind. Für die Vierwinkel-Zuordnung gibt es nur vier Schnittpunkte zweier Kreispunktkurven, die sogenannten Burmesterschen Punkte, für die es allerdings im allgemeinen keine auch zusätzliche Bedingungen erfüllende Lösungen gibt.

Wenn der Funktionsverlauf innerhalb gegebener Grenzen bekannt ist, kann man sich also vier „Genaupunkte“ (die drei Winkel einschließen) vorgeben und aus der unendlich großen Zahl der hierfür gültigen Gelenkvierecke dasjenige heraussuchen, das zusätzliche Bedingungen am besten zu erfüllen vermag, z.B. solche nach günstigster Bewegungsübertragung oder geringem Platzbedarf hinsichtlich der Relativ-Längenverhältnisse der vier Getriebe-glieder. Hierbei gibt es noch Freizügigkeiten in der Wahl der vier Genaupunkte, vor allem aber auch in der Wahl des Bewegungsmaßstabes sowohl am Antriebs- als auch am Abtriebs-glied.

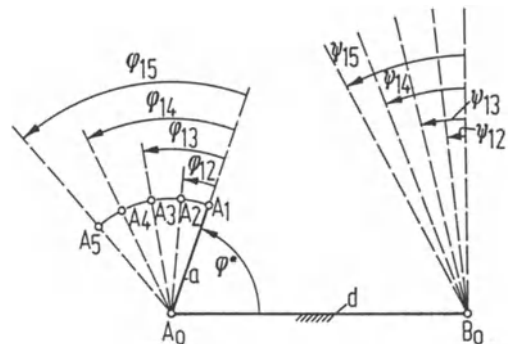
Man kann aber auch im Verlauf der gegebenen Funktion eine größere Zahl von „Annäherungspunkten“ vorgeben und mit geeigneten Methoden versuchen, die „Stützpunkte“ möglichst genau anzunähern. Eine zusätzliche Schwierigkeit besteht dann allerdings in der Forderung, die Abweichungen von allen Stützpunkten möglichst klein und möglichst gleich groß zu halten [2].

Im folgenden soll nun ein Zwischenweg beschritten werden, indem 5 vorgegebene Punkte im Funktionsdiagramm zu je zwei Gruppen mit drei Punkten zusammengefaßt, für diese beiden Gruppen getrennt voneinander die nun möglichen genauen Berechnungen durchgeführt werden, um dann zwischen zwei Kreismittelpunkten das beste Mittel zu finden, wobei durch Abtasten eines großen, allumfassenden Lösungsfeldes die kleinste Kreismittelpunkt-Entfernung zu bestimmen ist.

Wenn es für die durch die Eingangswerte definierte Aufgabe eine oder mehrere Fünf-Genaupunkt-Lösungen, also Vierwinkel-Zuordnungen gibt, dann werden sie auch gefunden! Wenn es aber überhaupt kein Gelenkviereck als Lösung geben kann, so muß auch dies durch Ausdrucken von Fehlmeldungen kenntlich gemacht werden.

Die zusätzliche und für den zeitarmer Konstrukteur besonders wichtige Forderung soll aber darin bestehen, ein Rechnerprogramm nicht nur zur Bewältigung der reinen Rechnungen, sondern zum Fällen von programmierten Entscheidungen aufzustellen. Bei der Besprechung des Programms soll im einzelnen auf die sich bietenden Möglichkeiten eingegangen werden.

Im Bild 3.1 ist die Aufgabenstellung kenntlich gemacht. Es sind die vier Winkel  $\varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14}, \varphi_{15}$  vorgeschrieben, und diesen sollen die vier Winkel  $\psi_{12}, \psi_{13}, \psi_{14}, \psi_{15}$  zugeordnet werden, d.h. es ist ein Gelenkviereck zu berechnen, dessen im Gestellpunkt  $A_0$  gelagertes (Antriebs-) Glied ein im zweiten Gestellpunkt  $B_0$  gelagertes (Abtriebs-) Glied zwangsläufig so bewegt, daß diese vorgeschriebene Winkelzuordnung möglichst genau erfüllt werden kann. Es soll dabei vollkommen gleichgültig sein, welchen Winkel die Anfangslage  $A_0A_1$  des Gliedes  $a$  mit dem Gestell  $A_0B_0 = d$  einschließt. Deshalb besteht die Aufgabe nicht in der Erfüllung von Fünf-Lagenzuordnungen, sondern von Vierwinkel-Zuordnungen. Der Winkel  $\varphi^*$  dient lediglich als Kennwert für den augenblicklich untersuchten Ausschnitt des Gesamt-Lösungsfeldes von  $\varphi^* = 0^\circ$  bis  $\varphi^* = 360^\circ$ . Als Grundbedingung muß gelten, daß die 5 die gegebenen Winkel einschließenden Lagen im Getriebe-Zwanglauf überhaupt erreicht werden.



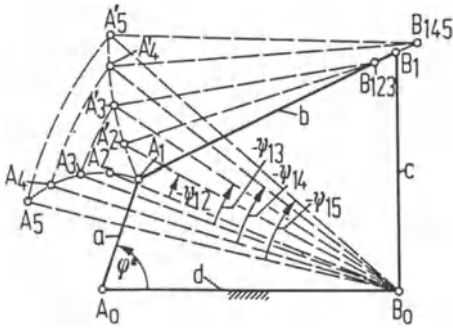
**Bild 3.1**

Geometrische Darstellung der Aufgabe für Vierwinkel-Zuordnungen

### 3.2 Die geometrischen Grundlagen für Vierwinkel-Zuordnungen

Die im folgenden beschriebene Konstruktion beruht auf der kinematischen Umkehrung, Bild 3.2, mit der Maßnahme, daß das Abtriebsglied mit seiner noch unbekannten Länge als feststehend angesehen und das Gestell  $d$  um  $B_0$  mit den negativen gegebenen  $\varphi$ -Winkeln verdreht wird.

Nach Bild 3.2 läßt man die Ausgangslage (oder eine der 5 durch die  $\varphi$ -Winkel bestimmte) und damit den Gelenkpunkt  $A_1$  als Bezugspunkt stehen und verdreht die Punkte  $A_2$  bis  $A_5$  (festgelegt nach Bild 3.1) um  $B_0$  und um die negativen, gegebenen Winkel  $\psi_{12}$  bis  $\psi_{15}$ , womit sich Punktlagen  $A'_2$  bis  $A'_5$  ergeben. Durch drei Punkte ist immer ein und nur ein Kreis mit seinem Radius und seiner Mittelpunktlage eindeutig bestimmt. Deshalb berechnet man den ersten Kreis durch die drei Punkte  $A_1, A'_2, A'_3$  mit seinem Mittelpunkt  $B_{123}$  und den zweiten Kreis durch die drei Punkte  $A_1, A'_4, A'_5$  mit seinem Mittelpunkt  $B_{145}$ . Würden die beiden Kreismittelpunkte in einem Punkt zusammenfallen, wären also die



**Bild 3.2**

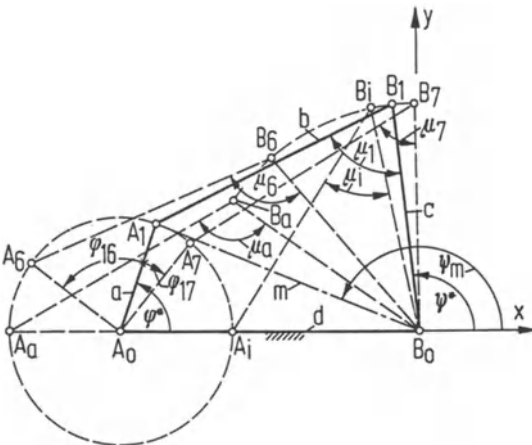
Geometrische Grundlagen für Rechenprogramm  
„Vierwinkelzuordnungen“

beiden Kreisradien gleich groß, so wäre die Lösung der Vierwinkel-Zuordnung exakt erreicht. Da dies aber im allgemeinen mit den beliebig angenommenen Anfangsbedingungen  $\varphi^*$  und  $a$  nicht zutreffen kann, soll versucht werden, die Entfernung  $B = B_{123} B_{145}$  so gering wie möglich zu erhalten.

Im vorliegenden Rechenprogramm wird ein beliebiger Winkel  $\varphi^*$  angenommen und auf dem durch ihn festgelegten Strahl mit  $A_0$  als Fußpunkt mit einer kleinsten Länge  $a$  die Berechnung nach Bild 3.2 begonnen und mit wachsendem  $a$  fortgesetzt. Dabei wird durch Iterationen auf diesem Strahl diejenige Länge  $a$  eingengt, für die ein Minimalwert von  $B$  zustande kommt. Tritt ein Extremwert nicht ein, so wird nach Überschreiten einer vorgeschriebenen Grenzlänge  $a_{\max}$  mit gegebenem Stufensprung  $\Delta\varphi$  ein neuer Winkel  $\varphi^*$  für eine neue Berechnung zugrunde gelegt.

Für die Bestimmung der Gliedlängen  $b$  und  $c$  wird für den eingengten Extremwert von  $B$  die arithmetische Mitte zwischen  $B_{123}$  und  $B_{124}$  benutzt.

Mit dem Festlegen der Hebellängen soll aber die Aufgabe für das Rechenprogramm noch nicht beendet sein. Bei Funktionsaufgaben wird sehr oft auch die Möglichkeit der Weiterbewegung des Gelenkvierecks über die gegebenen 5 Genaupunkte hinaus verlangt, und deshalb werden noch, Bild 3.3, die beiden nach Bedarf zu wählenden Kurbelwinkel  $\varphi_{16}$



**Bild 3.3**

Rechengrundlagen für die Prüfung der  
Übertragungsgüte im Gelenkviereck mit  
Hilfe des Übertragungswinkels

und  $\varphi_{17}$  zur Berechnung der Übertragungsgüte, d.h. des Übertragungswinkels herangezogen. Dieser Winkel  $\mu$  bietet mit gleichbleibendem Vorzeichen und mit genügend großem Abstand von  $0^\circ$  und  $180^\circ$  die Gewähr für eine Weiterbewegung mit nachprüfbarer Laufqualität. Der Übertragungswinkel  $\mu$  wird bei der Bewegungseinleitung von a aus zwischen den Gliedern b und c gemessen.

Die Aufgabe kann noch weiter durch die Forderung nach der befriedigenden Umlauffähigkeit des Gesamtgetriebes verschärft werden, was bedeutet, daß der Übertragungswinkel während einer vollen Umdrehung der Kurbel a niemals zum Kleinstwert entartet. Die Extremwerte von  $\mu$  treten in den Kurbel-Steglagen des Gelenkvierecks auf, wenn nämlich, Bild 3.3, die Kurbel a sich in ihren Lagen  $A_0 A_i$  und  $A_0 A_a$  innen und außen mit dem Gestell d deckt.

Das Rechenprogramm hat, um einen Einblick in die Lauffähigkeit des rechnenden Getriebes zu geben, einen Anhang für die Berechnung und für das Ausdrucken des Übertragungswinkels in den Getriebelegen, die die Kurbel in den Punkten  $A_1$  bis  $A_7$ , sowie  $A_i$  und  $A_a$  einnimmt.

### 3.3 Berechnungsgrundlagen und Programmbeschreibung

#### 3.3.1 Die wichtigen Unterprogramme

Im Bild 3.2 wurde gezeigt, daß eine wichtige Aufgabe in der Berechnung des Kreises durch drei Punkte besteht. Diese Berechnung wird im Gesamtprogramm wiederholt mit veränderlichen Eingangsgrößen als Unterprogramm (*Kreis durch drei Punkte*) aufgerufen (Label 20 bzw. Zeile 2000):

Eingangsgrößen:  $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$

$$\frac{x_1 - x_2}{y_2 - y_1} = D \quad (3.1)$$

$$\frac{x_1 - x_3}{y_3 - y_1} = C \quad (3.2)$$

$$-D(x_2 + x_1) + y_2 + y_1 = A \quad (3.3)$$

$$\frac{A + C \cdot (x_3 + x_1) - y_3 - y_1}{2 \cdot (C - D)} = a_k \quad (3.4)$$

$$a_k \cdot D + \frac{A}{2} = b_k \quad (3.5)$$

$$\sqrt{(b_k - y_1)^2 + (a_k - x_1)^2} = r_k \quad (3.6)$$

RETURN

85

*Zeile 2000: Unterprogramm Kreis durch drei Punkte*Eingangsgrößen:  $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$  $(X(I), Y(I))$ 

$$D \rightarrow D0 = (X(1) - X(2)) / (Y(2) - Y(1)) \quad (3.1/85)$$

$$C \rightarrow C0 = (X(1) - X(3)) / (Y(3) - Y(1)) \quad (3.2/85)$$

$$A \rightarrow A0 = -D0 * (X(2) + X(1)) + Y(2) + Y(1) \quad (3.3/85)$$

$$a_k \rightarrow A9 = (A0 + C0 * (X(3) + X(1)) - Y(3) - Y(1)) / (2 * (C0 - D0)) \quad (3.4/85)$$

$$b_k \rightarrow B9 = A9 * D0 + A0/2 \quad (3.5/85)$$

$$r_k \rightarrow R9 = \text{SQR}((B9 - Y(1))^2 + (A9 - X(1))^2) \quad (3.6/85)$$

Die Ergebnisgrößen sind die Kreismittelpunkt-Koordinaten  $a_k(x_k)$ ,  $b_k(y_k)$  und der Radius  $r_k$ . Die xy-Kreiskoordinaten sind zweimal den Punkten  $A_1, A_2$  bis  $A'_5$ , wie bereits beschrieben, zuzuordnen. In einem besonderen Unterprogramm werden nach den Bildern 3.1 und 3.2 die Koordinaten der Punkte  $A_1, A'_2$  bis  $A'_5$  berechnet.

Für alle folgenden Rechnungen wird ein Koordinatensystem mit dem Ursprung  $B_0$  und der Gestellgeraden  $d$  als Abszisse zugrunde gelegt. Dann ergeben sich für jeden einzelnen  $A'$ -Punkt die Koordinaten nach folgendem Gleichungssystem mit den Eingangswerten  $\varphi^*$ ,  $\varphi_{1i}$ ,  $\psi_{1i}$ ,  $a$ :

*Berechnung der  $A'$ -Koordinaten*

$$a \cdot \cos(\varphi^* + \varphi_{1i}) - d = x_{Ai} \quad (3.7)$$

$$a \cdot \sin(\varphi^* + \varphi_{1i}) = y_{Ai} \quad (3.8)$$

$$\sqrt{x_{Ai}^2 + y_{Ai}^2} = f \quad (3.9)$$

$$\arccos \frac{|x_{Ai}|}{x_{Ai}} + \arctan \frac{y_{Ai}}{x_{Ai}} = \gamma \quad (3.10)$$

$$f \cdot \cos(\gamma - \psi_{1i}) = x'_{Ai} \quad (3.11)$$

$$f \cdot \sin(\gamma - \psi_{1i}) = y'_{Ai} \quad (3.12)$$

41

Für den Rechner HP-41C/CV können diese Koordinaten-Transformationen mit der PR- bzw. RP-Taste aufbereitet werden. In einem Unterprogramm-Label sind als Eingangsgrößen gegeben:  $\varphi^*$ ,  $\varphi_{1i}$ ,  $\psi_{1i}$ ,  $a$ .

*Label 21 (Berechnung der  $A'$ -Koordinaten):*

$$(\varphi^* + \varphi_{1i}) \text{ ENTER } a: \rightarrow \text{PR} - d: \text{RP} \geq -\psi_{1i} \geq \text{PR} \rightarrow = x'_{Ai} \geq = y'_{Ai} \quad (3.12/41)$$

RETURN (Ende Label 21)



85

*Zeile 2100: Unterprogramm Berechnung der A'-Koordinaten*Eingangsgrößen:  $\varphi^*(F0)$ ,  $\varphi_{II}(F1)$ ,  $\psi_{II}(P1)$ ,  $a(A)$ .

$$X_{Ai} \rightarrow X8 = A * \cos(F0 + F1) - D \quad (3.7/85)$$

$$Y_{Ai} \rightarrow Y8 = A * \sin(F0 + F1) \quad (3.8/85)$$

$$f \rightarrow F = \text{SQR}(X8 \uparrow 2 + Y8 \uparrow 2) \quad (3.9/85)$$

$$\gamma \rightarrow G = \text{ATN2}(Y8, X8) \quad (3.10/85)$$

$$X'_{Ai} \rightarrow X9 = F * \cos(G - P1) \quad (3.11/85)$$

$$Y'_{Ai} \rightarrow Y9 = F * \sin(G - P1) \quad (3.12/85)$$

Nach Bild 3.2 hat man nun also die mit den Labels 20, 21 (Anfangszeilen 2000 bzw. 2100) bestimmten Koordinaten  $a_k$  und  $b_k$  der Kreismittelpunkte  $B_I = B_{123}$  und  $B_{II} = B_{145}$ . In einem weiteren Unterprogramm soll die Differenzstrecke zwischen diesen beiden Punkten berechnet werden. Dieser Wert B ist der wichtigste Kennwert des noch zu beschreibenden Laufprogramms; denn für jeden Winkel  $\varphi^*$  ist die Länge a so lange zu variieren, bis die Strecke B bei vorgeschriebener Genauigkeit ihr Minimum erreicht hat. Für das *B-Unterprogramm* gelten die Kreismittelpunkt-Koordinaten  $a_{k1}$ ,  $a_{k2}$ ,  $b_{k1}$ ,  $b_{k2}$  als Eingangs-werte:

*B-Unterprogramm*

$$\sqrt{(a_{k2} - a_{k1})^2 + (b_{k2} - b_{k1})^2} = B \quad (3.13)$$

41

*Label 22 (B-Unterprogramm)*

$$(b_{k2} - b_{k1}) \text{ ENTER } (a_{k2} - a_{k1}): \text{RP} \rightarrow B \quad (3.13/41)$$

RETURN (Ende Label 22)

85

*Zeile 2200: B-Unterprogramm*Eingangswerte:  $a_{k1}(A7)$ ,  $a_{k2}(A8)$ ,  $b_{k1}(B7)$ ,  $b_{k2}(B8)$ 

$$B \rightarrow B0 = \text{SQR}((A8 - A7) \uparrow 2 + (B8 - B7) \uparrow 2) \quad (3.13/85)$$

Im Gefolge der  $B_{\min}$ -Berechnung wird, wie später noch zu beschreiben ist, nach Überschreiten einer IF-Schranke die Länge a zurückgestellt. Um nun mit kleineren Schrittweiten  $\Delta a$  bis zum Erreichen der vorprogrammierten Genauigkeit  $B_{\min}$  zu erhalten, wird mit der Differenz  $\Delta a$  für jede Schrittweite der Mittelwert mit Hilfe der Regula falsi in einem Unterprogramm berechnet. Für einen Wert  $a_1$  wird die Differenz  $B_1$  und für  $a_2 = (a_1 + \Delta a)$  die Differenz  $B_2$  berechnet. Dann findet man das gemittelte Längenmaß:

**41**      *Label 27 (Regula falsi)*  

$$\frac{B_2 \cdot a_1 - B_1 \cdot a_2}{B_2 - B_1} = a_3 \quad (3.14/41)$$
  
 RETURN (Ende Label 27)

**85**      *Zeile 2700: Unterprogramm Regula falsi*  

$$a_3 \rightarrow A3 = (B2 * A1 - B1 * (A1 + D1)) / (B2 - B1) \quad (3.14/85)$$

Für die Bewertung eines nach den hier beschriebenen Methoden gefundenen Gelenkvierecks ist der Übertragungswinkel  $\mu$  von ausschlaggebender Bedeutung. Er kennzeichnet die Güte der Bewegungs-Übertragung und ist nach Bild 3.3 zwischen der Koppel  $b$  und der Abtriebsschwinge  $c$  zu messen. Seine Größe muß für verschiedene Getriebestellungen berechnet werden. Allgemein gelten die für das Unterprogramm gültigen Eingangsgrößen  $\varphi^*$ ,  $\varphi_{1i}$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ :

*Berechnung des Übertragungswinkels*

$$a \cdot \cos(\varphi^* + \varphi_{1i}) - d = x_{Ai} \quad (3.7)$$

$$a \cdot \sin(\varphi^* + \varphi_{1i}) = y_{Ai} \quad (3.8)$$

$$\sqrt{x_{Ai}^2 + y_{Ai}^2} = f \quad (3.9)$$

(vgl. Berechnung der A'-Koordinaten; hier jedoch mit anderen  $\varphi_{1i}$ -Werten)

$$\frac{b^2 + c^2 - f^2}{2 \cdot b \cdot c} = \cos \mu = S \quad (3.15)$$

$$\arccos S = \mu \quad (3.16)$$

**41**      *Label 29 (Berechnung des Übertragungswinkels)*  
 $(\varphi^* + \varphi_{1i})$  ENTER a: PR  $\rightarrow$  - d: RP  $\rightarrow$  [f] (3.9/41)  
 $\frac{-f^2 + b^2 + c^2}{2 \cdot b \cdot c}$  (SF 25) = S (3.15/41)  
 arc cos S [=  $\mu$ ] PRINT (3.16/41)  
 RETURN (Ende Label 29)

Die Flag „SF 25“ dient der Weiterrechnung, wenn nach Gl. (3.15) der Absolutwert  $|S| > 1$  wird. Durch den nachfolgenden PRINT-Befehl ist dann auch sofort abzulesen, ob das Gelenkviereck auf Grund dieser Ungleichung die vorgeschriebene Lage überhaupt erreichen kann.

85	<p><i>Zeile 2900: Unterprogramm Übertragungswinkel</i></p> <p>Eingangsgrößen: <math>\varphi^*</math> (F0), <math>\varphi_{1i}</math> (F1), a(A), b(B), c(C), d(D)</p> <p><math>x_{Ai}</math> (X8), <math>y_{Ai}</math> (Y8) und f(F) wie im Unterprogramm 2100.</p> <p><math>S \rightarrow S0 = (B * B + C * C - F * F) / 2 / B / C</math> (3.15/85)</p> <p><math>\mu \rightarrow M0 = ACS(S0)</math> (3.16/85)</p>
----	---

*Ein Hinweis:*  $\cos \mu = S$  (Gl. (3.15)) kann dem Betrage nach größer als 1 werden; dann gibt es für Gl. (3.16) keine Lösung, die verwendeten Rechner melden einen Fehler (Error). Beim HP-41 werden diese möglichen Fehlermeldungen mit SF 25 „ausgeblendet“. Beim HP-85 bewirken die folgenden Anweisungen, daß im Falle  $|S| > 1$  der unsinnige Wert 999.9999 ausgedruckt wird:

```

2910 M0=ACS(S0) ! MÜ
2911 ON ERROR GOTO 2920
2912 RETURN
2920 M0=999.9999
2930 RETURN

```

### 3.3.2 Unterprogramme als Steuerprogramme

Ein wichtiges Merkmal des hier behandelten Programms ist der vollautomatische Ablauf innerhalb des gesamten überhaupt möglichen Lösungsfeldes, nämlich das Durchlaufen des Anfangswinkels  $\varphi^*$  von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ . Zu diesem Zwecke sind wiederum mehrfach abzurufende Unterprogramme vorgesehen, die selbst andere Unterprogramme steuern.

So besteht die Grund-Aufgabe darin, für die fünf durch Anfangswinkel  $\varphi^*$  und die vier  $\varphi$ - sowie vier  $\psi$ -Winkel definierten Kurbellagen und für die abzutastenden Kurbellängen a die beiden Kreise mit den Mittelpunkten  $B_{123}$  und  $B_{145}$  zu berechnen. Hierzu dient ein besonderes Steuer-Unterprogramm (Label 31 bzw. Zeile 3100) mit den Eingangswerten  $\varphi^*$ ,  $\varphi_{12}$ ,  $\varphi_{13}$ ,  $\varphi_{14}$ ,  $\varphi_{15}$ ,  $\psi_{12}$ ,  $\psi_{13}$ ,  $\psi_{14}$ ,  $\psi_{15}$ , d, a (variabel).

*Steuerprogramm für Differenz B:*

$$a \cdot \cos \varphi^* - d = x_{Ai} = x_1 \quad (3.17)$$

$$a \cdot \sin \varphi^* = y_{Ai} = y_1 \quad (3.18)$$

41

*Label 31 (Differenz B)*

$$\varphi^* \text{ ENTER } a: PR \rightarrow -d = x_{A1} \geq y_{A1} \quad (3.18/41)$$

$$\varphi_{12} = \varphi_{1i}; \psi_{12} = \psi_{1i}$$

XEQ 21 (Kreiskoordinaten)

$$x'_{Ai} = x'_{A2} = x_2; y'_{Ai} = y'_{A2} = y_2$$

$$\varphi_{13} = \varphi_{1i}; \psi_{13} = \psi_{1i}$$

XEQ 21

$$x'_{Ai} = x'_{A3} = x_3; y'_{Ai} = y'_{A3} = y_3$$

XEQ 20 (Dreipunkte-Kreis)

$$a_k = a_{k1}; b_k = b_{k1}; r_k = r_{k1}$$

$$\varphi_{14} = \varphi_{1i}; \psi_{14} = \psi_{1i}$$

XEQ 21

$$x'_{Ai} = x'_{A4} = x_2; y'_{Ai} = y'_{A4} = y_2$$

$$\varphi_{15} = \varphi_{1i}; \psi_{15} = \psi_{1i}$$

XEQ 21

$$x'_{Ai} = x'_{A5} = x_3; y'_{Ai} = y'_{A5} = y_3$$

XEQ 20

$$a_k = a_{k2}; b_k = b_{k2}; r_k = r_{k2}$$

$$r_{k2} - r_{k1} = k$$

XEQ 22 (B-Unterprogramm)

[B]

RETURN (Ende Label 31)

85

*Zeile 3100: Unterprogramm Differenz B*Eingangswerte:  $\varphi^*(F(0)), \varphi_{12}(F(2)), \varphi_{13}(F(3)), \varphi_{14}(F(4)), \varphi_{15}(F(5)),$  $\psi_{12}(P(2)), \psi_{13}(P(3)), \psi_{14}(P(4)), \psi_{15}(P(5)), d(D), a(A)$ 

$$x_1 \rightarrow X(1) = A * \cos(F(0)) - D \quad (3.17/85)$$

$$y_1 \rightarrow Y(1) = A * \sin(F(0)) \quad (3.18/85)$$

$$F1 = F(2); P1 = P(2)$$

GOSUB 2100

$$x_2 \rightarrow X(2) = X(1)$$

$$y_2 \rightarrow Y(2) = Y(1)$$

$$F1 = F(3); P1 = P(3)$$

```

      GOSUB 2100
x3 → X(3)=X9
y3 → Y(3)=Y9
      GOSUB 2000
      A7=A9; B7=B9; R7=R9
      F1=F(4); P1=P(4)
      GOSUB 2100
x2 → X(2)=X9
y2 → Y(2)=Y9
      F1=F(5); P1=P(5)
      GOSUB 2100
X3 → X(3)=X9
Y3 → Y(3)=Y9
      GOSUB 2000
      A8=A9; B8=B9; R8=R9
k → K=R8-R7
      GOSUB 2200
      RETURN

```

### 3.3.3 Das Laufprogramm

Das eigentliche Laufprogramm hat die Aufgabe, für einen gegebenen  $\varphi^*$ -Strahl diejenige Kurbellänge ausfindig zu machen, bei welcher der Abstand  $B = B_{123}B_{145}$  zwischen einstellbarem  $a_{\min}$  und  $a_{\max}$  jeweils einen Minimalwert hat. Es ist durchaus möglich, daß es für einen bestimmten  $\varphi^*$ -Betrag mehrere solcher Werte und damit optimale Gelenkvierecke gibt. Für  $a_{\min}$  wird man, wenn ein Gelenkviereck als Kurbelschwinge (in  $A_0$  gelagertes Glied  $a$  läuft um, in  $B_0$  gelagertes Glied  $c$  schwingt hin und her) angestrebt wird, einen kleineren Wert als die Gestelllänge  $d$  annehmen. Wenn aber ein Gelenkviereck als Doppelkurbel (beide im Gestell gelagerte Glieder  $a$  und  $c$  laufen um) vorgeschrieben ist, muß  $a_{\min} > d$  sein. Die einstellbare Maximallänge  $a_{\max}$  richtet sich z.B. nach dem zur Verfügung stehenden Bewegungsraum.

Es ist hervorzuheben, daß die Differenz  $B$  nur zufällig Null sein kann; es geht hier also darum, den Extremwert von  $B$  zu berechnen, was mit Differenzbeträgen mit beliebig einstellbarer Genauigkeit durch Verringerung der Schrittweite erreicht werden kann. Allerdings treten hier Schwierigkeiten auf, die, wenn sie, wie manche Untersuchungen mit großen Umwegen zeigen, nicht ohne weiteres überwunden werden können, den vollautomatischen Rechengang unmöglich machen. Das Erreichen des Extremwertes kann nämlich entweder nur mit positiven oder negativen Differenz- oder abgewandelten Kennwerten angefahren werden, für die zum Überschreiten einer zu setzenden IF-Schranke aber für denselben Zweck nur ein Vorzeichenwechsel in einer Richtung angesetzt werden kann.

Dieses Problem läßt sich beherrschen, wenn man zu Beginn der Rechnung in einem Vorprogramm für zwei eng benachbarte Getriebelagen das B-Differenz-Vorzeichen als Richtgröße bestimmt, dann in einem darauffolgenden Laufprogramm, das mit gleicher oder kleiner werdender Schrittweite zu sich selbst zurückkehrt, die neuen Differenzen  $\Delta B$  bestimmt, diese aber sofort mit der Richtgröße multipliziert. Sowohl bei positivem als auch negativem Vorzeichen beider Differenzen erhält man immer ein positives Ergebnis, so daß die IF-Schranke mit der Bedingung  $\Delta B \text{ IF} < 0$  aufgebaut werden kann und allen Ansprüchen genügt. Wird das Produkt also negativ, so ist ein Extremwert von B überschritten worden. Wenn zusätzlich anstelle von  $\Delta B$  der Sinus des zugehörigen Schwingwinkels, bezogen auf einen kleinen x-Wert, z.B. 0,0001, benutzt wird, ist man wiederum unabhängig vom Vorzeichen des Tastwertes und außerdem, was für die Benutzung der Regula falsi von Bedeutung ist, unabhängig von der Lage des Steigungswinkels im ersten oder zweiten Quadranten. Das Vorprogramm hat die Startadressen Label 23 bzw. Zeile 2300:

XEQ 31 (Steuerprogramm für B)

B = B<sub>1</sub>

a + 0,0001 = a

XEQ 31

B = B<sub>2</sub>

$$\left( \arctan \frac{B_2 - B_1}{0,0001} \right) \sin \text{sign} = C' \quad (3.19)$$

<b>41</b>	(B <sub>2</sub> - B <sub>1</sub> ) ENTER 0,0001: RP → $\arctan \sin \text{sign} = C'$ (3.19/41) RETURN (Ende Label 23)
-----------	---

<b>85</b>	<i>Zeile 2300: Vorprogramm</i> GOSUB 3100 B <sub>1</sub> → B1 = B0 a → A = A + 0.0001 GOSUB 3100 B <sub>2</sub> → B2 = B0 C' → C9 = SGN(SIN(ATN((B2-B1)/0.0001))) (3.19/85) RETURN
-----------	---

Im selbst-rückkehrenden Folgeprogramm (Label 24 bzw. Zeile 2400) wird mit erhöhtem a-Betrag dieselbe Rechnung an den Anfang gesetzt. Um den Fortgang der Laufprogramm-Rechnung verfolgen zu können, wird das Pausenzeichen „PSE“ (beim HP-85 „WAIT“) eingeschoben, das den jeweiligen a-Betrag anzeigt.

41

*Label 24 (Laufprogramm für a-Fixierung)* $a + \Delta a^* = a$ 

PSE

IF:  $a > a_{\max}$  XEQ 41Sonst: XEQ 31 (B = B<sub>1</sub>) $a + 0.001 = a$ XEQ 31 (B = B<sub>2</sub>) $(\arctan \frac{B_2 - B_1}{0.001}) \sin = D'$ IF:  $D' \cdot C' < 0$  XEQ 26

Sonst: XEQ 24

Ende Label 24

85

*Zeile 2400: a-Fixierung* $a \rightarrow A = A + D1$ 

WAIT...

IF A &gt; A6 THEN 4100

GOSUB 3100

B1 = B0

A = A + .001

GOSUB 3100

B2 = B0

 $D' \rightarrow D9 = \sin(\arctan((B2 - B1)/.001))$ 

IF D9 \* C9 &lt; 0 THEN 2600

GOTO 2400

Mit der IF-Schranke  $a > a_{\max}$  wird der Übergang zu Label 41 (Zeile 4100) programmiert, womit  $\varphi^*$  um  $\Delta\varphi^*$  (frei wählbar) erhöht wird. Hier ist es auch zweckmäßig, das bisherige  $\varphi^*$  wegen besserer Übersicht auszudrucken. Mit dem neuen  $\varphi^*$ -Strahl wird das Laufprogramm fortgesetzt:

*Label 41 bzw. Zeile 4100 (Übergangsprogramm für  $\varphi^*$ )*

 $\varphi^* \text{ PRINT "}\varphi^*\text{-Ende"}$  $a_{\min} = a$ 

XEQ 23 (Lauf-Vorprogramm)

 $\varphi^* + \Delta\varphi^* = \varphi^*$ 

XEQ 24 (Laufprogramm)

Im Label 24 (Zeile 2400) ist die IF-Schranke  $D \cdot C < 0$  besonders wichtig; sie kennzeichnet den Vorzeichenwechsel und leitet zum Label 26 (Zeile 2600), dem Schrittweiten-Änderungs- und B-Extremwert-Abschlußprogramm über:

*Label 26 bzw. Zeile 2600 (Schrittweiten-Änderungs-Programm)*

Tone 9 (bzw. BEEP...)

$B = B_2$

$a - \Delta a^* = a_1$

XEQ 31 (Steuerprogramm für B)

$a = a'$

XEQ 27 (Regula falsi)

XEQ 31

$0,1 \Delta a^* = \Delta a^*$

IF:  $\Delta a^* < 0,0001$  XEQ 28 (Gelenkviereck-Kennwerte)

IF:  $|D'| < 0,01$  XEQ 28

IF:  $|B| > d$  XEQ 45

XEQ 24

Beim Übergang zum Label 26 (Zeile 2600) ist mit „Tone 9“ (bzw. BEEP...) ein akustisches Zeichen vorgesehen, um kenntlich zu machen, daß ein Suchvorgang abläuft. Der noch vorhandene Betrag B wird als  $B_2$  gespeichert, die Länge a wird um  $\Delta a$  zu  $a_1$  verringert, und mit XEQ 31 (bzw. GOSUB 3100) wird ein neues  $B = B_1$  berechnet. Dieses neue a wird als  $a'$  für später folgende Weiterrechnungen gespeichert.

Nun kann mit Label 27 (bzw. Zeile 2700: Regula falsi) die gemittelte Länge  $a_3$  benutzt werden, um mit XEQ 31 (GOSUB 3100) das dazugehörige B zu berechnen und die Weiterrechnung mit dem gespeicherten  $a' = a$  zu ermöglichen.

Für die Beendigung des Such- (Optimierungs-) Vorgangs sind zwei IF-Schranken vorgesehen, die sich unabhängig voneinander für den Übergang zum Kennwerte-Programm (Label 28 bzw. Zeile 2800) als zweckmäßig erwiesen haben. Diese Schranken beziehen sich einmal auf die als kleinste betrachtete Schrittweite  $\Delta a$  und zum anderen auf den ebenfalls kleinsten Betrag  $|D|$ .

Da der Extremwert von B (der Differenz der beiden Kreismittelpunkte  $B_{123}$  und  $B_{145}$ ) auch verhältnismäßig groß ausfallen kann, hat es keinen Sinn, hierfür Gelenkvierecke als Endergebnis zu berechnen, da diese die gestellte Aufgabe nur mit großer Ungenauigkeit erfüllen würden. Es ist deshalb, um Rechenzeit einzusparen, zweckmäßig, solche großen B-Beträge zu überspringen. Der Grenzwert wurde mit  $B = d$  (d: Gestelllänge) mit dem Übergang zum Label 45 (Zeile 4500) festgelegt:

*Label 45 bzw. Zeile 4500 (Übergangsprogramm für a-Übersprung)*

$\Delta a^* = \Delta a$

$a + \Delta a = a$

XEQ 23 (Vorprogramm zum Laufprogramm)

XEO 24 (Laufprogramm)



Im Label 45 (Zeile 4500) wird also zuerst die Normal-Sprungweite  $\Delta a^*$  wieder eingestellt, dann die für die vorangegangenen Rechnungen gültige Länge  $a$  um  $\Delta a$  erhöht, so daß nun mit XEQ 23 (GOSUB 2300) und XEQ 24 (GOTO 2400) die automatische Rechnung weitergeführt werden kann.

### 3.3.4 Gelenkviereck-Kennwertprogramm

Nach dem Optimierungs-Vorgang für die Kreismittelpunkte-Differenz  $B$  liegen die Grundlagen zur Dimensionierung des hierfür gültigen Gelenkvierecks fest. Als Gelenkpunktlage  $B_1$ , Bild 3.2, wählt man zunächst die arithmetische Mitte zwischen  $B_{123}$  und  $B_{145}$  und berechnet mit diesem „gemittelten“ Punkt  $B_1$  die noch folgenden Abmessungen des Gelenkvierecks und die am meisten interessierenden Kennwerte. Es gilt:

Label 28 bzw. Zeile 2800 (Kennwerte-Unterprogramm)

XEQ 31 (Steuerprogramm für B)

$$\frac{a_{k1} + a_{k2}}{2} = x_B \quad (3.20)$$

$$\frac{b_{k1} + b_{k2}}{2} = y_B \quad (3.21)$$

$$\arctan \frac{y_B}{x_B} = \psi^* \quad (3.22)$$

$$\frac{x_B}{\cos \psi^*} = c \quad (3.23)$$

<b>41</b>	$y_B \text{ ENTER } x_B : RP \rightarrow c \geq \psi^*$ $\varphi^*, \psi^*, a, B \rightarrow \text{PRINT}$	(3.22/41)
-----------	---	-----------

<b>85</b>	$x_B \rightarrow X1 = (A7 + A8)/2$ $y_B \rightarrow Y1 = (B7 + B8)/2$ $\psi^* \rightarrow P0 = \text{ATN}(Y1/X1)$ $c \rightarrow C = X1/\text{COS}(P0)$	(3.20/85) (3.21/85) (3.22/85) (3.23/85)
-----------	--	--

$$\arctan \frac{y_A}{x_A} = \psi_m \quad (3.24)$$

$$\text{sign} [\sin(\psi_m - \psi^*)] = s^* \quad (3.25)$$

<b>41</b>	$y_A \text{ ENTER } x_A : RP \rightarrow [ ] \geq (\psi_m - \psi^*) \sin - \text{sign} = s$	(3.25/41)
-----------	---	-----------

\*) Für  $s$  ist in allen Fällen eine Kontrollmöglichkeit durch  $\psi^*$  gegeben, vgl. Seite 51, 1. Satz

<b>85</b>	$\psi_m \rightarrow P2 = \text{ATN}(Y(1)/X(1))$ <span style="float: right;">(3.24/85)</span> $s \rightarrow S = \text{SGN}(\text{SIN}(P2 - P0))$ <span style="float: right;">(3.25/85)</span>
-----------	--

$$\sqrt{(y_A - y_B)^2 + (x_A - x_B)^2} = b \quad (3.26)$$

<b>41</b>	$(y_A - y_B) \text{ ENTER } (x_A - x_B) : RP \rightarrow b$ <span style="float: right;">(3.26/41)</span> $a, b, c, d, s \rightarrow \text{PRINT}$
-----------	--

<b>85</b>	$b \rightarrow B = \text{SQR}((Y(1) - Y1) \uparrow 2 + (X(1) - X1) \uparrow 2)$ <span style="float: right;">(3.26/85)</span>
-----------	--

$$0 = \varphi_{1i}$$

XEQ 29 ( $\mu$ -Winkel-Berechnung)

---


$$\varphi_{12} = \varphi_{1i}$$

XEQ 29

---


$$\varphi_{13} = \varphi_{1i}$$

XEQ 29

---


$$\varphi_{14} = \varphi_{1i}$$

XEQ 29

---


$$\varphi_{15} = \varphi_{1i}$$

XEQ 29

---


$$\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5 \text{ PRINT}$$

---


$$\varphi_{16} = \varphi_{1i}$$

XEQ 29

---

$$\varphi_{17} = \varphi_{1i}$$

XEQ 29

---


$$\mu_6, \mu_7 \text{ PRINT}$$

$$-\varphi^* = \varphi_{1i}$$

XEQ 29

---


$$180 - \varphi^* = \varphi_{1i}$$

XEQ 29

---


$$\mu_i, \mu_a \text{ PRINT}$$

$$\Delta a^* = \Delta a$$

$$a + \Delta a = a$$

---

XEQ 23

RETURN

---

Nach Gl. (3.22), (3.23) können nun die Hebellänge  $c$  und der Winkel  $\psi^*$  dieses Gliedes, Bild 3.3, berechnet werden. Es werden die für den Ansatz wichtigsten Werte  $\varphi^*$ ,  $\psi^*$ ,  $a$  und auch  $B$  ausgedrückt, letzteres ist ein wertvoller Anhaltspunkt, mit welcher Genauigkeit die Optimierung erzielt werden konnte.

Die Koordinaten  $x_A$ ,  $y_A$  des Punktes A in Getriebestellung 1 sind noch durch den Erst-Abruf XEQ 31 (GOSUB 3100) im Label 28 (Zeile 2800) gespeichert, so daß man den Winkel  $\psi_m$ , den die Diagonale  $B_0A_1$  mit der Abszisse einschließt, berechnen kann. Dieser Winkel wird gebraucht, um den „Bereichsfaktor“  $s (\pm 1)$  für das berechnete Gelenkviereck bestimmen zu können, der aussagt, ob der Zweischlag aus  $b$  und  $c$  oberhalb oder unterhalb der Diagonalen  $B_0A_1$  liegt. Sein Vorzeichen  $\pm 1$  wird aus der Differenz  $(\psi_m - \psi^*)$  bestimmt.

Nun kann noch die Koppellänge  $b$  mit Gl. (3.26) festgelegt werden. Und schließlich werden mit Hilfe des Unterprogramms, Label 29 bzw. Zeile 2900, die Übertragungswinkel  $\mu_1$  bis  $\mu_7$  berechnet, und zusätzlich noch die Winkel  $\mu_i$  und  $\mu_a$  für die Deck- und Strecklage der Kurbel  $a$  mit dem Gestell  $d$ . Diese beiden Winkel lassen mit ihren reellen Beträgen erkennen, ob das Gelenkviereck umlauffähig ist, bzw. wie gut es durch die beiden Sonderlagen bewegt werden kann.

### 3.3.5 Die Einführungsprogramme

Das Haupt-Einführungsprogramm, Label 30 bzw. Startzeile 3000, dient lediglich dazu, zunächst sämtliche Eingangsgrößen zur Dokumentation auszudrucken, um dann das große automatische Laufprogramm einzuleiten:

*Label 30 bzw. Zeile 3000 (Einführungs-Programm)*

Vier-Winkel-Zuordnung  $\rightarrow$  PRINT

$\varphi^*$  PRINT

$\varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14}, \varphi_{15}$  PRINT

$\psi_{12}, \psi_{13}, \psi_{14}, \psi_{15}$  PRINT

$d, \Delta\varphi$  PRINT

$a^*, \Delta a, a_{\max}$  PRINT

$\varphi_{16}, \varphi_{17}$  PRINT

$\Delta a = \Delta a^*$

$a = a^*$

XEQ 23 (Vorprogramm zum Laufprogramm)

XEQ 24 (Laufprogramm)

Mit  $\Delta a^*$  wird die vor Rechenbeginn ausgewählte Sprungweite, die ja während der Optimierung verringert wird, gespeichert, um nach jedem Zwischen-Ergebnis in ihrer Ursprungsgröße wieder zur Verfügung zu stehen.

Das Neben-Einführungsprogramm soll bei Zwischenrechnungen, bei denen die Eingangsgrößen unverändert bleiben, den vollen Ausdruck ersparen und nur drei wesentliche Größen dokumentieren:

*Label 40 bzw. Zeile 4000 (Neben-Einführungsprogramm)*

$a^*, a_{\max}, \Delta a$  PRINT

$\Delta a = \Delta a^*$

XEQ 23

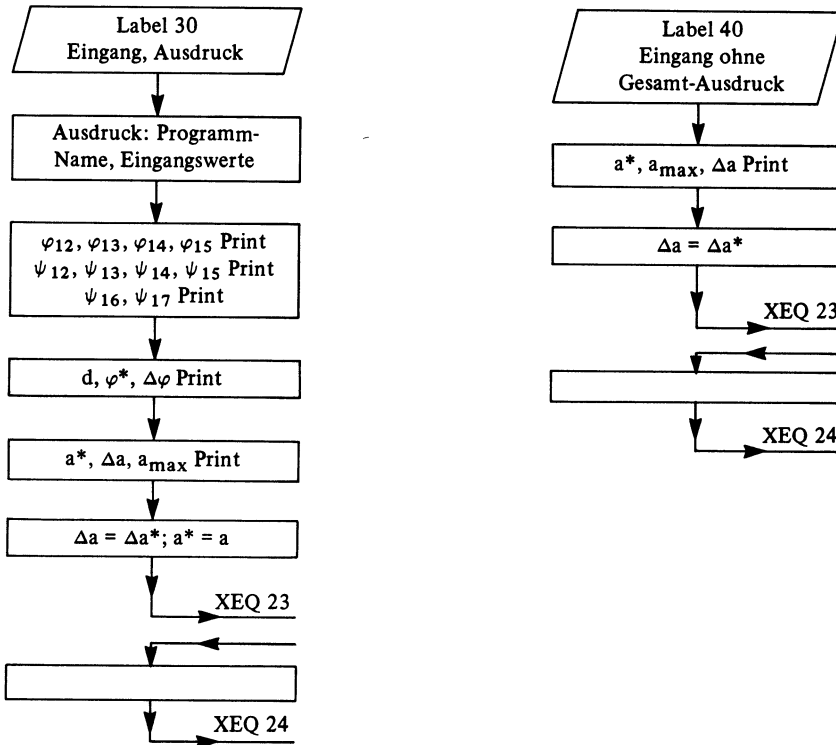
XEQ 24

$a$  wird hier nicht auf  $a^* (= a_{\min})$  gesetzt, sondern frei gewählt.

### 3.3.6 Tabellen und Diagramme für HP-41

Die folgenden Flußdiagramme sollen in übersichtlicher Form den Programmablauf darstellen. **Tabelle 3.1/41** zeigt nebeneinander die beiden Einführungsprogramme mit den Weiterleitungen zu den Labels 23 und 24.

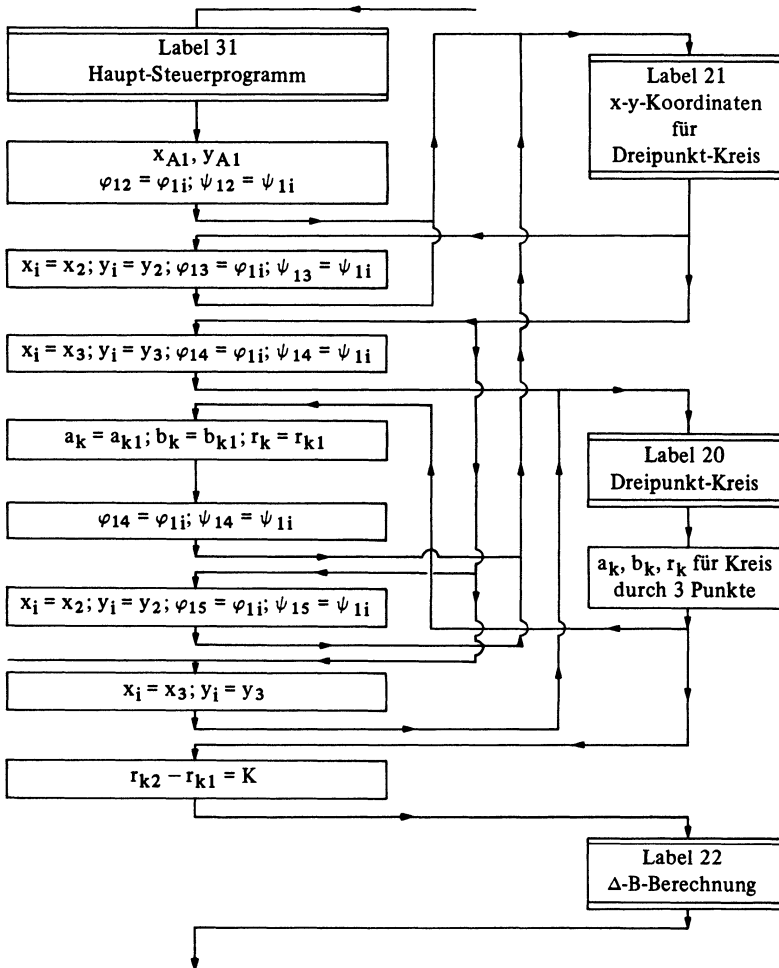
**Tabelle 3.1/41** Flußdiagramm zum Einführungsprogramm, Label 30, mit Ausdruck aller Eingangswerte und, Label 40, mit Ausdruck von Zwischenwerten



**Tabelle 3.2/41** läßt die Weiterführung zum Haupt-Steuerprogramm 31 erkennen, das zuerst zum Label 21 zur Berechnung der Koordinaten für die Dreipunktkreise dient, die dann im Label 20 für die Berechnung der beiden Kreise mit  $B_{123}$  und  $B_{145}$  als Mittelpunkte dienen. Die Abzweigung zum Label 22 führt zur Berechnung des Mittelpunkt-Abstandes  $\Delta B$ , womit Label 31 abgeschlossen ist. Label 31 wurde vom Label 23, dem Vorprogramm zum Laufprogramm (Label 24), zweimal abgerufen, um lediglich das Vorzeichen  $C' = \pm 1$  zweier Differenzen  $B_2$  und  $B_1$  kenntlich zu machen (**Tabelle 3.3/41**).

Label 23 wiederum wurde vom Label 30 (oder 40) abgerufen, kehrt aber nach dort zurück, und hier wird zum Label 24 übergeleitet. Hier tritt die erste Verzweigung für  $a > a_{\max}$  zum Label 41 ein, um dort  $\varphi^*$  um den Stufensprung  $\Delta\varphi^*$  zu erhöhen und dann das Programm mit Label 23 und 24 zu beginnen. Nach Abruf von Label 31 liegt  $\Delta B$  fest,

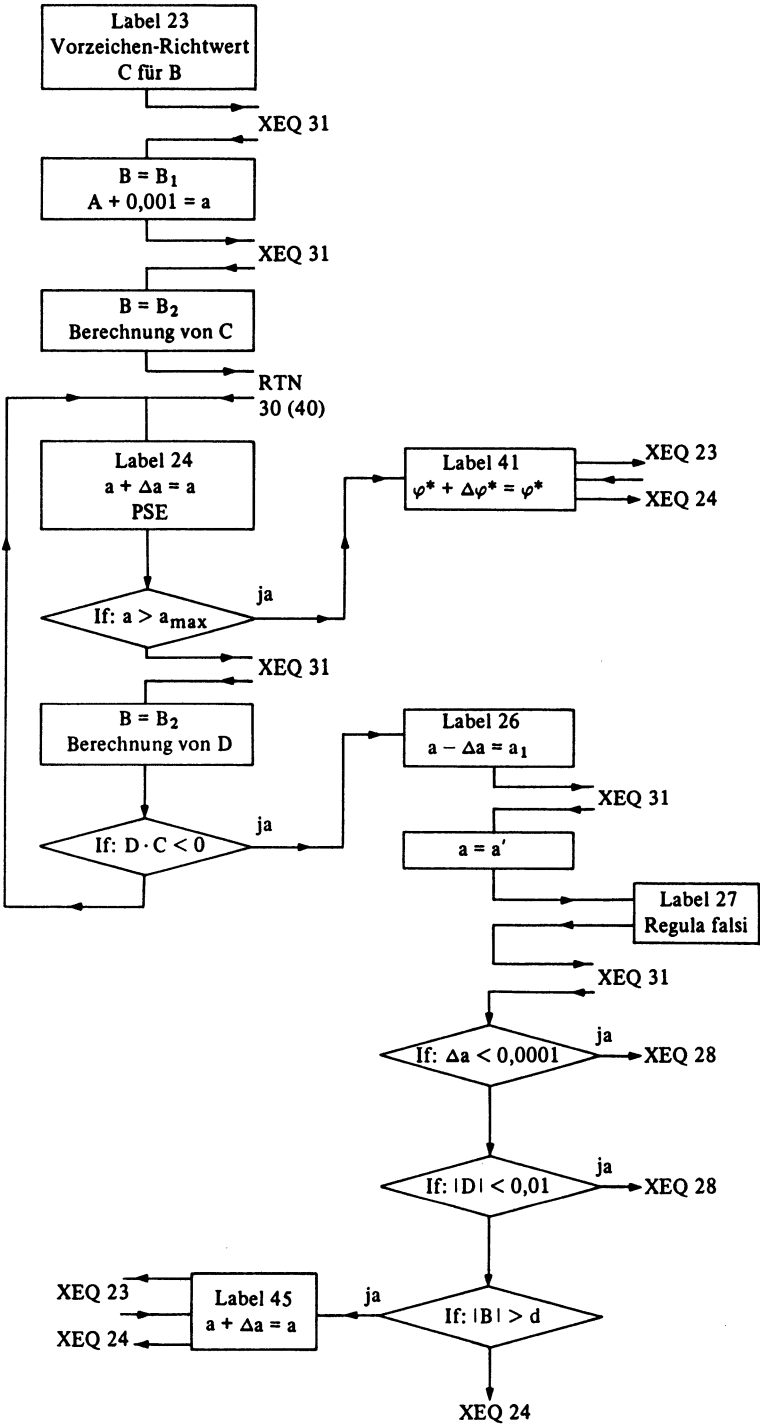
Tabelle 3.2/41 Hauptsteuerprogramm, Label 31



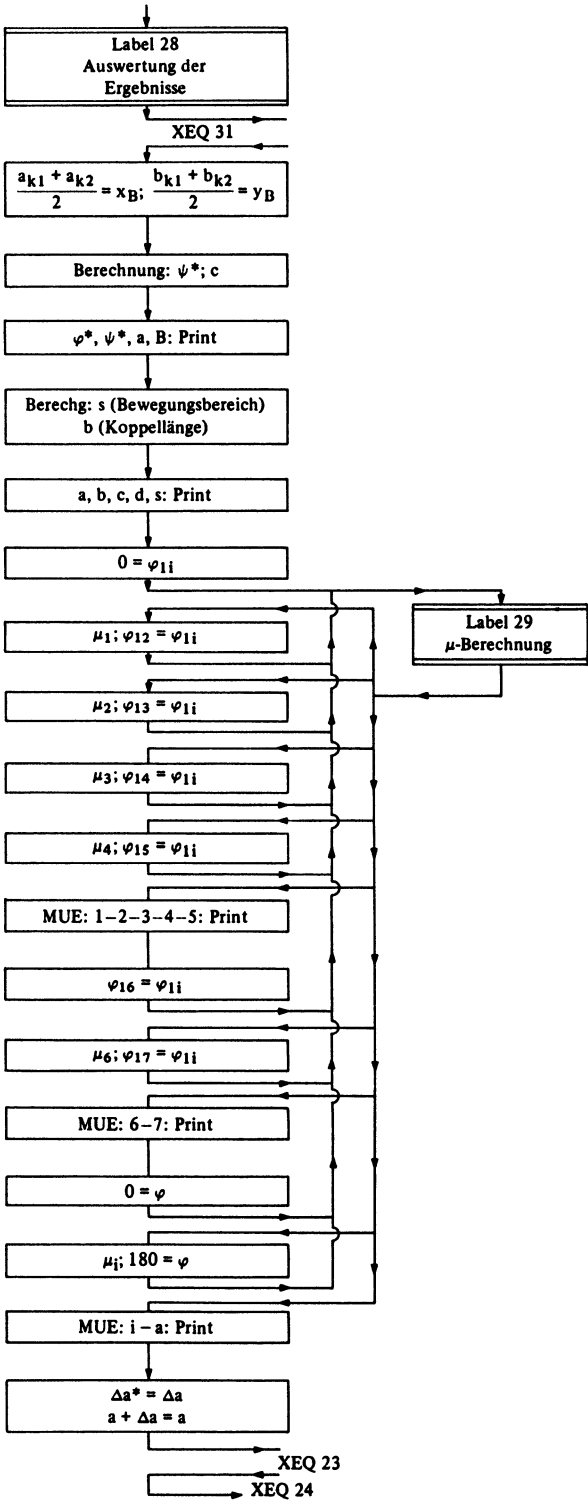
$D'$  kann berechnet werden, und  $D' \cdot C' < 0$  erzwingt die Überleitung, und zwar zum Label 26, andererseits wird zum Label 24 zurückgekehrt, bis eine der IF-Schranken anspricht.

Im Label 26 werden die Vorbedingungen für das Rechnen mit der Regula falsi geschaffen (Label 27) und weiterhin drei IF-Schranken durchlaufen, deren erste beide zum Dimensionierungs-Label 28 überleiten und die letzte unzulässig große Differenz  $|B| > d$  an Label 45 zu erneuter Rechnung über Label 23 und 24 nach dem Stufensprung  $\Delta a$  übergibt. Das jeweilige Zwischenergebnis für ein Gelenkviereck wird im Label 28 (Tabelle 3.4/41) verarbeitet. Es ist leicht zu überblicken, daß Label 29 zur  $\mu$ -Berechnung wiederholt abgerufen wird. Nach Ausdruck aller wissenswerten Daten wird die Rechnung mit neuen Anfangsgrößen  $a + \Delta a = a$  und mit Label 23 und 24 fortgesetzt.

**Tabelle 3.3/41** Flußdiagramm zum Steuerprogramm, Label 23, mit Verzweigungen zur Verkleinerung der Stufensprünge mit der Regula falsi



**Tabelle 3.4/41** Flußdiagramm zum Zwischen-Ergebnis-Programm zur Berechnung der Gelenkviereck-Abmessungen und der Übertragungswinkel



Das Stillsetzen des Laufprogramms, das man z.B. bei  $\varphi^* = 0^\circ$  beginnen kann, ist dann bei  $\varphi^* > 360^\circ$  anzusetzen. Auf diese IF-Schranke, die leicht noch einzubauen ist, wurde hier aber verzichtet, weil ja nach jedem  $\varphi^*$ -Strahlendurchgang dieser Winkel ausgedruckt wird. Da es ganze Bereiche ohne Lösungen geben kann, wird man zur Abkürzung der Rechenzeit das Programm durch manuellen Eingriff unterbrechen und nach Überspringen eines bestimmten  $\varphi^*$ -Winkelbereiches fortsetzen. Bei außergewöhnlich hohen Ansprüchen, die über die Möglichkeiten des Gelenkvierecks hinausgehen, werden nur  $\varphi^*$ -Beträge zur Kennzeichnung des Strahlenendes ausgedruckt. In diesem Falle kann man durch Milderung der Aufgabenstellung in die Gelenkviereck-Grenzen hineinkommen und damit diese Grenzen in Abhängigkeit von den  $\mu$ -Winkeln auch kennenlernen.

In Tabelle 3.5/41 ist das Gesamtprogramm mit allen seinen Unterprogrammen im Ausdruck wiedergegeben. Bei 490 Programmschritten ist die Kapazität des Rechners HP-41CV bei weitem noch nicht ausgeschöpft, es bleiben immer noch 113 Register zur freien Verfügung bei einem Bedarf von 55 Speicherplätzen.

Tabelle 3.5/41 Ausdruck des Gesamt-Programmes „Winkelbewegungen“

01•LBL "HH10"	32 RCL 21	63•LBL 21	94 RCL 07	125 STO 19
02•LBL 20	33 +	64 RCL 07	95 ENTER↑	126 RCL 28
03 RCL 21	34 *	65 RCL 16	96 RCL 02	127 STO 20
04 RCL 22	35 +	66 +	97 P-R	128 RCL 10
05 -	36 RCL 33	67 ENTER↑	98 RCL 05	129 STO 16
06 RCL 32	37 -	68 RCL 02	99 -	130 RCL 14
07 RCL 31	38 RCL 31	69 P-R	100 STO 21	131 STO 17
08 -	39 -	70 RCL 05	101 X<Y	132 XEQ 21
09 /	40 2	71 -	102 STO 31	133 RCL 16
10 STO 26	41 /	72 R-P	103 RCL 08	134 STO 22
11 RCL 21	42 RCL 27	73 X<Y	104 STO 16	135 RCL 17
12 RCL 23	43 RCL 26	74 RCL 17	105 RCL 12	136 STO 32
13 -	44 -	75 -	106 STO 17	137 RCL 11
14 RCL 33	45 /	76 X<Y	107 XEQ 21	138 STO 16
15 RCL 31	46 STO 27	77 P-R	108 RCL 16	139 RCL 15
16 -	47 RCL 26	78 STO 16	109 STO 22	140 STO 17
17 /	48 *	79 X<Y	110 RCL 17	141 XEQ 21
18 STO 27	49 RCL 28	80 STO 17	111 STO 32	142 RCL 16
19 RCL 26	50 2	81 RTN	112 RCL 09	143 STO 23
20 CHS	51 /	82•LBL 22	113 STO 16	144 RCL 17
21 RCL 22	52 +	83 RCL 26	114 RCL 13	145 STO 33
22 RCL 21	53 STO 26	84 RCL 19	115 STO 17	146 XEQ 20
23 +	54 RCL 31	85 -	116 XEQ 21	147 RCL 28
24 *	55 -	86 ENTER↑	117 RCL 16	148 RCL 20
25 RCL 32	56 ENTER↑	87 RCL 27	118 STO 23	149 -
26 +	57 RCL 27	88 RCL 18	119 RCL 17	150 STO 44
27 RCL 31	58 RCL 21	89 -	120 STO 33	151 XEQ 22
28 +	59 -	90 R-P	121 XEQ 20	152 RTN
29 STO 28	60 R-P	91 STO 39	122 RCL 27	153•LBL 23
30 RCL 27	61 STO 28	92 RTN	123 STO 18	154 XEQ 31
31 RCL 23	62 RTN	93•LBL 31	124 RCL 26	155 RCL 39
				156 STO 37



Tabelle 3.5/41 (Fortsetzung)

157 RCL 02	209 RCL 39	261 RCL 00	313 RCL 21
158 .0001	210 RCL 02	262 +	314 RCL 45
159 +	211 RCL 00	263 STO 02	315 -
160 STO 02	212 +	264 XEQ 23	316 R-P
161 XEQ 31	213 *	265 XEQ 24	317 STO 03
162 RCL 37	214 -	266*LBL 28	318 "A,B,C,D,S"
163 -	215 RCL 41	267 "=====	319 PRA
164 ENTER†	216 RCL 39	268 PRA	320 RCL 02
165 .0001	217 -	269 XEQ 31	321 PRX
166 R-P	218 /	270 RCL 18	322 RCL 03
167 X<>Y	219 STO 02	271 RCL 27	323 PRX
168 SIN	220 RTN	272 +	324 RCL 04
169 SIGN	221*LBL 26	273 2	325 PRX
170 STO 37	222 TONE 9	274 /	326 RCL 05
171 RTN	223 RCL 39	275 STO 45	327 PRX
172*LBL 24	224 STO 41	276 RCL 19	328 RCL 06
173 RCL 02	225 RCL 02	277 RCL 26	329 PRX
174 RCL 00	226 RCL 00	278 +	330 "MUE:1-2-3-4-5"
175 +	227 -	279 2	331 PRA
176 STO 02	228 STO 02	280 /	332 0
177 PSE	229 XEQ 31	281 STO 46	333 STO 48
178 RCL 02	230 RCL 02	282 RCL 46	334 XEQ 29
179 RCL 30	231 STO 42	283 ENTER†	335 RCL 08
180 X<>Y	232 XEQ 27	284 RCL 45	336 STO 48
181 X>Y?	233 XEQ 31	285 R-P	337 XEQ 29
182 XEQ 41	234 RCL 42	286 STO 04	338 RCL 09
183 XEQ 31	235 STO 02	287 X<>Y	339 STO 48
184 STO 38	236 RCL 00	288 STO 47	340 XEQ 29
185 RCL 02	237 .1	289 "PHI*,PSI*,A,E	341 RCL 10
186 .001	238 *	290 PRA	342 STO 48
187 +	239 STO 00	291 RCL 07	343 XEQ 29
188 STO 02	240 .0001	292 PRX	344 RCL 11
189 XEQ 31	241 X<>Y	293 RCL 47	345 STO 48
190 RCL 38	242 X<=Y?	294 PRX	346 XEQ 29
191 -	243 XEQ 28	295 RCL 02	347 "MUE:6-7"
192 ENTER†	244 RCL 38	296 PRX	348 PRA
193 .001	245 ABS	297 RCL 39	349 RCL 49
194 R-P	246 .01	298 PRX	350 STO 48
195 X<>Y	247 X<>Y	299 RCL 31	351 XEQ 29
196 SIN	248 X<=Y?	300 ENTER†	352 RCL 50
197 STO 38	249 XEQ 28	301 RCL 21	353 STO 48
198 RCL 37	250 RCL 39	302 R-P	354 XEQ 29
199 *	251 ABS	303 X<>Y	355 "MUE:I-A"
200 0	252 RCL 05	304 RCL 47	356 PRA
201 X<>Y	253 X<>Y	305 -	357 RCL 07
202 X<=Y?	254 X>Y?	306 SIN	358 CHS
203 XEQ 26	255 XEQ 45	307 SIGN	359 STO 48
204 XEQ 24	256 XEQ 24	308 STO 06	360 XEQ 29
205*LBL 27	257*LBL 45	309 RCL 31	361 100
206 RCL 41	258 RCL 43	310 RCL 46	362 RCL 07
207 RCL 02	259 STO 00	311 -	363 -
208 *	260 RCL 02	312 ENTER†	364 STO 48

Tabelle 3.5/41 (Fortsetzung)

365 XEQ 29	397 RCL 05	429 "PHI:12,13,14,15"	461 RCL 30
366 RCL 43	398 -	430 PRA	462 PRX
367 STO 00	399 R-P	431 RCL 08	463 "PHI:16,17"
368 RCL 02	400 X↑2	432 PRX	464 PRA
369 RCL 00	401 CHS	433 RCL 09	465 RCL 49
370 +	402 RCL 04	434 PRX	466 PRX
371 STO 02	403 X↑2	435 RCL 10	467 RCL 50
372 "=====	404 +	436 PRX	468 PRX
373 PRA	405 RCL 03	437 RCL 11	469 RCL 00
374 XEQ 23	406 X↑2	438 PRX	470 STO 43
375 RTN	407 +	439 "PSI:12,13,14,15"	471 RCL 29
376*LBL 41	408 2	440 PRA	472 STO 02
377 ADV	409 /	441 RCL 12	473 "-.-.-.-.-"
378 "PHI*-ENDE"	410 RCL 03	442 PRX	474 PRA
379 PRA	411 /	443 RCL 13	475 XEQ 23
380 RCL 07	412 RCL 04	444 PRX	476 XEQ 24
381 PRX	413 /	445 RCL 14	477*LBL 40
382 RCL 29	414 SF 25	446 PRX	478 "A*,A-MAX,DA"
383 STO 02	415 ACOS	447 RCL 15	479 PRA
384 RCL 07	416 PRX	448 PRX	480 RCL 29
385 RCL 01	417 RTN	449 "D,B-PHI"	481 PRX
386 +	418*LBL 30	450 PRA	482 RCL 30
387 STO 07	419 SF 12	451 RCL 05	483 PRX
388 XEQ 23	420 "VIER-WINKEL"	452 PRX	484 RCL 00
389 XEQ 24	421 PRA	453 RCL 01	485 PRX
390*LBL 29	422 "ZUORDNUNG"	454 PRX	486 RCL 00
391 RCL 07	423 PRA	455 "A*,D-A,A-MAX"	487 STO 43
392 RCL 48	424 CF 12	456 PRA	488 XEQ 23
393 +	425 "PHI*"	457 RCL 29	489 XEQ 24
394 ENTER↑	426 PRA	458 PRX	490 .END.
395 RCL 02	427 RCL 07	459 RCL 00	
396 P-R	428 PRX	460 PRX	

### 3.3.7 Tabellen und Diagramme für HP-85

Die einzelnen Programm-Moduln sind in den Abschnitten 3.3.1 bis 3.3.5 bereits recht ausführlich beschrieben. Tabelle 3.1/85 gibt nun für den HP-85 eine vollständige Variablen-Referenzliste, Tabelle 3.2/85 enthält die Anweisungsliste des gesamten Programms zur Berechnung von Gelenkvierecken für gegebene Winkelbewegungen.

Die Struktogramme für das Startmenü, für einen möglichen Testlauf, die Werteeingabe und das Hauptprogramm sind in Tabelle 3.3/85 zusammengestellt. Diese Diagramme sind selbsterklärend. Hervorgehoben sei lediglich die Flagge E, die in Zeile 1 auf Null gesetzt wird. Damit wird in jedem Fall erzwungen, daß das Programm nicht ohne Eingangswerte in die Berechnungen einläuft, was zu Fehlermeldungen führen würde (s. Abfragen in Zeilen 3016 bzw. 4012 in Tabelle 3.2/85). Nach gültiger Werteeingabe wird in Zeile 1056 die Flagge E auf 1 gesetzt (ebenso am Ende der READ-DATA-Sequenz für den Testlauf in Zeile 430).

Tabelle 3.1/85a Variablennamen-Referenzliste, nach mathematischen Namen sortiert

a	A	$r_k$	R9	$\psi^*$	P0
a'	Z1	$r_{k1}$	R7	$\psi_{1i}$	P1
a*	A5	$r_{k2}$	R8	$\psi_{12}$	P(2)
a <sub>1</sub>	A1	s	S	$\psi_{13}$	P(3)
a <sub>2</sub>	A2	S	S0	$\psi_{14}$	P(4)
a <sub>3</sub>	A3	$x_i$	X(I)	$\psi_{15}$	P(5)
a <sub>k</sub>	A9	$x_{Ai}$	X8	$\psi_m$	P2
a <sub>k1</sub>	A7	$x'_{Ai}$	X9		
a <sub>k2</sub>	A8	$x_B$	X1		
a <sub>max</sub>	A6	$y_i$	Y(I)		
a <sub>min</sub> = a*	A5	$y_{Ai}$	Y8		
$\Delta a$	D2	$y'_{Ai}$	Y9		
$\Delta a^*$	D1	$y_B$	Y1		
A	A0	$\gamma$	G		
b	B	$\mu$	M0		
b <sub>k</sub>	B9	$\varphi^*$	F0		
b <sub>k1</sub>	B7	$\Delta\varphi^*$	F9		
b <sub>k2</sub>	B8	$\varphi_{1i}$	F1		
B	B0	$\varphi_{12}$	F(2)		
B <sub>1</sub>	B1	$\varphi_{13}$	F(3)		
B <sub>2</sub>	B2	$\varphi_{14}$	F(4)		
c	C	$\varphi_{15}$	F(5)		
C	C0	$\varphi_{16}$	F(6)		
C'	C9	$\varphi_{17}$	F(7)		
d	D				
D	D0				
D	D9				
f	F				
k	K				

Tabelle 3.1/85b Variablennamen-Referenzliste, nach Rechnernamen sortiert

A	a	F	f	R7	$r_{k1}$
A0	A	F(2)	$\varphi_{12}$	R8	$r_{k2}$
A1	a <sub>1</sub>	F(3)	$\varphi_{13}$	R9	$r_k$
A2	a <sub>2</sub>	F(4)	$\varphi_{14}$	S	s
A3	a <sub>3</sub>	F(5)	$\varphi_{15}$	S0	S
A5	a <sub>min</sub> = a*	F(6)	$\varphi_{16}$	x(I)	$x_i$
A6	a <sub>max</sub>	F(7)	$\varphi_{17}$	X1	$x_B$
A7	a <sub>k1</sub>	F0	$\varphi^*$	X8	$x_{Ai}$
A8	a <sub>k2</sub>	F1	$\varphi_{1i}$	X9	$x'_{Ai}$
A9	a <sub>k</sub>	F9	$\Delta\varphi^*$	Y(I)	$y_i$
B	b	G	$\gamma$	Y1	$y_B$
B0	B	K	k	Y8	$y_{Ai}$
B1	B <sub>1</sub>	M0	$\mu$	Y9	$y'_{Ai}$
B2	B <sub>2</sub>	P(2)	$\psi_{12}$	Z1	a'
B7	b <sub>k1</sub>	P(3)	$\psi_{13}$		
B8	b <sub>k2</sub>	P(4)	$\psi_{14}$		
B9	b <sub>k</sub>	P(5)	$\psi_{15}$		
C	c	P0	$\psi^*$		
C0	C	P1	$\psi_{1i}$		
C9	C'	P2	$\psi_m$		
D	d	P9	P0-Hilfe		
D0	D				
D1	$\Delta a^*$				
D2	$\Delta a$				
D9	D'				
E	Flagge				

Tabelle 3.1/85c Gegenüberstellung der HP-85-Variablennamen und der HP-41-Register

Register	Variablen		Register	Variablen	
00	D1	$\Delta a$	31	Y(1)	$y_1$
01	F9	$\Delta \varphi$	32	Y(2)	$y_2$
02	A, A3	a	33	Y(3)	$y_3$
03	B	b	34	Y(4)	$y_4$
04	C	c	35	Y(5)	$y_5$
05	D	d	36	—	
06	S	s	37	B1	B
07	F0	$\varphi^*$	38	B1	B
08	F(2)	$\varphi_{12}$	39	B0	B
09	F(3)	$\varphi_{13}$	40	—	
10	F(4)	$\varphi_{14}$	41	B2	$B_2$
11	F(5)	$\varphi_{15}$	42	Z1	$R_{02}$
12	P(2)	$\psi_{12}$	43	D2	$R_{00}$
13	P(3)	$\psi_{13}$	44	K	k
14	P(4)	$\psi_{14}$	45	X1	$x_B$
15	P(5)	$\psi_{15}$	46	Y1	$y_B$
16	F1, X8, X9	$\varphi_{1i}, x_i$	47	P0	$\psi^*$
17	P1, Y8, Y9	$\psi_{1i}, y_i$	48	F1	$\varphi_{1i}$
18	A7	$a_{k1}$	49	F(6)	$\varphi_{16}$
19	B7	$b_{k1}$	50	F(7)	$\varphi_{17}$
20	R7	$r_{k1}$	51	F0	$\varphi_0^*$
21	X(1)	$x_1$	52	S0	S
22	X(2)	$x_2$			
23	X(3)	$x_3$			
24	X(4)	$x_4$			
25	X(5)	$x_5$			
26	B8, B9, D0	$b_k, D$			
27	A8, A9, C0	$a_k, C$			
28	R8, R9	$r_k$			
29	A5	$a^*$			
30	A6	$a_{\max}$			

Tabelle 3.2/85 Vollständige Anweisungsliste

```

1 ! *** >>> PROGR. GELENK ***
  >>> MARZ 1984 <<<
2 ! -----
3 E=0
4 DEG
5 IMAGE 12A,M3D.4D
10 CLEAR @ DISP
20 DISP "*****    BERECHNUNG VO
  N    *****" @ DISP
22 DISP "*"          GELENKVIERECKE
  N    "*"
24 DISP "*für gegebene Winkelbe
  wegungen*"
26 DISP "*****
  *****"

```

Tabelle 3.2/85 (Fortsetzung 1)

```

28 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200 @
   BEEP 10,200
50 ON KEY# 5,"START" GOTO 3000
52 ON KEY# 1,"+PROT" GOTO 3000
54 ON KEY# 2,"START" GOTO 4000
56 ON KEY# 3,"WERTE" GOSUB 1000
58 ON KEY# 4,"TEST" GOTO 400
68 KEY LABEL
70 GOTO 50
400 !
402 CLEAR @ BEEP @ DISP
404 DISP "*****  T E S T L A U
   F *****"
406 DISP "*" -----
   -      "*"
408 DISP "*"
   "*"
410 DISP "*" mit fest vorgegeb
   enen      "*"
412 DISP "*"      Eingangswerte
   n         "*"
414 DISP "*****" @ DISP @ WAIT 200
   0
416 RESTORE
418 DATA 55,15,30,45,60,2,6,11.5
   ,17.5,60,5,10,5,60,-5,65
420 READ F0,F(2),F(3),F(4),F(5),
   P(2),P(3),P(4),P(5),D,F9,A5,
   D1,A6,F(6),F(7)
430 E=1
432 D2=D1
434 A=A5
435 DISP "          a =" ; A
436 GOSUB 2300
438 GOTO 2400
1000 CLEAR @ DISP
1002 DISP "***      WERTEEINGAB
   E      ***"
1004 DISP "*****" @ DISP @ BEEP 1
   0,200 @ BEEP 20,200
1006 DISP "Eingabe der Eingangsw
   erte :" @ DISP
1026 DISP "Phi(*)";@ BEEP @ INPU
   T F0
1028 FOR K=2 TO 5 @ J=K+10
1030 DISP "Phi(";J;")";@ BEEP @
   INPUT F(K)
1032 NEXT K
1034 FOR K=2 TO 5 @ J=K+10
1036 DISP "Psi(";J;")";@ BEEP @
   INPUT P(K)
1038 NEXT K

```

Tabelle 3.2/85 (Fortsetzung 2)

```

1040 DISP "d";@ BEEP @ INPUT D
1042 DISP "Delta-Phi";@ BEEP @ INPUT F9
1044 DISP "a(*)";@ BEEP @ INPUT A5
1046 DISP "Delta-a";@ BEEP @ INPUT D1
1048 DISP "a(max)";@ BEEP @ INPUT A6
1050 DISP "Phi(16)";@ BEEP @ INPUT F(6)
1052 DISP "Phi(17)";@ BEEP @ INPUT F(7)
1054 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200
1056 E=1 ! Flagge für: "Werte sind eingegeben"
1058 RETURN
2000 ! Unterprogramm
      Kreis durch 3 Punkte
2002 D0=(X(1)-X(2))/(Y(2)-Y(1))
      ! D
2004 C0=(X(1)-X(3))/(Y(3)-Y(1))
      ! C
2006 A0=-(D0*(X(2)+X(1))+Y(2)+Y(1))
      ! A
2008 A9=(A0+C0*(X(3)+X(1))-Y(3)-Y(1))/(2*(C0-D0))
      ! a(k)
2010 B9=A9*D0+A0/2
      ! b(k)
2012 R9=SQR((B9-Y(1))^2+(A9-X(1))^2)
      ! r(k)
2020 RETURN
2100 ! Unterprogramm Berechnung der A'-Koordinaten
2102 X8=A*COS(F0+F1)-D
      ! x(Ai)
2104 Y8=A*SIN(F0+F1)
      ! y(Ai)
2106 F=SQR(X8^2+Y8^2)
      ! f
2108 G=ATN2(Y8,X8)
      ! Gamma
2110 X9=F*COS(G-P1)
      ! x'(Ai)
2112 Y9=F*SIN(G-P1)
      ! y'(Ai)
2114 RETURN
2200 ! B-Unterprogramm
2202 B0=SQR((A8-A7)^2+(B8-B7)^2)
      ! B
2204 RETURN
2300 ! Vorprogramm
2302 GOSUB 3100
2304 B1=B0
      ! B(1)
2306 A=A+.0001
      ! a
2308 GOSUB 3100
2310 B2=B0
      ! B(2)
2312 C9=SGN(SIN(ATN((B2-B1)/.0001)))
      ! C'

```

Tabelle 3.2/85 (Fortsetzung 3)

```

2314 RETURN
2400 ! a-Fixierung
2402 A=A+D1 ! a
2404 DISP " a =" ; A
2406 IF A>A6 THEN 4100
2408 GOSUB 3100
2409 B1=B0
2410 A=A+.001
2412 GOSUB 3100
2413 B2=B0
2414 D9=SIN(ATN((B2-B1)/.001)) !
      D'
2416 IF D9*C9<0 THEN 2600 ELSE 2
400
2600 ! Schrittweisen-Änderung
2602 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200 @
      BEEP 10,200
2606 A1=A-D1 @ A=A-D1
2607 GOSUB 3100
2608 B1=B0
2610 Z1=A
2612 GOSUB 2700
2613 A=A3
2614 GOSUB 3100
2616 A=Z1 ! a
2618 D1=.1*D1 ! Delta a
2620 IF D1<.0001 THEN GOSUB 2800
2622 IF ABS(D9)<.01 THEN GOSUB 2
800
2624 IF ABS(B0)>D THEN 4500
2626 GOTO 2400
2700 ! Unterprogramm
      Regula falsi
2702 A3=(B2*A1-B1*(A1+D1))/(B2-B
1) ! a(3)
2704 RETURN
2800 ! Kennwerte-Unterprogramm
2802 GOSUB 3100
2804 X1=(A7+A8)/2 ! x(B)
2806 Y1=(B7+B8)/2 ! y(B)
2808 P9=ATN(Y1/X1) ! Psi(*)
2809 P0=P9+ACS(SGN(P9))
2810 C=X1/COS(P0) ! c
2811 PRINT @ PRINT "Ergebnisse:"
2812 PRINT @ PRINT USING 5 ; "
      Phi(*) =" ; F0
2814 PRINT USING 5 ; " Psi(*)
      =" ; P0
2815 PRINT USING 5 ; " a
      =" ; A
2816 PRINT USING 5 ; " B
      =" ; B0
2818 P2=ATN(Y(1)/X(1)) ! Psi(m)

```

vgl. Fußnote zu Gl. (3.25) in 3.3.4

Tabelle 3.2/85 (Fortsetzung 4)

```

2820 S=SGN(SIN(P2-P0)) ! s
2822 B=SQR((Y(1)-Y1)^2+(X(1)-X1)
      ^2) ! b
2824 PRINT USING 5 ; "    a
      =" ; A
2826 PRINT USING 5 ; "    b
      =" ; B
2828 PRINT USING 5 ; "    c
      =" ; C
2830 PRINT USING 5 ; "    d
      =" ; D
2832 PRINT USING 5 ; "    s
      =" ; S
2834 F1=0 !      Phi(1)
2836 GOSUB 2900
2838 PRINT USING 5 ; "    MÜ(1)
      =" ; M0
2840 F1=F(2) ! =Phi(12)
2842 GOSUB 2900
2844 PRINT USING 5 ; "    MÜ(2)
      =" ; M0
2846 F1=F(3) ! =Phi(13)
2848 GOSUB 2900
2850 PRINT USING 5 ; "    MÜ(3)
      =" ; M0
2852 F1=F(4) ! =Phi(14)
2854 GOSUB 2900
2856 PRINT USING 5 ; "    MÜ(4)
      =" ; M0
2858 F1=F(5) ! =Phi(15)
2860 GOSUB 2900
2862 PRINT USING 5 ; "    MÜ(5)
      =" ; M0
2864 F1=F(6) ! =Phi(16)
2866 GOSUB 2900
2868 PRINT USING 5 ; "    MÜ(6)
      =" ; M0
2870 F1=F(7) ! =Phi(17)
2872 GOSUB 2900
2874 PRINT USING 5 ; "    MÜ(7)
      =" ; M0
2876 F1=-F0 ! =-Phi(*)
2878 GOSUB 2900
2880 PRINT USING 5 ; "    MÜ(i)
      =" ; M0
2882 F1=180-F0
2884 GOSUB 2900
2886 PRINT USING 5 ; "    MÜ(a)
      =" ; M0
2887 PRINT "-----
      -----"
2888 D1=D2 ! Delta a(*)= Delta a
2890 A=A+D1 !      a=a+Delta a
2892 GOSUB 2300

```



Tabelle 3.2/85 (Fortsetzung 5)

```

2894 RETURN
2900 ! Unterprogramm
      Übertragungswinkel
2902 X8=A*COS(F0+F1)-D ! x(Ai)
2904 Y8=A*SIN(F0+F1) ! y(Ai)
2906 F=SQR(X8^2+Y8^2) ! f
2908 S0=(B*B+C*C-F*F)/2/B/C ! S
2910 M0=ACS(S0) ! MÜ
2911 ON ERROR GOTO 2920
2912 RETURN
2920 M0=999.9999
2930 RETURN
3000 CLEAR @ BEEP @ DISP
3006 DISP "% H A U P T P R O G
      R A M M %"
3008 DISP "% -----
      %"
3010 DISP "% mit Protokollierun
      g aller %"
3012 DISP "%      Eingangsgrö
      ßen %"
3014 DISP "*****
      *****" @ DISP @ WAIT 2
      000
3016 IF E=0 THEN GOSUB 1000 ELSE
      3020
3018 GOTO 3000
3020 PRINT @ PRINT " VIER-WINKE
      L-ZUORDNUNG"
3022 PRINT " =====
      == " @ PRINT
3023 PRINT "Eingangswerte:" @ PR
      INT
3024 PRINT USING 5 ; " Phi(*)
      =" ; F0
3026 PRINT USING 5 ; " Phi(12)
      =" ; F(2)
3028 PRINT USING 5 ; " Phi(13)
      =" ; F(3)
3030 PRINT USING 5 ; " Phi(14)
      =" ; F(4)
3032 PRINT USING 5 ; " Phi(15)
      =" ; F(5)
3034 PRINT USING 5 ; " Psi(12)
      =" ; P(2)
3036 PRINT USING 5 ; " Psi(13)
      =" ; P(3)
3038 PRINT USING 5 ; " Psi(14)
      =" ; P(4)
3040 PRINT USING 5 ; " Psi(15)
      =" ; P(5)
3042 PRINT USING 5 ; " d
      =" ; D

```

Tabelle 3.2/85 (Fortsetzung 6)

```

3044 PRINT USING 5 ; "   DeltaPhi
      =" ; F9
3046 PRINT USING 5 ; "   a(*)
      =" ; A5
3048 PRINT USING 5 ; "   Delta-a
      =" ; D1
3050 PRINT USING 5 ; "   a(max)
      =" ; A6
3052 PRINT USING 5 ; "   Phi(16)
      =" ; F(6)
3054 PRINT USING 5 ; "   Phi(17)
      =" ; F(7)
3055 PRINT "-----"
      "-----"
3056 D2=D1 ! Delta-a=Delta-a(*)
3058 A=A5 !   a=a(*)
3059 DISP "               a =" ; A
3060 GOSUB 2300
3062 GOTO 2400
3100 ! Unterprogramm Differenz B
3102 X(1)=A*COS(F0)-D ! x(1)
3104 Y(1)=A*SIN(F0) !   y(1)
3106 F1=F(2) @ P1=P(2)
3108 GOSUB 2100
3110 X(2)=X9 !           x(2)
3112 Y(2)=Y9 !           y(2)
3114 F1=F(3) @ P1=P(3)
3116 GOSUB 2100
3118 X(3)=X9 !           x(3)
3120 Y(3)=Y9 !           y(3)
3122 GOSUB 2000
3124 A7=A5 @ B7=B9 @ R7=R9
3125 F1=F(4) @ P1=P(4)
3126 GOSUB 2100
3128 X(2)=X9 !           x(2)
3130 Y(2)=Y9 !           y(2)
3132 F1=F(5) @ P1=P(5)
3134 GOSUB 2100
3136 X(3)=X9 !           x(3)
3138 Y(3)=Y9 !           y(3)
3140 GOSUB 2000
3142 A8=A9 @ B8=B9 @ R6=R9
3144 K=R8-R7 !           k
3146 GOSUB 2200
3148 RETURN
4000 CLEAR @ BEEP @ DISP
4002 DISP "*   H P U P T P R O G
      R A M M   *"
4004 DISP "*   -----
      -----*"
4006 DISP "*   ohne Protokollieru
      ne der   *"
4008 DISP "*           Eingangswert
      e       *"

```

Tabelle 3.2/85 (Fortsetzung 7)

```

4010 DISP "*****"
*****" @ DISP @ WAIT 2
000
4012 IF E=0 THEN GOSUB 1000 ELSE
4020
4014 GOTO 4000
4020 PRINT
4022 PRINT USING 5 ; " a(*)
=";A5
4024 PRINT USING 5 ; " a(max)
=";A6
4026 PRINT USING 5 ; " Delta-a
=";D1
4027 PRINT "-----
-----"
4028 D2=D1
4030 DISP "a";@ BEEP @ INPUT A
4031 DISP " a=";A
4032 GOSUB 2300
4034 GOTO 2400
4100 ! Übergangsprogramm
für Phi(*)
4102 PRINT @ PRINT USING 5 ; "Ph
i(*)-Ende=";F0
4103 PRINT "-----
-----"
4104 A=A5 ! a(min)/a(*)
4106 F0=F0+F9 ! Phi(*)+Delta Phi
4108 GOSUB 2300
4110 GOTO 2400
4500 ! Übergangsprogramm
für a-Obersprung
4502 D1=D2 ! Delta a(*)=Delta a
4504 A=A+D1
4506 GOSUB 2300
4508 GOTO 2400

```

Tabelle 3.3/85 Struktogramme für Startmenü, Testlauf, Werteeingabe und Hauptprogramm

1	E = 0; DEG; IMAGE			
50	ON KEY #			
	1	2	3	4
	3000	4000	(1000)	400
	(START)	(START)	(WERTE)	(TEST)
400	"TESTLAUF"			
	READ DATA; E = 1			
	GOTO 3000			

Tabelle 3.3/85 (Fortsetzung)

1000	"WERTEEINGABE"	
	Eingabe der 16 Eingangswerte: $\varphi^*, \varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14}, \varphi_{15}, \psi_{12}, \psi_{13}, \psi_{14}, \psi_{15},$ $d, \Delta\varphi^*, a^*, \Delta a, a_{\max}, \varphi_{16}, \varphi_{17}$	
	E = 1	
	RETURN	
3000	"HAUPTPROGRAMM" mit Protokollierung	
	E = 0?	
	J	N
	(1000)	PRINT alle 16 Eingangswerte
		2300 Vorprogramm
4000	"HAUPTPROGRAMM" ohne Protokollierung	
	E = 0?	
	J	N
	(1000)	PRINT $a^*, a_{\max}, \Delta a$
		2300 Vorprogramm
		GOTO 2400

Das Vorprogramm (ab Zeile 2300) mit den zugehörigen Unterprogrammen 3100, 2000, 2100 und 2200 ist mit Tabelle 3.4/85 dokumentiert. Der Programmteil ab Zeile 2400 zur a-Fixierung ist durch die Struktogramme in Tabelle 3.5/85 beschrieben.

Tabelle 3.6/85 zeigt schließlich den Gesamtzusammenhang des HP-85-Programms mit allen Verzweigungen in Form eines Flußdiagramms.

**Tabelle 3.4/85** Struktogramme des Vorprogramms (Zeile 2300) und der zugehörigen Unterprogramme

2300	“VORPROGRAMM“	2000	“KREIS DURCH 3 PUNKTE“
	3100 Differenz B		D; C; A; $a_k$ ; $b_k$ ; $r_k$
	$B_1 = B$ ; $a = a + .001$		RETURN
	3100 Differenz B	2100	“A'-KOORDINATEN“
	$B_2 = B$ ; C-Berechnung		$x_{Ai}$ ; $y_{Ai}$ ; $f$ ; $\gamma$ ; $x'_{Ai}$ ; $y'_{Ai}$
	RETURN		RETURN
3100	“DIFFERENZ B“	2200	“B-UNTERPROGRAMM“
	$x_1$ ; $y_1$ ; $\varphi_{1i} = \varphi_{12}$ ; $\psi_{1i} = \psi_{12}$		B
	2100 Kreiskoordinaten		RETURN
	$x_2$ ; $y_2$ ; $\varphi_{1i} = \varphi_{13}$ ; $\psi_{1i} = \psi_{13}$		
	2100 Kreiskoordinaten		
	$x_3$ ; $y_3$		
	2000 Dreipunkte-Kreis		
	$a_k$ ; $b_k$ ; $r_k$		
	2100 Kreiskoordinaten		
	$x_2$ ; $y_2$ ; $\varphi_{1i} = \varphi_{15}$ ; $\psi_{1i} = \psi_{15}$		
	2100 Kreiskoordinaten		
	$x_3$ ; $y_3$		
	2000 Dreipunkte-Kreis		
	$a_k$ ; $b_k$ ; $r_k$		
	2200 B-Unterprogramm		
	RETURN		

**Tabelle 3.5/85** Struktogramme des Teils für die a-Fixierung und der darin aufgerufenen Moduln

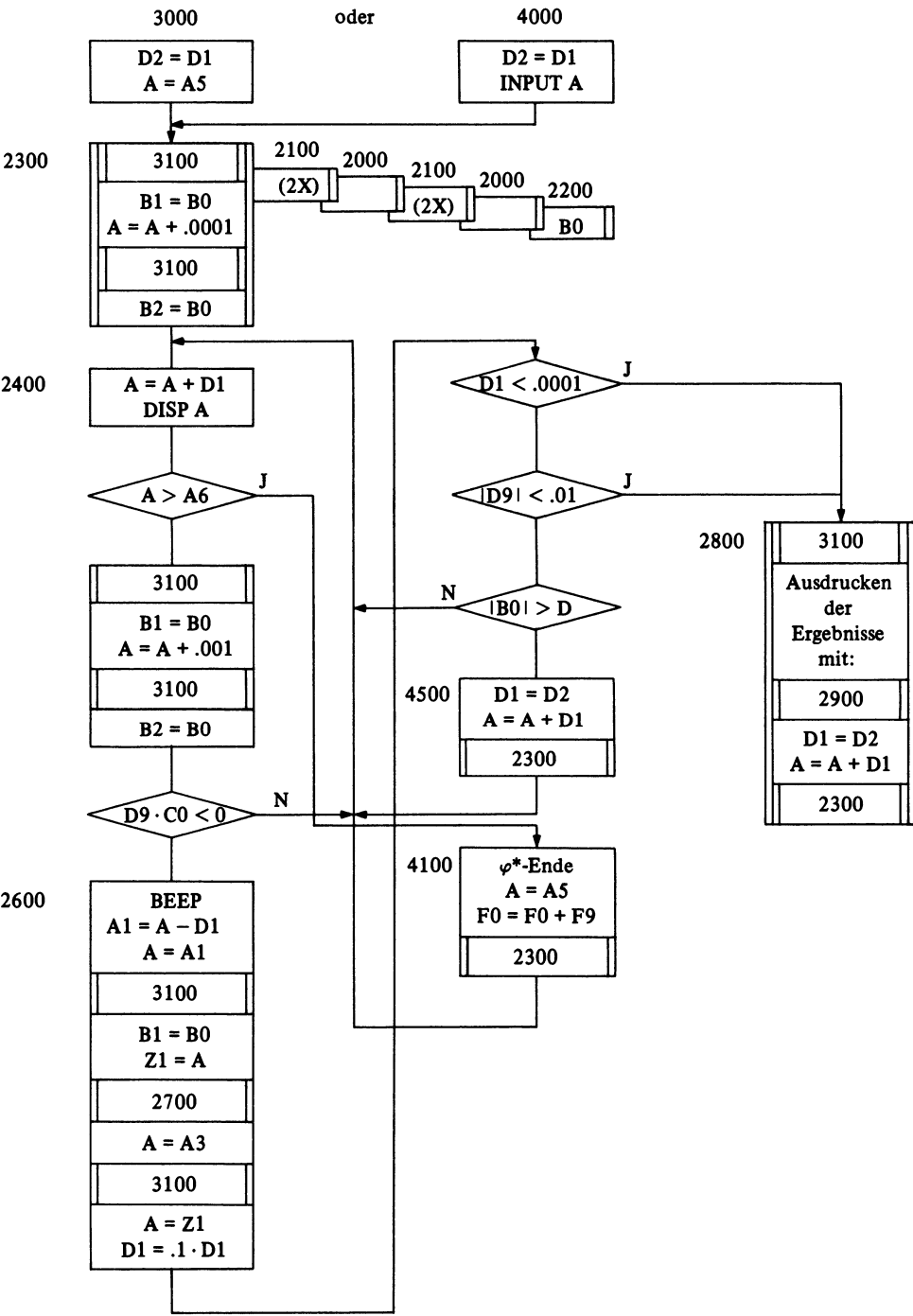
2400	“a-FIXIERUNG“	
	<div> <div><math>a_{max} &gt; a?</math></div> <div> <div>J</div> <div>N</div> </div> </div>	
	4100	3100 Differenz B
		$B_1 = B$ ; $a = a + .001$
		3100 Differenz B
		$B_2 = B$ ; D
		<div> <div><math>D \cdot C &lt; 0?</math></div> <div> <div>J</div> <div>N</div> </div> </div>
	2600	2400

Tabelle 3.5/85 (Fortsetzung)

2600	<div>"SCHRITTWEITEN-ÄNDERUNG"</div> <div>BEEP; a<sub>1</sub> = a - Δa; a = a<sub>1</sub></div> <div>3100 Differenz B</div> <div>B<sub>1</sub> = B; a' = a</div> <div>2700 Regula falsi → a<sub>3</sub></div> <div>a = a<sub>3</sub></div> <div>3100 Differenz B</div> <div>a = a'; Δa = .1 · Δa</div> <div><div>Δa &lt; .0001?</div><div>J</div><div>N</div><div><div>(2800)</div><div><div> D'  &lt; .01?</div><div>J</div><div>N</div><div><div>(2800)</div><div><div> B  &gt; d?</div><div>J</div><div>N</div><div>4500</div><div>2400</div></div></div></div></div></div>
2700	<div>"REGULA FALSI"</div> <div>a<sub>3</sub></div> <div>RETURN</div>
2800	<div>"KENNWERTE"</div> <div>3100 Differenz B</div> <div>x<sub>B</sub>; y<sub>B</sub>; ψ*; c</div> <div>PRINT "Ergebnisse:"</div> <div>φ*; ψ*; a; B; a; b; c; d; s</div> <div>Für μ<sub>1</sub>; ... μ<sub>7</sub>; μ<sub>i</sub>; μ<sub>a</sub></div> <div><div>φ<sub>1i</sub></div><div>2900 Übertragungswinkel</div><div>PRINT</div></div> <div>Δa* = Δa; a = a + Δa*</div> <div>2300 Vorprogramm</div> <div>RETURN</div>
2900	<div>"ÜBERTRAGUNGSWINKEL"</div> <div>x<sub>Ai</sub>; y<sub>Ai</sub>; f; S; μ</div> <div>RETURN</div>
4100	<div>"ÜBERGANGSPROGRAMM" für ψ*</div> <div>PRINT "φ*-Ende**"</div> <div>a = a*; φ* = φ* + Δφ</div> <div>2300 Vorprogramm</div> <div>GOTO 2400</div>
4500	<div>"ÜBERGANGSPROGRAMM" für a-Übersprung</div> <div>Δa* = Δa; a = a + Δa*</div> <div>2300 Vorprogramm</div> <div>GOTO 2400</div>

Tabelle 3.6/85 Flußdiagramm des gesamten HP-85-Programms

Programmstart



### 3.3.8 Bedienungsanweisungen für den HP-41-Programmablauf

Für den Rechner HP-41CV wurde das Programm so ausgelegt, daß jede Einzelgröße einem bestimmten Speicher vor Beginn der Rechnung zugewiesen wird. Gegenüber der gelegentlich ausgeübten Vorgehensweise mit aufeinanderfolgenden R/S-Tastendrücken nach Hinweisen im Rechner-Schriftfeld, hat dies den Vorzug, unabhängig von der Reihenfolge der Eingabe zu sein, jeden einzelnen Speicher nachprüfen zu können, vor allem aber auch neu einzustellen und außerdem Programmplätze einzusparen.

Tabelle 3.7/41 zeigt die 16 Eingangsgrößen als Kennwerte mit den dazugehörigen Speichern und Hinweisen auf die einzelnen Merkmale im Getriebe. Weitere danach aufgeführte Kennwerte sind mit Speicherbelegungen und Merkmalen hervorgehoben worden. So gibt die ausgedruckte Differenz B Auskunft darüber, mit welchen Annäherungen ein Gelenk-

**Tabelle 3.7/41** Eingangsgrößen und wichtige Kennwerte des Programmes „Winkelbewegungen“

Speicherbelegung: XEQ  $\alpha$ -SIZE  $\alpha$  055

Rechenbeginn: XEQ 30 mit Ausdruck der Eingangswerte  
XEQ 40 ohne Ausdruck aller Eingangswerte

Ausdruck von Zwischen-Ergebnissen: XEQ 28

	Kennwert	Speicher	Merkmal im Getriebe
Eingangs-Größen	$\varphi^*$	R07	Kurbellagenwinkel für Lage 1
	$\varphi_{12}$	R08	Kurbelwinkel für Lagen 1 bis 5 von Lage 1 aus gemessen. Lagen der Kurbel a
	$\varphi_{13}$	R09	
	$\varphi_{14}$	R10	
	$\varphi_{15}$	R11	
	$\psi_{12}$	R12	Relativwinkel des Abtriebsgliedes von jeweiliger Ausgangslage gemessen; Lagen des Gliedes c
	$\psi_{13}$	R13	
	$\psi_{14}$	R14	
	$\psi_{15}$	R15	
	d	R05	Gestelllänge des Gelenkvierecks
	a*	R29	kleinste Kurbellänge bei Rechenbeginn
	$\Delta\varphi^*$	R01	Schrittweite für Wechsel der Kurbellage 1
	$\Delta a^*$	R00	Schrittweite für Wechsel der Kurbellänge
Wichtige Kennwerte des Gelenkvierecks	a <sub>max</sub>	R30	Größe als zulässig erachtete Kurbellänge
	$\varphi_{16}$	R49	Winkel für noch zu durchlaufende Kurbellage vor Lage 1
	$\varphi_{17}$	R50	Winkel für noch zu durchlaufende Kurbellage nach Lage 5
	$\varphi^*$	R07	Winkel für Lage 1 der Kurbel a
	$\psi^*$	R47	Winkel für Lage 1 des Gliedes c
	B	R39	kleinste erzielbare Kreismittelpunkts-Differenz $B = B_{123} - B_{145}$
	a	R02	Kurbellänge im Gelenkviereck
	b	R03	Koppellänge im Gelenkviereck
	c	R04	Länge des Abtriebsgliedes, im Gelenkviereck
	d	R05	Gestelllänge im Gelenkviereck
	s	R06	Bereichsfaktor des Gelenkvierecks



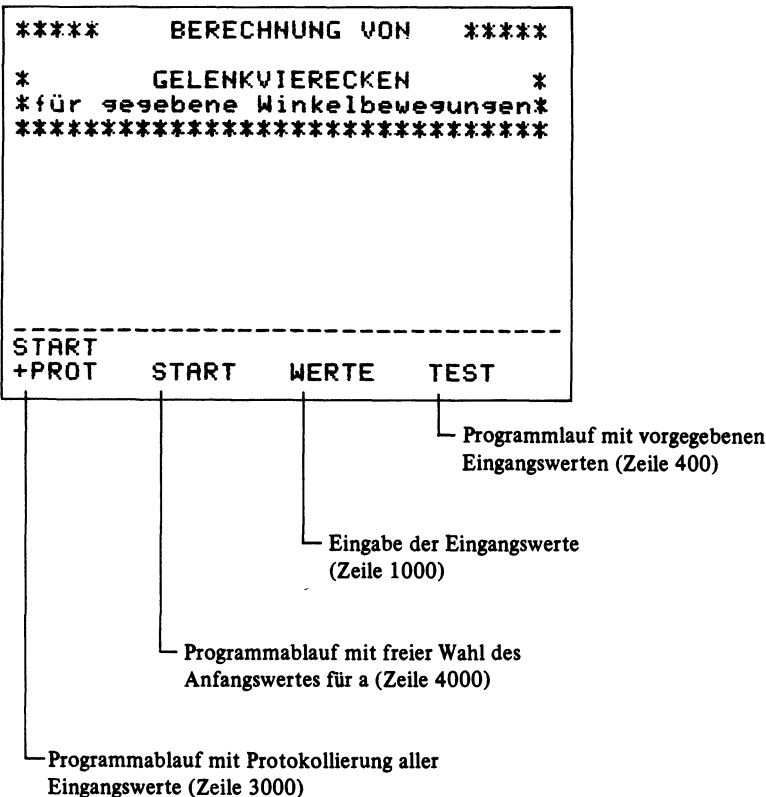
viereck gefunden werden konnte. Die Anfangswinkel  $\varphi^*$  und  $\psi^*$  ( $\varphi^*$  stimmt im allgemeinen nicht mit dem gleichnamigen Winkel zu Beginn des Programms überein!) ermöglichen mit einer willkommenen Überbestimmung die Lagen-Definition des Gelenkvierecks, wenn dessen Abmessungen a, b, c, d und der Kennwert s eingesetzt werden. Mit den zugehörigen Speichern läßt sich das Gelenkviereck sofort für andere Zwecke einsetzen oder auch z. B. hinsichtlich einer Genauigkeit weiter untersuchen.

Zur Bedienungsanleitung gehören noch die für HP-41CV erforderliche „Size“-Anweisung und die Einleitung des Programmablaufes mit „XEQ...“ Zur Orientierung über den Stand der Rechnung in bestimmten Zwischen-Stationen lassen noch die entsprechenden Zwischen-Ergebnisse mit XEQ 28 einen Abruf und einen Ausdruck zu.

### 3.3.9 Bedienungsanweisungen für den HP-85-Programmablauf

Nach Laden des Programms mit LOAD „GELENK“ und Starten mit RUN wird auf dem Bildschirm das Anfangsmenü dargestellt (Tabelle 3.7/85). Funktionstaste k1 bewirkt den vollständigen Programmablauf (Startzeile 3000) mit Protokollierung aller Eingangswerte (vgl. Tabelle 3.2/85 und 3.3/85).

Tabelle 3.7/85 Startmenü des HP-85-Programms



Mit k2 wird Zeile 4000 angesprungen; es werden dann nur  $a^*$ ,  $a_{\max}$  und  $\Delta a$  ausgedruckt, für  $a$  kann bzw. muß ein geeigneter Wert eingegeben werden (Tabelle 3.8/85) der z.B. aus einem vorangegangenen Lauf als günstig erkannt wurde. In beiden Fällen verzweigt das Programm automatisch zur Werteeingabe-Routine (Zeile 1000), falls noch keine Eingangswerte eingegeben wurden (Tabelle 3.9/85). Anschließend meldet sich wieder das Anfangsmenü.

**Tabelle 3.8/85** Hauptprogramm ohne vollständiger Werte-Protokollierung

Bildschirm	Drucker
* H A U P T P R O G R A M M *	
* -----*	
* ohne Protokollierung der *	
* Eingangswerte *	
*****	
a?	a(*) = 10.0000
30	a(max) = 60.0000
	Delta-a = 5.0000

**Tabelle 3.9/85** Automatische Verzweigung zur Werteeingabe

* H A U P T P R O G R A M M *	
* -----*	
* mit Protokollierung aller *	
* Eingangsgrößen *	
*****	
*** WERTEEINGABE ***	
*****	
Eingabe der Eingangswerte :	
Phi(*)?	
	a(*)?
,	10
,	Delta-a?
,	5
	a(max)?
	60
	Phi(16)?
	-5
Psi( 15 )?	Phi(17)?
17.5	65
d?	
60	
Delta-Phi?	
5	
	-----
	START
	+PROT    START    WERTE    TEST

Wird nach der Werteeingabe mit k1 fortgesetzt, wird entsprechend Tabelle 3.10/85 ein vollständiges Protokoll ausgedruckt. Auf dem Bildschirm wird fortlaufend der aktuelle a-Wert angezeigt. Das Verzweigen im Programm zur Zeile 2600 (Schrittweiten-Änderung) wird durch ein Dreifach-„BEEP“ signalisiert.

Zur bequemen Überprüfung der Abläufe ist die Test-Routine verfügbar, die mit den über READ...DATA im Programm vorgegebenen Eingangswerten arbeitet. Diese Werte stimmen mit denen in Tabelle 3.10/85 und 3.8/41 (in Abschnitt 3.3.8) überein. Auf dem Bildschirm werden wieder die aktuellen a-Werte angezeigt, der Drucker schreibt fortlaufend alle Ergebnisse mit (Tabelle 3.11/85).

*Ein Hinweis:* Um Papier zu sparen, kann mit PRINTER IS 1 die Druckerausgabe auf den Bildschirm geleitet werden.

**Tabelle 3.10/85** Vollständiger Ausdruck der Eingangswerte

Bildschirm	Drucker
* H A U P T P R O G R A M M *	VIER-WINKEL-ZUORDNUNG
* ----- *	=====
* mit Protokollierung aller *	
* Eingangsgrößen *	Eingangswerte:
*****	
a = 15.0001	Phi(*) = 55.0000
a = 20.0011	Phi(12) = 15.0000
a = 25.0021	Phi(13) = 30.0000
a = 30.0031	Phi(14) = 45.0000
a = 25.5041	Phi(15) = 60.0000
a = 26.0051	Psi(12) = 2.0000
a = 25.5561	Psi(13) = 6.0000
a = 25.6071	Psi(14) = 11.5000
a = 25.5631	Psi(15) = 17.5000
	d = 60.0000
	DeltaPhi = 5.0000
	a(*) = 10.0000
	Delta-a = 5.0000
	a(max) = 60.0000
	Phi(16) = -5.0000
	Phi(17) = 65.0000

**Tabelle 3.11/85** Testlauf mit Ergebnissen

*****	T E S T L A U F	*****
* ----- *		
* mit fest vorgegebenen *		
* Eingangswerten *		
*****		
a = 10		
a = 15.0001		
a = 20.0011		
a = 25.0021		
a = 30.0031		
a = 25.5041		
a = 26.0051		
a = 25.5561		
a = 25.6071		

Tabelle 3.11/85 (Fortsetzung)

Ergebnisse:

```

Phi(*) = 55.0000
Psi(*) = 100.9171
a      = 25.5601
B      = 64.61
a      = 25.5601
b      = 51.9721
c      = 61.6495
d      = 60.0000
s      = 1.0000
MÜ(1) = 51.2874
MÜ(2) = 59.0306
MÜ(3) = 66.8842
MÜ(4) = 74.4691
MÜ(5) = 81.4548
MÜ(6) = 48.8113
MÜ(7) = 83.5953
MÜ(i) = 33.9506
MÜ(a) = 97.3409

```

---

Ergebnisse:

```

Phi(*) = 55.0000
Psi(*) = 87.8904
a      = 30.5602
B      = 9.9305
a      = 30.5602
b      = 72.8609
c      = 82.0045
d      = 60.0000
s      = 1.0000
MÜ(1) = 36.5242
MÜ(2) = 42.8999
MÜ(3) = 49.1311
MÜ(4) = 54.9498
MÜ(5) = 60.1396
MÜ(6) = 34.4272
MÜ(7) = 61.6966
MÜ(i) = 20.8576
MÜ(a) = 71.2948

```

---

Phi(\*)-Ende 55.0000

---

Ergebnisse:

```

Phi(*) = 60.0000
Psi(*) = 109.4725
a      = 25.8831
B      = 59.57
a      = 25.8831
b      = 44.9714
c      = 62.5347
d      = 60.0000
s      = 1.0000
MÜ(1) = 55.1247
MÜ(2) = 63.9849
MÜ(3) = 72.8015
MÜ(4) = 81.2132
MÜ(5) = 89.8784
MÜ(6) = 52.2352
MÜ(7) = 91.2065
MÜ(i) = 32.0160
MÜ(a) = 104.8645

```

---

Phi(\*)-Ende 60.0000

---

Phi(\*)-Ende 65.0000

---

Ergebnisse:

```

Phi(*) = 70.0000
Psi(*) = 125.4716
a      = 25.3501
B      = 4.762
a      = 25.3501
b      = 31.7546
c      = 64.2032
d      = 60.0000
s      = 1.0000
MÜ(1) = 61.7779
MÜ(2) = 73.5757
MÜ(3) = 84.9413
MÜ(4) = 95.5992
MÜ(5) = 105.1784
MÜ(6) = 57.7902
MÜ(7) = 108.0478
MÜ(i) = 15.4686
MÜ(a) = 121.8923

```

---

### 3.3.10 Zahlenbeispiel für HP-41

In Tabelle 3.8/41 sind zunächst die Eingangswerte, in ihrer Bedeutung in den Bildern 3.1 bis 3.3 dargestellt, mit ihrer Speicherbelegung aufgeführt. Die Rechnung wird mit XEQ 30 eingeleitet, wenn sämtliche Eingangswerte ausgedruckt worden sind, mit XEQ 40 aber, wenn nur die für Zwischenrechnungen wichtigen Werte  $a^*$ ,  $a_{\max}$ ,  $\Delta_a$  ausgedruckt zu werden brauchen. In beiden Fällen wird die Rechnung ohne besondere manuelle Anweisungen automatisch eingeleitet. Bei jedem Durchgang wird der wichtigste, zu minimierende Wert B sowie die Differenzstrecke zwischen den beiden Kreismittelpunkten  $B_{123}$  und  $B_{145}$  kurzzeitig vom Rechner angezeigt.

Wenn die IF-Schranke für B überschritten wird, ertönt ein akustisches Zeichen, an dem zu erkennen ist, daß eine Lösung durch Iterationen vorbereitet wird. Nach jedem Überschreiten der  $a_{\max}$ -Schranke wird „Phi-Ende“ ausgedruckt, um bei automatischer Langzeitrechnung in jeder Zwischenphase anzuzeigen, in welchem Bereich gerade gerechnet wird.

Zunächst ist es zweckmäßig, die Rechnung mit verhältnismäßig großer Schrittweite  $\Delta\varphi (\sim 5-10^\circ)$  zu beginnen. Zum Auffinden des kleinsten B-Wertes ist es dann ratsam, mit reduzierter Schrittweite  $\Delta\varphi$  den B-Wert einzuengen. Selbstverständlich läßt sich auch diese Prozedur noch automatisieren; dann müßte aber auch, um keine Zeit zu vergeuden, im Programm vorgeschrieben werden, daß nur unterhalb eines gegebenen B-Wertes zu interpolieren ist.

Aus den vom Rechner erarbeiteten Zwischenergebnissen ist in jeder Zwischenphase ein Einblick in den Stand der Rechnung durch kurzen Stillstand zur Erkennung der jeweiligen Kurbellänge a gegeben. Durch Vergleich zweier aufeinanderfolgender a-Größen kann man an der großen oder kleinen Differenz erkennen, ob der Rechner gerade im Durchlauf mit Grob-Abtasten beschäftigt ist oder den Iterations-Vorgang durchläuft. Der Rechner ist in der Lage, über lange Zeiträume hinweg unbeaufsichtigt zu rechnen und zu drucken!

Mit den angegebenen Eingangswerten (Tabelle 3.8/41) wurde bei  $\varphi^* = 55^\circ$  mit einer Sprungweite von  $\Delta\varphi = 5^\circ$  und mit  $a = 10$  begonnen. Dabei stellte sich heraus, daß es für  $\varphi^* = 55^\circ$  zwei Extremwerte von B gibt, einmal für  $a = 25,5601$  und zum anderen für  $a = 30,5602$ . Der Unterschied von  $B = 0,6461$  im ersten Falle zu  $B = 9,9305$  im zweiten Falle gibt zu der Feststellung Anlaß, daß in direkter Abhängigkeit hiervon auch die vom Gelenkviereck erreichte Genauigkeit stehen muß, was durch eine Nachrechnung auch bestätigt werden konnte. Eine Entscheidung darüber, welches der berechneten Gelenkvierecke am besten die gestellten Bedingungen zu erfüllen vermag, z. B. auch hinsichtlich des Platzbedarfes, muß allerdings weiteren gezielten Nach-Untersuchungen überlassen bleiben.

Sämtliche Übertragungswinkel  $\mu$  liegen für  $B = 0,6461$  noch in annehmbaren Grenzen, wobei hervorzuheben ist, daß eine Bewegungsübertragung bei  $\mu = 0^\circ$  und  $\mu = 180^\circ$  unmöglich wird, also auch deren Nähe zu vermeiden ist. Die beiden Übertragungswinkel  $\mu_i$  und  $\mu_a$  mit dem Betrag über  $30^\circ$  weisen darauf hin, daß ein solches Gelenkviereck gut umlauffähig ist. Gegen die Lösung mit  $B = 9,9303$  spricht, falls Umlauffähigkeit verlangt wird, der zu kleine Übertragungswinkel  $\mu_i = 20,8576^\circ$ . Die weitere Lösung für  $\varphi^* = 60^\circ$  mit  $B = 0,5957$  deutet darauf hin, daß wegen des kleiner werdenden B eine Interpolation mit kleineren  $\varphi^*$ -Schritten zweckmäßig erscheint, wobei gleichzeitig auch bis zur Grenze  $\mu_i \sim 30^\circ$ , falls dieser Wert als noch zulässig erachtet wird, gegangen werden kann, also ein Kompromiß zwischen B und  $\mu_i$  anzustreben wäre.

Tabelle 3.8/41 Zahlenbeispiel für die Gelenkviereck-Berechnung mit vorgeschriebener Vierwinkel-Zuordnung

XEQ 30

**VIER-WINKEL  
ZUORDNUNG**

PHI*	55.0000	$\varphi^* = R_{07}$
PHI:12,13,14,15	15.0000	$\varphi_{12} = R_{08}$
	30.0000	$\varphi_{13} = R_{09}$
	45.0000	$\varphi_{14} = R_{10}$
	60.0000	$\varphi_{15} = R_{11}$
PSI:12,13,14,15	2.0000	$\psi_{12} = R_{12}$
	6.0000	$\psi_{13} = R_{13}$
	11.5000	$\psi_{14} = R_{14}$
	17.5000	$\psi_{15} = R_{15}$
D,D-PHI	60.0000	$d = R_{05}$
	5.0000	$\Delta\varphi = R_{01}$
A*,D-A,A-MAX	10.0000	$a^* = R_{29}$
	5.0000	$\Delta a = R_{00}$
	60.0000	$a_{\max} = R_{30}$
PHI:16,17	-5.0000	$\varphi_{16} = R_{49}$
	65.0000	$\varphi_{17} = R_{50}$

-.-.-.-.-

=====

PHI*,PSI*,A,BD	55.0000	$\varphi^* = R_{07}$
	100.9171	$\psi^* = R_{47}$
	25.5601	$a = R_{02}$
	0.6461	$B = R_{39}$

A,B,C,D,S	25.5601	$a = R_{02}$
	51.9721	$b = R_{03}$
	61.6495	$c = R_{04}$
	60.0000	$\alpha = R_{05}$
	1.0000	$s = R_{06}$

MUE:1-2-3-4-5	51.2874
	59.0306
	66.8842
	74.4691
	81.4548

MUE:6-7	48.8113
	83.5953

MUE:I-A	33.9506
	97.3409

=====

PHI*,PSI*,A,BD	55.0000
	87.8905
	30.5602
	9.9305

A,B,C,D,S	30.5602
	72.8609
	82.0045
	60.0000
	1.0000

MUE:1-2-3-4-5	36.5242
	42.8999
	49.1311
	54.9498
	60.1396

MUE:6-7	34.4272
	61.6966

MUE:I-A	20.8576
	71.2948

=====

PHI*-ENDE	55.0000
-----------	---------

=====

PHI*,PSI*,A,BD	60.0000
	109.4725
	25.8831
	0.5957

A,B,C,D,S	25.8831
	44.9714
	62.5347
	60.0000
	1.0000

MUE:1-2-3-4-5	55.1247
	63.9849
	72.8015
	81.2132
	88.8784

MUE:6-7	52.2352
	91.2065

MUE:I-A	32.0160
	104.8645

=====

Die in Tabelle 3.8/41 angeführte Rechnung erfordert einen Zeitaufwand von 40 Minuten. Allgemeinverbindliche Aussagen lassen sich daraus aber nicht ableiten; denn vor allem die Schrittweiten-Voreinstellungen  $\Delta a$  und  $\Delta \varphi$  beeinflussen in hohem Maße die Rechenzeit. Beide Werte aber zu grob einzustellen, um Zeit einzusparen, birgt die Gefahr in sich, daß manchmal eng begrenzte Lösungsfelder „verschluckt“, also gar nicht erkannt werden.

### 3.3.11 Zahlenbeispiel für HP-85

Tabelle 3.10/85 in Abschnitt 3.3.9 zeigt die für das Zahlenbeispiel verwendeten Eingangswerte. Es sind dies die Werte, die für den bereits beschriebenen Testlauf (Funktionstaste k4) fest im Programm eingespeichert sind. Die Bilder 3.1 bis 3.3 in den Abschnitten 3.1 und 3.2 veranschaulichen die Bedeutung dieser Werte.

In Tabelle 3.11/85 in Abschnitt 3.3.9 sind vier Ergebnissätze für  $\varphi^* = 55^\circ$  (zwei Extremwerte von B),  $\varphi^* = 60^\circ$  und  $\varphi^* = 70^\circ$  angegeben. Für  $\varphi^* = 65^\circ$  gibt es keine Lösungen. Alle Lösungen sind natürlich mit den in Tabelle 3.8/41 dargestellten identisch, die mit dem HP-41 ermittelt wurden. Die Diskussion im vorigen Abschnitt 3.3.10 sind für dieses HP-85-Zahlenbeispiel voll gültig, weil dabei keine Rechner-Besonderheiten eingehen; sie müssen darum hier nicht wiederholt werden.

Ein Unterschied liegt aber bei der Arbeitsgeschwindigkeit: Während das Berechnen der Tabelle 3.8/41 mit dem HP-41 40 Minuten benötigt, läuft das HP-85-Programm für den gleichen Lösungsumfang (Tabelle 3.11/85) 4 Minuten und 15 Sekunden, wenn die Lösungsausgabe über den Bildschirm erfolgt. Für das Drucken wird natürlich etwas zusätzliche Zeit benötigt.

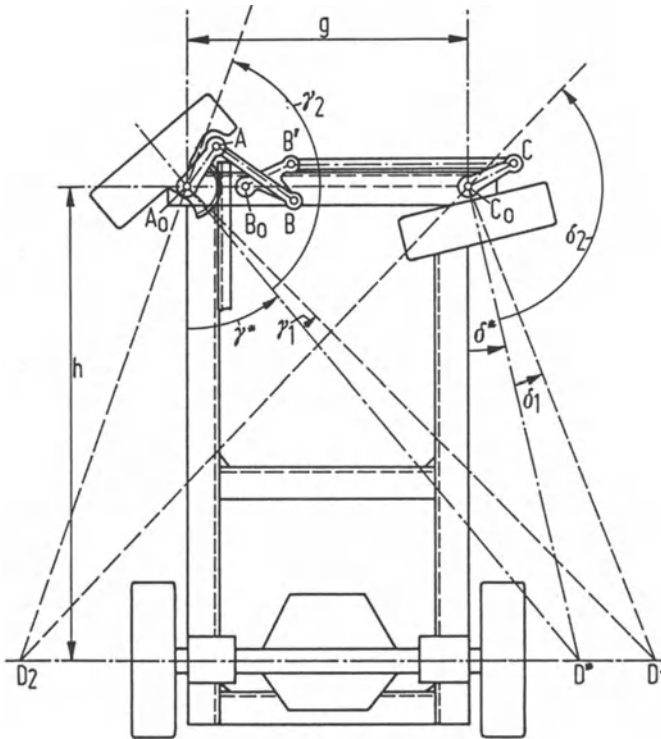
## 3.4 Praxisbeispiele für Vierwinkel-Zuordnungen

### 3.4.1 Achsschenkel lenkung für Fahrzeuge mit kleinem Wenderadius

Bei nahezu allen selbstfahrenden Fahrzeugen wird die Vorderrad-Achsschenkel lenkung verwendet. Sie garantiert auch bei Kurvenfahrt eine standsichere Vierpunktauf lage. Die beiden Lenkräder müssen über ein Lenkgestänge für den Schwenkvorgang zwangsläufig gelenkig miteinander verbunden werden. Das früher noch vielfach verwendete Lenktrapez konnte den hierbei zu erfüllenden Winkelzuordnungs-Anspruch nur mit groben Annäherungen genügen, und dies vor allem, weil dieses Getriebe symmetrisch angeordnet wurde, wodurch naturgemäß wertvolle Entwurfsfreiheiten verloren gehen.

Deshalb werden bevorzugt geteilte Spurstangen verwendet, was den Übergang zu mehrgliedrigen, zunächst zu sechsgliedrigen Achsschenkel lenkgetrieben bedeutet. Für normale Straßenfahrzeuge ist, wie für alle anderen Fahrzeuge auch, zwar ein möglichst kleiner Wenderadius erwünscht, der größere Radeinschlag verursacht aber konstruktive Schwierigkeiten, und deshalb begnügt man sich mit Kompromissen. Bei Spezialfahrzeugen werden aber oft kleine Wenderadien verlangt, bei landwirtschaftlichen Geräteträgern z.B., um in den raumbegrenzten Wirtschaftsbetrieben zum Zwecke der Ankopplung von Feldgeräten besser oder überhaupt rangieren zu können, vor allem aber auch bei den Feldarbeiten selbst, um ein möglichst kleines Vorgewende zu erhalten.

Jede Fahrzeuglenkung verlangt sowohl in Geradausfahrt als auch in Kurvenfahrt ein möglichst gleitfreies Rollen aller Räder auf der Fahrbahn, was allerdings bei hohen Anforderungen nur mit vielgliedrigen Lenkgestängen erreicht werden kann. Um in kosten-

**Bild 3.4**

Geometrische Grundlagen für die Berechnung eines Achsschenkel-Lenkgestänges für ein selbstfahrendes landwirtschaftliches Fahrzeug auf der Grundlage der Vierwinkel-Zuordnungen

günstigen Grenzen zu bleiben, begnügt man sich mit den möglichen günstigsten Annäherungen. Das Funktionsgetriebe für die Achsschenkellenkung kann das vorgeschriebene Gesetz um so besser erfüllen, je kleiner der Bewegungsbereich ist.

Für die hier gestellte Aufgabe soll versucht werden, den abdeckbaren Bereich möglichst gut mit dem Vierwinkel-Zuordnungsprogramm anzunähern. Nach Bild 3.4 ist ein reines Rollen aller vier Räder nur möglich, wenn sich die Achsen der zur Lenkung verschwenkten Vorderräder in einem Punkt D auf der festen Hinterachse schneiden. Der kleinste Wenderadius soll durch den Schnittpunkt D\* und symmetrisch hierzu durch den auf der anderen Seite liegenden korrespondierenden Punkt vorgegeben sein. Dann ergeben sich für das linke Vorderrad der Anfangswinkel  $\gamma^*$  und für das rechte Vorderrad der Anfangswinkel  $\delta^*$ . Wenn aus dieser Anfangsstellung heraus ein (Antriebs-) Verdrehwinkel  $\gamma_1$  angegeben wird, errechnet sich der zugehörige (Abtriebs-) Verdrehwinkel  $\delta_1$  für die Spurweite g und den Achsabstand h:

$$\delta_1 = \arctan \left[ \tan(\gamma^* + \gamma_1) - \frac{g}{h} \right] - \arctan \left( \gamma^* - \frac{g}{h} \right) \quad (3.27)$$

Wenn  $(\gamma^* + \gamma_1) > 90^\circ$  ist, müssen die Verlängerungen der Radachsen zur Winkelmessung herangezogen werden, Gl. (3.27) muß dann z. B. um einen Winkel  $\delta_2$  erweitert werden:

$$\delta_2 = \arctan \left[ \tan(\gamma^* + \gamma_2) - \frac{g}{h} \right] - \arctan \left( \gamma^* - \frac{g}{h} \right) + 180^\circ \quad (3.28)$$



Die Achsschenkellenkung soll aus dem Parallelkurbelgetriebe  $B_0B'CC_0$  und dem Funktions-Gelenkviereck  $A_0ABB_0$  bestehen. Das erstere soll lediglich zur winkeltreuen Bewegungsweiterleitung dienen, seine je zwei paarweise gleichlangen, gegenüberliegenden Glieder ermöglichen eine weitgehende Anpassung an die Platzverhältnisse, so daß dem Funktions-Gelenkviereck  $A_0ABB_0$  die Erzeugung der Winkelzuordnungen bei wiederum vielfältigen Freiheiten zur Platzanpassung übergeben werden kann.

Für eine noch befriedigende Übertragungsgüte mit  $\mu_{\min} = \sim 30^\circ$  kann das Parallelkurbelgetriebe einen Größtwinkel von  $\sim 120^\circ$  übertragen, und daraus ergibt sich auch bei gegebenen  $g$  und  $h$  der kleinste Fahrzeug-Wenderadius.

**41** Für die nach Tabelle 3.9/41 eingesetzten  $\varphi$ -Winkel (PHI: 12, 13, 14, 15) findet man für  $g = 1,5$  und  $h = 2,5$ , für  $\gamma^* = 40^\circ$  nach den Gl. (3.27) und (3.28) die in Tabelle 3.9/41 ausgedruckten  $\psi$ -Winkel (PSI: 12, 13, 14, 15).

Nach Abtasten des gesamten Lösungsfeldes von  $\varphi^* = 0^\circ$  bis  $\varphi^* = 360^\circ$  ergibt sich nur ein enger Lösungsbereich bei  $\varphi^* = 55^\circ$ . Die dafür gültigen Gelenkviereck-Abmessungen mit  $d = 0,3$  sind als Ergebniswerte in Tabelle 3.9/41 ausgedruckt (A, B, C, D, S). Der Rest-

**Tabelle 3.9/41** Vierwinkel-Berechnungsbeispiel für die Achsschenkellenkung eines selbst-fahrenden landwirtschaftlichen Fahrzeuges

VIER-WINKEL ZUORDNUNG			=====		
PHI*			PHI*, PSI*, A, B, D		
			55.0000	***	
			-10.1039	***	
	55.0000	***	0.2601	***	
PHI: 12, 13, 14, 15			0.0258	***	
	31.6000	***	A, B, C, D, S		
	63.3000	***	0.2601	***	
	94.9000	***	0.4914	***	
	126.5531	***	0.2701	***	
PSI: 12, 13, 14, 15			0.3000	***	
	53.9849	***	1.0000	***	
	88.2496	***	MUE: 1-2-3-4-5		
	108.5023	***	21.9005	***	
	126.5531	***	51.2798	***	
D, D-PHI			71.8226	***	
	0.3000	***	85.2924	***	
	0.0000	***	89.8272	***	
A*, D-A, A-MAX			MUE: 6-7		
	0.2000	***	69.7114	***	
	0.1000	***	19.1901	***	
	0.9000	***	MUE: I-A		
PHI: 16, 17			1.1785	***	
	130.0000	***	89.8396	***	
	-2.0000	***	=====		
-.-.-.-.-					

fehler  $B(BD) = 0,0258$  ist in Anbetracht der hohen Anforderungen noch gering, er könnte mit dem Übergang zu größerem Minimal-Wenderadius unterboten werden. Das Gleiche gilt für den Übertragungswinkel  $\mu_1 = 21,9^\circ$ , der für diese Lenkungsaufgabe gerade noch annehmbar sein dürfte, bei oben angegebener Änderung aber auch günstiger ausfallen würde. Damit zeigt sich hier der Vorzug der Rechner-Benutzung mit „Universal-Programm“: die Sicherheit, die Grenzen des Möglichen erkennen und Kompromisse zwischen gegensätzlichen Anforderungen eingehen zu können.

Die Angaben über die Winkel  $\mu_6, \mu_7, \mu_i$  und  $\mu_a$  in Tabelle 3.9/41 sind ohne praktische Bedeutung, da das im Bild 3.4 dargestellte Funktions-Gelenkviereck über die Lagen 1 und 5 hinaus nicht bewegt werden soll.

**85** Die mit dem HP-85 ermittelten Ergebnisse sind in Tabelle 3.12/85 dargestellt. Die im Vergleich mit den HP-41-Ergebnissen in Tabelle 3.9/41 erkennbaren Abweichungen in den Nachkommastellen müssen wohl auf die verschiedenen internen Rechengenauigkeiten zurückgeführt werden.

**Tabelle 3.12/85** HP-85-Ergebnisse zur Achsschenkellenkung für Fahrzeuge mit kleinem Wenderadius

Bildschirm	Drucker
VIER-WINKEL-ZUORDNUNG =====	Ergebnisse:
Eingangswerte:	
Phi(*) = 55.0000	Phi(*) = 55.0000
Phi(12) = 31.6000	Psi(*) = -10.4164
Phi(13) = 63.3000	a = .2611
Phi(14) = 94.9000	B = .0260
Phi(15) = 126.5531	a = .2611
Psi(12) = 53.9849	b = .4938
Psi(13) = 88.2496	c = .2722
Psi(14) = 109.5023	d = .3000
Psi(15) = 126.5531	s = 1.0000
d = .3000	MÜ(1) = 21.7754
DeltaPhi = 0.0000	mÜ(2) = 51.0302
a(*) = .2900	MÜ(3) = 71.4562
Delta-a = .1000	MÜ(4) = 84.8304
a(max) = .9000	MÜ(5) = 89.3283
Phi(16) = 130.0000	MÜ(6) = 89.2135
Phi(17) = -2.0000	MÜ(7) = 19.0729
	MÜ(i) = 999.9999
	MÜ(a) = 89.3406



Die Grund-Aufgabenstellung dieses Problems besteht nun in der Vorgabe des Schwingwinkels  $\psi_{0II}$ , den der Werkstückträger zu beschreiben hat, und in der Vorschrift, welcher Kurbelwinkelanteil  $\varphi_{0I}$  für den Hin- und für den Rückgang von W in Anspruch genommen werden soll. Der Schwingwinkel soll mit  $\psi_{II} = 60^\circ$  gegeben sein, für den Kurbelwinkel-Anteil kann der für diese Aufgabe günstigste Wert angenommen werden. Das Getriebe besteht aus zwei hintereinander geschalteten Gelenkvierecken. Es empfiehlt sich, das erste als Kurbelschwinge mit dem als zulässig erachteten Übertragungswinkel  $\mu_{\min} = 30^\circ$  und dem sich daraus ergebenden Größt-Kurbelwinkel  $\varphi_{0I} = 220^\circ$  auszuwählen, wobei ein Schwingwinkel  $\psi_{0I} = \varphi_{0I} - 180 = 40$  erzeugt wird. Für  $d_I = 60$  (Bild 3.5 und 3.6) ergeben sich dann  $b_I = 35,0895$ ;  $a_I = 20,5212$ ;  $c_I = 66,4090$ .

Nun kommt es darauf an, die Abmessungen des Zweit-Gelenkvierecks so zu bestimmen, daß im Zusammenwirken mit dem Erstgetriebe die kleinste Maximalbeschleunigung im Langhub ( $\varphi_{0I} = 220^\circ$ ) entsteht. Wenn eine Masse über eine bestimmte Strecke in einer bestimmten Zeit bewegt werden soll, kann dies mit einer kleinstmöglichen konstant bleibenden Beschleunigung geschehen, bei der allerdings am Anfang und am Ende unliebsame Beschleunigungssprünge auftreten. Dieses Übergangsgesetz nach der quadratischen Parabel wird deshalb nicht in jedem Falle empfohlen, es kann aber sehr gut als Bezugsgesetz, wie im folgenden angeführt, verwendet werden. Für die quadratische Parabel gilt:

$$f = 2z^2 \quad (3.29)$$

$$f = 1 - 2(z - 1)^2 \quad (3.30)$$

Wenn die Bewegungsphase in gleiche oder beliebige Teile von  $z = 0$  bis  $z = 1,0$  eingeteilt wird, ist Gl. (3.29) von  $z = 0$  bis  $z = 0,5$  und Gl. (3.30) von  $z = 0,5$  bis  $z = 1,0$  gültig. Dann muß sich die zu bewegende Masse für konstante Beschleunigung jedem beliebigen  $z$  entsprechend um den zugehörigen Betrag  $f$  bewegt haben. Hierbei sind der Weg und auch die Zeit mit „1“ eingesetzt worden, so daß Gl. (3.29) und (3.30) für „bezogene“ Werte gelten. Nimmt man für  $z$  fünf gleich entfernte Teilstrecken  $z = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$  an, so ergeben sich  $f = 0; 0,125; 0,5; 0,875; 1,0$ . Im Kurbelwinkel  $\varphi_{0I}$  entsprechen für  $z$ :  $\varphi_{12} = 55^\circ$ ;  $\varphi_{13} = 110^\circ$ ;  $\varphi_{14} = 165^\circ$ ;  $\varphi_{15} = 220^\circ$ , und am Zwischen-Abtriebsglied  $c_I$  mit speziellem Gelenkviereck-Rechenprogramm die Winkel:  $\psi_{12} = \varphi_{II12} = 10,3187^\circ$ ;  $\psi_{13} = \varphi_{II13} = 26,5173^\circ$ ;  $\psi_{14} = \varphi_{II14} = 36,6829^\circ$ ;  $\psi_{15} = \varphi_{II15} = 40^\circ$ .

Wenn das End-Abtriebsglied  $c_{II}$  einen Schwingwinkel  $\psi_{0II} = 60^\circ$  beschreiben soll, so kommen für die Teilwinkel nach den oben angegebenen  $f$ -Werten die für  $c_{II}$  einzuhaltenden Winkel  $\psi_{II} = f \cdot \psi_{0II}$  zustande;  $\psi_{II12} = 7,5^\circ$ ;  $\psi_{II13} = 30^\circ$ ;  $\psi_{II14} = 52,5^\circ$ ;  $\psi_{II15} = 60^\circ$ .

41

Die Winkel  $\varphi_{II}$  und  $\psi_{II}$  sind in Tabelle 3.10 und Tabelle 3.11 für den HP-41 als Eingangswerte aufgeführt. Mit ihnen und den anderen Eingangswerten sollen nun mit dem Vierwinkel-Zurodnungs-Programm die Abmessungen des Zweit-Gelenkvierecks zur Anpassung an das Gesetz der quadratischen Parabel berechnet werden.

Tabelle 3.10/41 Eingangs- und Ergebniswerte des Fördergetriebes nach Bild 3.5

VIER-WINKEL ZUORDNUNG			=====		
PHI*			PHI*,PSI*,A,BD		
				-50.0000	***
	-50.0000	***		-92.6051	***
PHI:12,13,14,15				58.7323	***
	10.3187	***		0.8430	***
	26.5173	***	A,B,C,D,S		
	36.6829	***		58.7323	***
	40.0000	***		11.7472	***
PSI:12,13,14,15				38.0993	***
	7.5000	***		30.0000	***
	30.0000	***		1.0000	***
	52.5000	***	MUE:1-2-3-4-5		
	60.0000	***		123.5570	***
D,D-PHI				93.0664	***
	30.0000	***		58.1649	***
	0.0000	***		41.6116	***
A*,D-A,A-MAX				37.4659	***
	1.0000	***	MUE:6-7		
	10.0000	***		-2.3997	***
	80.0000	***		131.2661	***
PHI:16,17			MUE:I-A		
	130.0000	***		31.4029	***
	-2.0000	***		-7.0202	***
-.-.-.-..			=====		

Tabelle 3.11/41 Eingangs- und Ergebniswerte zweier Fördergetriebe nach der Struktur des Bildes 3.6 für unterschiedliche Kurbellängen a

VIER-WINKEL ZUORDNUNG			=====			=====		
PHI*			PHI*,PSI*,A,BD			PHI*,PSI*,A,BD		
	10.0000	***		10.0000	***		10.0000	
PHI:12,13,14,15				49.6981	***		37.5237	
	10.3187	***		9.0051	***		19.0072	
	26.5173	***		0.7946	***		0.6341	
	36.6829	***	A,B,C,D,S			A,B,C,D,S		
	40.0000	***		9.0051	***		19.0072	
PSI:12,13,14,15				23.3712	***		18.0701	
	7.5000	***		3.4259	***		8.4409	
	30.0000	***		30.0000	***		30.0000	
	52.5000	***		1.0000	***		1.0000	
	60.0000	***	MUE:1-2-3-4-5			MUE:1-2-3-4-5		
D,D-PHI				47.1256	***		31.6771	
	30.0000	***		58.5535	***		47.5308	
	5.0000	***		86.0299	***		79.9868	
A*,D-A,A-MAX				109.1293	***		105.4216	
	6.0000	***		118.2699	***		115.3153	
	10.0000	***	MUE:6-7			MUE:6-7		
	80.0000	***		-5.2272	***		-5.6944	
PHI:16,17				45.6678	***		29.3743	
	130.0000	***	MUE:I-A			MUE:I-A		
	-2.0000	***		42.9748	***		24.7947	
-.-.-.-..				-6.0166	***		-6.5691	
			=====			=====		

Für diese Aufgabe ergeben sich zwei Lösungsfelder, nämlich mit  $\varphi^* = -50^\circ$  (Tabelle 3.10/41 bzw. Tabelle 3.13/85) und mit  $\varphi^* = 10^\circ$  (Tabelle 3.11/41 bzw. Tabelle 3.14/85). Das Getriebe für  $\varphi^* = -50^\circ$  ist im Bild 3.5 dargestellt. Das Zweit-Gelenkviereck hat mit  $\mu_5 = 37,4662^\circ$  als kleinstem Übertragungswinkel ein gutes Laufverhalten, die Winkel  $\mu_6$ ,  $\mu_7$ ,  $\mu_i$ ,  $\mu_a$  können unberücksichtigt bleiben, da das Gelenkviereck gar nicht in diese Bereiche bewegt wird. Der Winkel  $\epsilon = -178,1036^\circ$  als Verbindungswinkel zwischen den beiden Gelenkvierecken gilt für  $d_I$  und  $d_{II}$  in gestreckter Lage, er errechnet sich aus der Anfangslage von  $c_I$  und  $\varphi^* = -50^\circ$ .

**85** Für den HP-85 sind die entsprechenden Ergebnisse in Tabelle 3.13/85 und Tabelle 3.14/85 zusammengestellt.

Für  $\varphi^* = 10^\circ$  gibt es nach Tabelle 3.11/41 bzw. 3.14/85 sogar zwei Lösungen, nämlich mit  $a = 9,0051$  und  $a = 19,0072$ . Die zweite ist der ersten wegen größerem  $c$  (3,4259 : 8,4409) vorzuziehen, obwohl dies kein absoluter Hinderungsgrund zu sein braucht; denn alle Abmessungen sind Verhältniszahlen, und bei maßstäblicher Veränderung des Gesamtgetriebes bleiben bekanntlich alle Übertragungs-Gesetzmäßigkeiten erhalten. Das erste Gelenkviereck hat sogar den günstigeren Kleinst-Übertragungswinkel ( $\mu_1 = 47,1256^\circ \div \mu_1 = 31,6771^\circ$ ). Im Bild 3.6 ist das Getriebe für  $\varphi^* = 10^\circ$  dargestellt.

**Tabelle 3.13/85** Eingangswerte und mit dem HP-85 ermittelte Ergebnisse für  $\varphi^* = -50^\circ$

**VIER-WINKEL-ZUORDNUNG**  
=====

**Ergebnisse:**

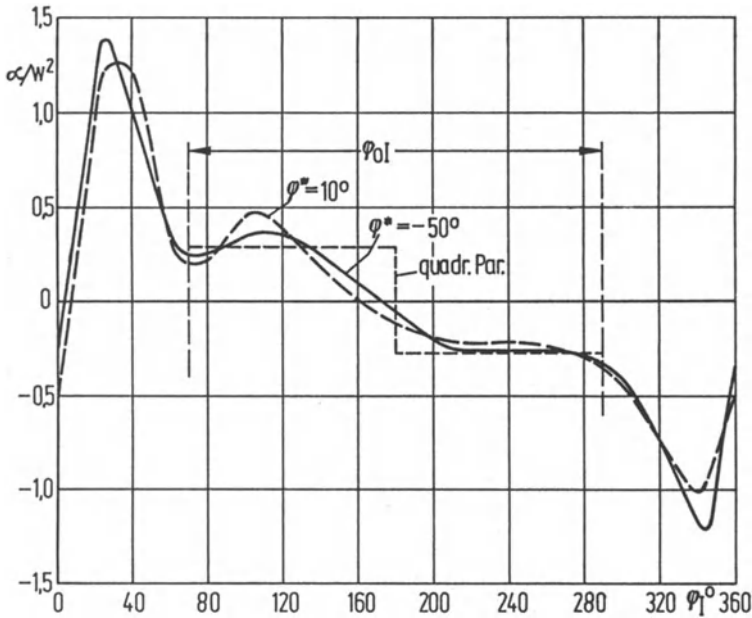
**Eingangswerte:**

```
Phi(*) = -50.0000
Phi(12) = 10.3187
Phi(13) = 26.5173
Phi(14) = 36.6829
Phi(15) = 40.0000
Psi(12) = 7.5000
Psi(13) = 30.0000
Psi(14) = 52.5000
Psi(15) = 60.0000
d = 30.0000
DeltaPhi = 0.0000
a(*) = 1.0000
Delta-a = 10.0000
a(max) = 80.0000
Phi(16) = 130.0000
Phi(17) = -2.0000
```

```
Phi(*) = -50.0000
Psi(*) = -92.6051
a = 58.7323
B = .8430
a = 58.7323
b = 11.7472
c = 38.0993
d = 30.0000
s = 1.0000
MU(1) = 123.5570
MU(2) = 93.0664
MU(3) = 58.1649
MU(4) = 41.6116
MU(5) = 37.4659
MU(6) = 999.9999
MU(7) = 131.2661
MU(i) = 31.4029
MU(a) = 999.9999
```

Tabelle 3.14/85 Eingangswerte und mit dem HP-85 ermittelte Ergebnisse für  $\varphi^* = 10^\circ$ 

VIER-WINKEL-ZUORDNUNG =====		Ergebnisse:	
Eingangswerte:		Phi(*) =	10.0000
Phi(*) =	10.0000	Psi(*) =	49.7142
Phi(12) =	10.3187	a =	9.0051
Phi(13) =	26.5137	B =	.7966
Phi(14) =	36.6829	a =	9.0051
Phi(15) =	40.0000	b =	23.3699
Psi(12) =	7.5000	c =	3.4251
Psi(13) =	30.0000	d =	30.0000
Psi(14) =	52.5000	s =	1.0000
Psi(15) =	60.0000	MÜ(1) =	47.1414
d =	30.0000	MÜ(2) =	58.5700
DeltaPhi =	5.0000	MÜ(3) =	86.0438
a(*) =	6.0000	MÜ(4) =	109.1582
Delta-a =	10.0000	MÜ(5) =	118.3034
a(max) =	80.0000	MÜ(6) =	999.9999
Phi(16) =	130.0000	MÜ(7) =	45.6836
Phi(17) =	-2.0000	MÜ(i) =	42.9906
-----		MÜ(a) =	999.9999
		-----	
		Ergebnisse:	
		Phi(*) =	10.0000
		Psi(*) =	37.5321
		a =	19.0072
		B =	.6350
		a =	19.0072
		b =	18.0681
		c =	8.4394
		d =	30.0000
		s =	1.0000
		MÜ(1) =	31.6848
		MÜ(2) =	47.5402
		MÜ(3) =	79.9942
		MÜ(4) =	105.4452
		MÜ(5) =	115.3435
		MÜ(6) =	999.9999
		MÜ(7) =	29.3818
		MÜ(i) =	24.8020
		MÜ(a) =	999.9999
		-----	
		Phi(*)-Ende	10.0000
		-----	



**Bild 3.7** Annäherung der beschleunigungsgünstigen Bewegungsgesetze nach den Bildern 3.5 und 3.6 an das beschleunigungsgünstigste Gesetz der quadratischen Parabel

Im Bild 3.7 wird gezeigt, wie weit durch die Vierwinkel-Zuordnung eine Anpassung an das geforderte Gesetz der quadratischen Parabel erreicht werden konnte. Die bezogenen Beschleunigungen sind über dem Kurbelwinkel  $\varphi_I$  aufgetragen. Im Bereich des vorgeschriebenen Gleichlauf-Kurbelwinkels  $\varphi_{0I}$  verläuft die Beschleunigung der quadratischen Parabel, wie gezeigt, in Rechteckform. Die Beschleunigungsverläufe für die beiden Gesamtgetriebe mit den Zweit-Gelenkvierecken  $\varphi^* = -50^\circ$  und  $\varphi^* = 10^\circ$  gleichen sich unterschiedlich an den Soll-Verlauf an.

Um Vergleichswerte für die Beschleunigungen zu schaffen, wurde der Beschleunigungsgrad  $\delta_\alpha$  mit dem Bezugsmaß  $\delta_\alpha^* = 1$  der quadratischen Parbel eingeführt. Es ist [3]:

$$\delta_\alpha = \frac{\alpha_{\max} \cdot \varphi_0^2 \cdot \pi}{\psi_0 \cdot 720} \quad (3.31)$$

mit  $\alpha_{\max}$  als der größten Beschleunigung im vorgegebenen, durch den Kurbelwinkel  $\varphi_0$  begrenzten Bewegungsbereich, mit  $\varphi_0$  selbst und mit dem Schwingwinkel  $\psi_0$  des Abtriebsgliedes, hier also  $\varphi_{0I} = 220^\circ$  und  $\psi_{0II} = 60^\circ$ . Für  $\varphi^* = -50^\circ$  ergibt sich  $\alpha_{\max} = 0,355$ , für  $\varphi^* = 10^\circ$  ist  $\alpha_{\max} = 0,47$ , damit für  $\varphi^* = -50^\circ$  ein  $\delta_\alpha = 1,28$  und für  $\varphi^* = 10^\circ$  ein  $\delta_\alpha = 1,72$ , also  $\delta_\alpha = 1,0$  der quadratischen Parabel als kleinstmöglichem Wert zugeordnet.

Um Vergleichswerte zu erhalten, seien die  $\delta_\alpha$ -Werte für verschiedene, allgemein verwendete Übergangskurven angeführt:

Einfache Sinoide (harmonische Bewegung):	$\delta_\alpha = 1,248$
Geneigte Sinoide:	$\delta_\alpha = 1,57$
5. Potenzkurve:	$\delta_\alpha = 1,443$
Beschleunigungstrapez:	$\delta_\alpha = 1,222$



Die hier für sechsgliedrige Getriebe erreichten Beschleunigungswerte sind also durchaus akzeptabel, und es lohnt sich, beim Einsatz von Gelenkgetrieben mehr als bisher die Maximalbeschleunigungen herabzusetzen.

### 3.4.3 Hebebühne für Geradföhrungs-Hub

Gelenkgetriebe bewegen sich im allgemeinen mit einem sich stetig veränderlichen Übersetzungsverhältnis, sie sind deshalb ungleichmäßig übersetzende Getriebe. Wegen ihrer besonderen Eigenschaften, große Kräfte bei kleinen Abmessungen übertragen zu können und Übertragungsgenauigkeiten bei geringen Abnutzungen mit langen Standzeiten einzuhalten, werden sie aber auch insbesondere für Schwingbewegungen gern zur Übertragung gleichmäßiger Bewegungen eingesetzt. Abgesehen von einigen Sonderbauformen können sie allerdings nur mit mehr oder weniger Annäherung gleichmäßig übersetzen.

Eine besondere Bedeutung spielt das konstante Übersetzungsverhältnis  $i = -1$ , wenn also An- und Abtriebsglied sich um gleiche, aber entgegengesetzte Winkel drehen.

**41** Mit dem Vier-Winkel-Programm wurde zunächst versucht, für das Gelenkviereck die etwa größte, gleichmäßige Winkelübertragung  $i = -1$  bei günstigen Übertragungswinkeln abzutasten. Nach Tabelle 3.12/41 wurde ein Gesamt-Antriebswinkel  $\varphi_{15} = 100^\circ$  vorgegeben, und dafür ergaben sich günstige Abmessungen und noch befriedigende Übertragungsgüte.

**Tabelle 3.12/41** Berechnung eines Gelenkvierecks für das angenähert konstante Übersetzungsverhältnis  $i = -1$  für eine Hebebühne in verhältnismäßig großem Bewegungsbereich

VIER-WINKEL ZUORDNUNG			=====		
PHI*			PHI*, PSI*, A, BD		
			-105.0000	***	
	-105.0000	***	167.7332	***	
PHI: 12, 13, 14, 15			35.1712	***	
	25.0000	***	1.4147	***	
	50.0000	***	A, B, C, D, S		
	75.0000	***	35.1712	***	
	100.0000	***	86.2641	***	
PSI: 12, 13, 14, 15			34.1019	***	
	-25.0000	***	100.0000	***	
	-50.0000	***	1.0000	***	
	-75.0000	***	MUE: 1-2-3-4-5		
	-100.0000	***	139.1905	***	
D, D-PHI			103.8769	***	
	100.0000	***	76.2132	***	
	0.0000	***	53.9880	***	
A*, D-A, A-MAX			41.9625	***	
	1.0000	***	MUE: 6-7		
	10.0000	***	41.9625	***	
	80.0000	***	162.3113	***	
PHI: 16, 17			MUE: I-A		
	110.0000	***	41.5711	***	
	-10.0000	***	-1.6430	***	
-----			=====		

<b>85</b>	Die mit dem HP-85 ermittelten Ergebnisse sind in Tabelle 3.15/85 aufgelistet.
-----------	---

**Tabelle 3.15/85** HP-85-Ergebnisse zur Hebebühne für Geradführungshub

**VIER-WINKEL-ZUORDNUNG**  
=====

**Ergebnisse:**

**Eingangswerte:**

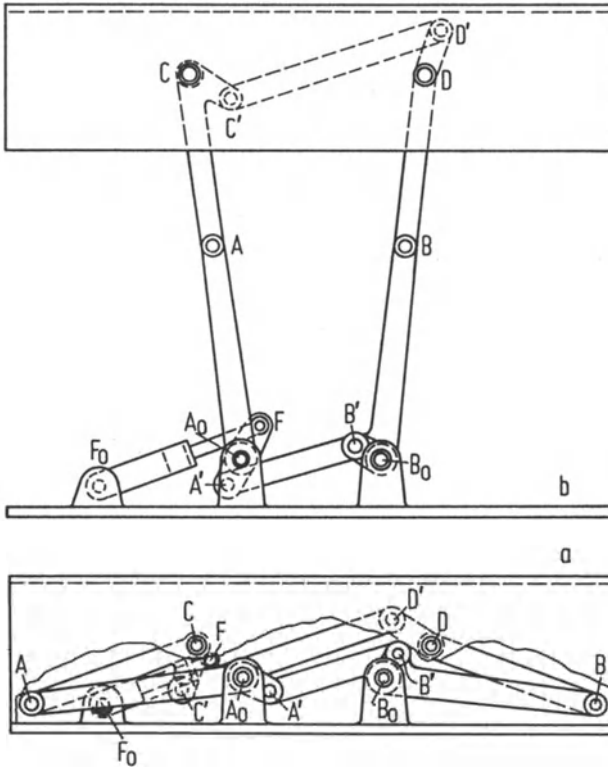
```
Phi(*) = -105.0000
Phi(12) = 25.0000
Phi(13) = 50.0000
Phi(14) = 75.0000
Phi(15) = 100.0000
Psi(12) = -25.0000
Psi(13) = -50.0000
Psi(14) = -75.0000
Psi(15) = -100.0000
d = 100.0000
DeltaPhi = 0.0000
a(*) = 1.0000
Delta-a = 10.0000
a(max) = 80.0000
Phi(16) = 110.0000
Phi(17) = -10.0000
```

```
Phi(*) = -105.0000
Psi(*) = 167.7332
a = 35.1712
B = 1.4147
a = 35.1712
b = 86.2641
c = 34.1019
d = 100.0000
s = 1.0000
Mü(1) = 139.1905
Mü(2) = 103.8769
Mü(3) = 76.2132
Mü(4) = 53.9880
Mü(5) = 41.9625
Mü(6) = 999.9999
Mü(7) = 162.3113
Mü(i) = 41.5711
Mü(a) = 999.9999
```

Bild 3.8 zeigt eine mit Hydraulik-Zylinder angetriebene Hebebühne, die zwei gleiche Gelenkvierecke  $A_0A'B'B_0$  und  $CC'D'D$  in symmetrischer Anordnung aufweist, beide mit freien Schenkeln in den Gelenken A und B miteinander verbunden. Da in beiden Gelenkvierecken durch  $i = -1$  die Hebel  $A_0A$  und  $B_0B$  sowie CA und DB sich genau entgegengesetzt zueinander drehen, entsteht eine sich angenäherte Gerad-Senkrechtbewegung der Ladefläche. Je größer der  $i = -1$ -Bereich in den Teilgetrieben ist, um so höher kann die Ladefläche gehoben werden. Im eingefahrenen Zustand können sämtliche Hebel auf beachtlich kleinem Raum untergebracht werden.

### 3.4.4 Mittenzentrierende Spannvorrichtung

Die Funktion  $y = -x$  läßt sich in kleineren Winkelbereichen mit beachtlicher Genauigkeit von Gelenkvierecken realisieren. Nach Tabelle 3.13/41 bzw. Tabelle 3.16/85 wurde ein Bewegungsbereich von  $\varphi_{15} = 12^\circ$  zugrunde gelegt. Bei  $\varphi^* = -37,35^\circ$  (interpoliert!) ergibt sich eine Restabweichung der Kreismittelpunkte von  $B = 0,006$  mit einer Bezugs-Gestelllänge von  $d = 80$ , das sind also nur 0,0075 %. Eine Nachrechnung im vorgeschriebenen 120-Bereich ergibt die Übersetzungsverhältnisse  $i_{\max} = -1,00052$  und  $i_{\min} = -0,999246$ . Wenn  $i = -1$  als Sollmaß gilt, ergeben sich Abweichungen von  $\delta = +0,052\%$  und  $\delta = -0,075\%$ . Wenn die Abweichungen auf die Winkelabweichungen bezogen werden, ergeben sich so geringe Fehler, daß die Fehler, die durch die zulässigen Toleranzen entstehen, diese Abweichungen überdecken.



**Bild 3.8**

Hebebühne mit Gelenkviereck-  
führung zur Parallel-Senkrecht-  
bewegung, Ausnutzung des  
angenähert konstanten Über-  
setzungsverhältnisses  $i = -1$

**Tabelle 3.13/41** Berechnung eines Gelenkvierecks als Spannvorrichtung für sehr genaue Übersetzungs-Konstanz  $i = -1$  in kleinem Bewegungsbereich

VIER-WINKEL ZUORDNUNG			=====		
PHI*			PHI*, PSI*, A, B, D		
			-37.3500	***	
	-37.3500	***	153.8645	***	
PHI: 12, 13, 14, 15			34.1492	***	
	3.0000	***	0.0060	***	
	6.0000	***	A, B, C, D, S		
	9.0000	***	34.1492	***	
	12.0000	***	42.0890	***	
PSI: 12, 13, 14, 15			34.1451	***	
	-3.0000	***	80.0000	***	
	-6.0000	***	1.0000	***	
	-9.0000	***	MUE: 1-2-3-4-5		
	-12.0000	***	95.6970	***	
D, D-PHI			92.3487	***	
	80.0000	***	89.2549	***	
	0.0000	***	86.4144	***	
A*, D-A, A-MAX			83.8294	***	
	1.0000	***	MUE: 6-7		
	10.0000	***	85.5242	***	
	60.0000	***	98.0732	***	
PHI: 16, 17			MUE: I-A		
	10.0000	***	73.1100	***	
	-2.0000	***	-3.5114	***	
-----			=====		

Tabelle 3.16/85 HP-85-Ergebnisse für eine mittenzentrierende Spannvorrichtung

VIER-WINKEL-ZUORDNUNG  
=====

## Ergebnisse:

## Eingangsweite:

```

Phi(*) = -37.3500
Phi(12) = 3.0000
Phi(13) = 6.0000
Phi(14) = 9.0000
Phi(15) = 12.0000
Psi(12) = -3.0000
Psi(13) = -6.0000
Psi(14) = -9.0000
Psi(15) = -12.0000
d = 80.0000
DeltaPhi = 0.0000
a(*) = 1.0000
Delta-a = 10.0000
a(max) = 60.0000
Phi(16) = 10.0000
Phi(17) = -2.0000

```

```

Phi(*) = -37.3500
Psi(*) = 153.8592
a = 34.1482
B = .0057
a = 34.1482
b = 42.0921
c = 34.1441
d = 80.0000
s = 1.0000
Mü(1) = 95.6941
Mü(2) = 92.3460
Mü(3) = 89.2524
Mü(4) = 86.4121
Mü(5) = 83.8273
Mü(6) = 85.5219
Mü(7) = 98.0700
Mü(i) = 73.1086
Mü(a) = 999.9999

```

Die Übertragungswinkel nach Tabelle 3.13/41 bzw. 3.16/85 sind im Sollbereich so günstig, daß ein solches Gelenkviereck nach oben und unten wesentlich weiter bewegt werden kann, wobei hier das Übersetzungsverhältnis zwar höhere Abweichungen von  $-1$  aufweist, aber für gewisse Zwecke immer noch genügen kann.

Als Anwendungsbeispiel für dieses hochgenaue Getriebe ist im Bild 3.9 eine Spannvorrichtung gezeigt, die quaderförmige Werkstücke  $W$  mit wechselnder Einspannbreite  $t$  genau symmetrisch zur Mittelachse spannt, so daß die einzubringende Bohrung auch die genaue Lage in  $W$  einnimmt.

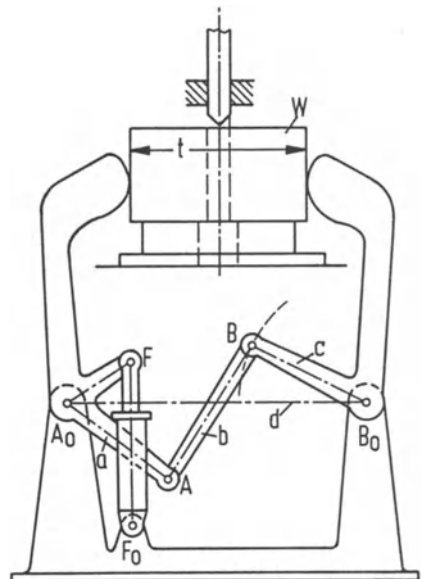


Bild 3.9

Spannvorrichtung mit genauer Mitten-Zentrierung  
in veränderlichem Spannbereich

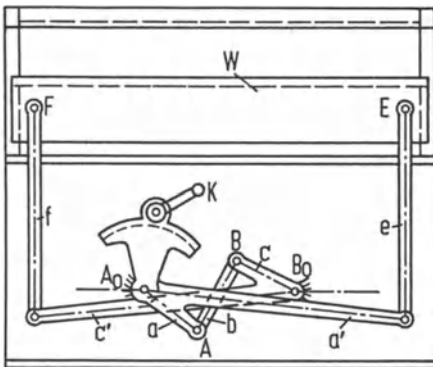
Bei den Abmessungen des Gelenkvierecks, Tabelle 3.13/41 bzw. 3.16/85, fällt auf, daß mit  $a = 34,1492$  und mit  $c = 34,1451$  eine Getriebesymmetrie vorhanden ist, die aber nur für kleine Bewegungsbereiche mit Annäherungen angenommen werden kann. Den größeren Einfluß hat jedoch die Koppellänge  $b (= 42,0890)$ , bzw. deren Verhältnis zur Gestellänge  $d (= 80)$ . Die Symmetrie zwischen  $a$  und  $c$  ist bei größeren Bewegungsbereichen nicht mehr gegeben, die Verzerrungen in „ungleichmäßig übersetzenden“ Gelenkvierecken üben hier einen größeren Einfluß aus.

### 3.4.5 Verklemmungsfreie Schubführungen großer Breite

Das Funktions-Gelenkviereck für die Funktion  $y = -x$  kann wegen der (Gegen-) Symmetrie der Drehbewegungen von  $a$  und  $c$  noch für eine Reihe weiterer Nutzanwendungen vorgesehen werden, z.B. für die Herabsetzung der Klemmgefahr bei breiten aber kurzen Führungen.

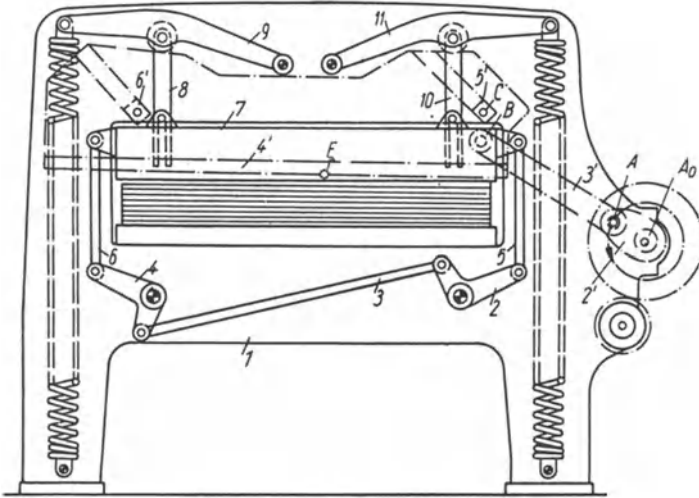
Nach Bild 3.10 soll ein Lüftungsfenster  $W$  im Verhältnis zu seiner Breite nur ein kurzes Stück in seiner Führung bewegt werden. Aus Raum-Ersparnisgründen wird man deshalb auch die Fenster-Führung nur kurz gestalten, was aber zu recht unliebsamen Verklemmungen führen kann. Eine wirksame Hilfe kann hier ein Gelenkviereck mit der Funktion  $y = -x$  leisten. Mit dem Hebel  $a$  ist ein Führungshebel  $a'$ , mit dem Hebel  $c$  ein zweiter Führungshebel  $c'$ , beide in Symmetrie zueinander, fest verbunden. Beide Führungshebel sind mit den Koppeln  $e$  und  $f$  mit dem Fenster  $W$  gelenkig verbunden, das nun bei guter Dichtung mit verhältnismäßig großem Spiel seitlich nur noch gesichert, aber nicht mehr „geführt“ zu werden braucht. Der Verschiebe-Mechanismus kann z.B. mit Hilfe einer Zahnsegment-Ritzel-Übersetzung von einer Handkurbel  $K$  aus angetrieben werden.

Das gleiche Prinzip wird bei einer Papierschneide-Maschine, Bild 3.11, verwendet. Es kommt hier nur auf die Bewegung des Preßhebels 7 an, der bei großer Breite und geringer Schubbewegung große Kräfte ausüben muß. Der Antrieb der Maschine erfolgt von der Kurbel 2' über die Koppel 3' auf das Messer 4', das die Preßhebel 9 und 11 beim Aufwärtsgang nach oben mitnimmt. Der Preßhebel 7 wird in einer Führung gehalten, die Verkantungsfreiheit sichern die Hebel 5 und 6, die in einem ( $y = -x$ ) Gelenkviereck 1-2-3-4 symmetrisch angelenkt sind [4].



**Bild 3.10**

Verklemmungsfreie Fensterführung durch ein Gelenkviereck mit angenähert konstantem Übersetzungsverhältnis  $i = -1$



**Bild 3.11** Verklemmfreie Messerbalkenführung durch ein Gelenkviereck mit angenähert konstantem Übersetzungsverhältnis  $i \approx -1$

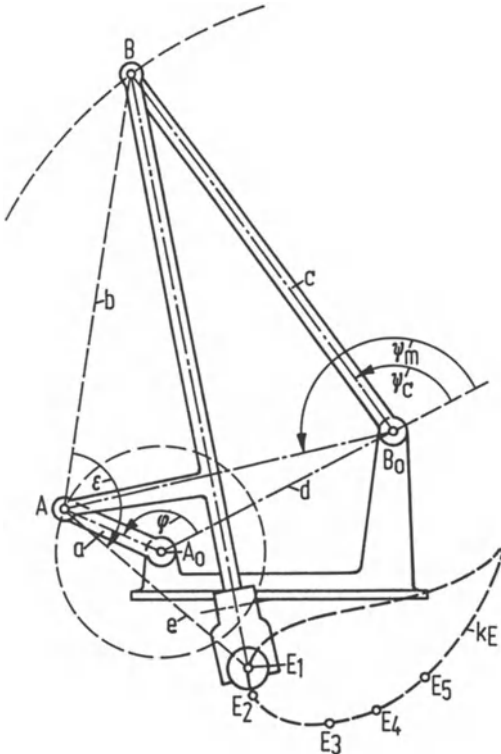
### 3.5 Literaturverzeichnis

- [1] Alt, H.: Die Konstruktion der in der Getriebelehre benutzten Mittelpunktkurven, ZAMM 9 (1929), S. 423/425
- [2] Hain, K.: Grenzen der Gelenkviereck-Funktionsgetriebe mit vermehrten Entwurfsfreiheiten, Feinwerktechnik und Meßtechnik 88 (1980), H. 5, S. 242/250
- [3] Getriebe für Hub- und Schwingbewegungen, Richtlinie VDI 2130, Düsseldorf 1983, VDI-Verlag
- [4] Hain, K.: Getriebelehre, Grundlagen und Anwendungen, Hanser-Verlag, München 1963.

## 4 Der rechnerische Getriebeentwurf zur Erzeugung gegebener Bahnkurven

### 4.1 Die Koppelkurven des Gelenkvierecks

Das einfachste Gelenkgetriebe, das Gelenkviereck, ist in der Lage, außerordentlich formvielfältige Koppelkurven zu erzeugen. Dieses Getriebe besteht nach Bild 4.1 aus dem Gestell  $A_0B_0 = d$ , der Kurbel  $A_0A = a$ , der Koppel  $AB = b$  und der Schwinde  $B_0B = c$ . Wenn die Abmessungen dem Grashof'schen Satz [4.1] entsprechen (Summe aus kürzestem und längstem Glied kleiner als Summe aus den beiden restlichen Gliedern) und Kurbel  $a$  kürzestes Glied ist, kann diese Kurbel  $a$  umlaufen, das andere im Gestellpunkt  $B_0$  gelagerte Glied  $c$  schwingt hin und her, das Getriebe heißt *Kurbelschwinge*. Wenn  $a$  und  $c$  umlaufen sollen, muß Gestell  $d$  kürzestes Glied sein, es entsteht die *Doppelkurbel*. Wenn der Grashof'sche Satz nicht erfüllt ist, entstehen die „totalschwingenden“ *Gelenkvierecke*, im gesamten Mechanismus kann kein Glied relativ zu einem anderen umlaufen [4.2].



**Bild 4.1**

Grundlagen zur Berechnung eines Gelenkvierecks für 5 Genaupunkte auf einer gegebenen Bahnkurve

In allen Gelenkviereck-Strukturen beschreiben aber die Punkte  $E_i$  der Koppel  $b$  stark formunterschiedliche Kurven  $k_E$  in Abhängigkeit von der Lage des Punktes  $E$  in der Koppelenebene  $b$ , gekennzeichnet z.B. durch die Polarkoordinaten  $\epsilon$  und  $e$ , und natürlich auch in Abhängigkeit von der Getriebestruktur. Die Koppelkurven  $k_E$  des Gelenkvierecks sind 6. Grades; deshalb sind sie in „geschlossenen“ Gleichungen nicht darstellbar.

Zur eindeutigen Kennzeichnung des Gelenkvierecks gehört nach Bild 4.1 noch die Angabe seines Bewegungsbereichs. Der „Zweischlag“ aus den beiden Gliedern  $b$  und  $c$  kann nämlich oberhalb der Diagonalen  $B_0A$  oder auch unterhalb liegen. Deshalb soll noch der Bewegungsbereich durch einen Bereichsfaktor  $s = \pm 1$  benutzt werden. Es ist  $s = +1$ , wenn nach Bild 4.1 der Winkel  $\psi_m > \psi_c$  ist (beide im Bereich 0 bis  $180^\circ$  gemessen). Bei  $\psi_m < \psi_c$  ist  $s = -1$ .

## 4.2 Koppelpunkt-Synthese mit Hilfe von Punktlagenreduktionen

Die eigentliche Getriebekonstruktion strebt Verfahren an, mit deren Hilfe für vorgegebene praktische Bedingungen ein oder eine Reihe gut geeigneter Getriebe unmittelbar berechnet werden kann. Im vorliegenden Fall ist also eine Bahnkurve auf Grund technologischer Vorschriften gegeben, und diese soll von dem Koppelpunkt eines Gelenkvierecks mit möglichst guter Annäherung erzeugt werden.

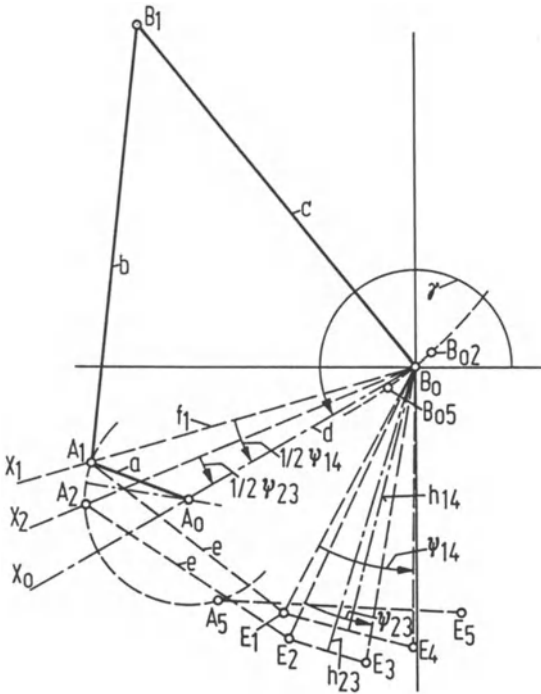
Da die Gelenkviereck-Koppelkurve eine Kurve 6. Grades ist, kann sie z.B. mit einem Kreis oder einer Geraden in höchstens sechs Punkten übereinstimmen, mit einer beliebigen Kurve unter systemgerechten Voraussetzungen in neun Punkten [4.3]. Es gibt aber noch keine Verfahren, diese neun Punkte als „Genaupunkte“ zu realisieren. Als „klassische“ Verfahren werden die Kreispunkt- und die Mittelpunktkurve empfohlen [4.3], womit jeweils unendlich viele Gelenkvierecke für vier, jedoch nur deren vier für fünf Genaupunkte gefunden werden können.

Mit Hilfe von *Punktlagenreduktionen*, die in einer von zwei möglichen Versionen hier zugrunde gelegt werden sollen [4.3, 4.4], können  $\infty^2$  Gelenkvierecke (das sind unendlich viele Gelenkvierecke für fünf Genaupunkte mit noch zwei freien Parametern) für fünf Genaupunkte gefunden werden. Diese fünf Punkte dienen als Grundlage des hier benutzten Verfahrens zur Aufstellung eines Rechenprogramms, und als besonderer Vorzug soll herausgestellt werden, daß willkommene Auswahlmöglichkeiten, z.B. zum Erzeugen eines günstigen Laufverhaltens oder einer guten Anpassung an den zur Verfügung stehenden Einbauraum, offen bleiben.

Das Rechenprogramm beruht auf der „Zeichnungsfolge-Rechenmethode“, nämlich auf dem rechnerischen Nachvollzug eines graphischen Verfahrens, womit die Vorzüge der graphischen und rechnerischen Verfahren gut miteinander in Einklang gebracht werden können. Diese Vorzüge sind: gute Übersicht in jeder Zwischenphase und Nachprüfmöglichkeit für jede der aufeinanderfolgenden Gleichungen, vor allem aber die hohe rechnerische Genauigkeit. Bei einem Rechenprogramm, das alle Variationen abdeckt, ist auch die Sorgfalt, wie sie bei graphischen Verfahren unbedingt vorausgesetzt werden muß, überhaupt nicht mehr erforderlich.

Nach Bild 4.2 soll zunächst das graphische Verfahren [4.4, 4.5] erläutert werden. Nach den Angaben des Bildes 4.1 sollen die fünf Punktlagen  $E_1$  bis  $E_5$  vom Koppelpunkt  $E$  nacheinander genau durchlaufen werden. Als erstes nimmt man zwei Punktpaare, z.B.



**Bild 4.2**

Konstruktion der Kurbel-Symmetri-lagen als Voraussetzung für Punktlagenreduktionen

$E_1 - E_4$  und  $E_2 - E_3$ , so an, daß das eine in der Punktfolge das andere umschließt. Hier liegen also die Punkte  $E_2$  und  $E_3$  zwischen den Punkten  $E_1$  und  $E_4$ . Man bringt die beiden Mittelsenkrechten  $h_{14}$  und  $h_{23}$  der Verbindungsgeraden  $E_1 E_4$  und  $E_2 E_3$  zum Schnitt  $B_0$ . Damit ergeben sich die Winkel  $\angle E_1 B_0 E_4 = \psi_{14}$  und  $\angle E_2 B_0 E_3 = \psi_{23}$ .

Mit Annahme eines beliebigen Achsenkreuzes zeichnet man mit beliebig angenommenem Winkel  $\gamma$  den Strahl  $B_0 X_0$  und mit  $1/2 \psi_{14}$  und  $1/2 \psi_{23}$  in der angegebenen Richtung nach Bild 4.2 die Strahlen  $B_0 X_1$  und  $B_0 X_2$ . Auf  $B_0 X_1$  nimmt man mit  $B_0 A_1 = f_1$  einen beliebigen Punkt  $A_1$  an, womit sich die Entfernung  $E_1 A_1 = e$  ergibt. Der Kreis um  $E_2$  mit  $e$  als Radius schneidet den Strahl  $B_0 X_2$  in  $A_2$ , und die Mittelsenkrechte auf  $A_1 A_2$  schneidet den Strahl  $B_0 X_0$  in  $A_0$ , und hiermit sind schon die Gliedlängen  $A_0 A_1 = a$  und  $B_0 A_0 = d$  bekannt.

Der Kreis um  $A_0$  durch  $A_1$  und  $A_2$  mit dem Radius  $a$  wird von dem Kreisbogen um  $E_5$  mit  $e$  als Radius in  $A_5$  geschnitten. Nun macht man die Dreieckskonstruktionen  $\triangle A_1 E_1 B_{02} = \triangle A_2 E_2 B_0$  und  $\triangle A_1 E_1 B_{05} = \triangle A_5 E_5 B_0$ , und man findet die Punkte  $B_{02}$  und  $B_{05}$ . Zum Schluß zeichnet man den einzig möglichen Kreis durch die drei Punkte  $B_0, B_{02}, B_{05}$ , und dessen Mittelpunkt bestimmt nun die Lage  $B_1$  des Gelenkes B (vgl. Bild 4.1), womit alle fehlenden Abmessungen des Gelenkvierecks bekannt sind. Das Kennzeichnen der Punktlagenreduktionen besteht darin, daß die Lagen 4 und 3, die symmetrisch zu den Lagen 1 und 2 liegen, bei der Konstruktion vollkommen vernachlässigt werden können. Die Genaupunkte  $E_4$  und  $E_3$  werden in jedem Falle durchlaufen. Die Aufgabe, durch fünf Punkte einen Kreis zeichnen zu müssen, ist also auf einen Kreis durch nur drei Punkte zurückgeführt worden. In den folgenden Rechenprogrammen wird auch

die Möglichkeit geboten, anstatt von fünf Genaupunkten nur deren vier zu erfüllen und dafür einen sehr wertvollen zusätzlichen freien Parameter zu erhalten. Auf entsprechende Einzelheiten soll später eingegangen werden.

Das graphische Verfahren nach Bild 4.2 nutzt zunächst recht einfach und übersichtlich aus, was auf der Fähigkeit des menschlichen Auges beruht: die Lage bestimmter Punkte relativ zueinander schnell und reihenfolgerichtig einzuordnen. Aus der Konstruktionsbeschreibung geht auch hervor, daß mehrfach Kreise und Geraden zum Schnitt gebracht werden müssen. In den Rechenprogrammen müssen aber die geometrischen Grundlagen beachtet werden, daß es nämlich immer je zwei solcher Schnittpunkte geben kann und daß die reellen Lösungen nur allein zu brauchbaren Ergebnissen führen. Wenn es keinen Schnittpunkt gibt, muß der Rechner dies vermerken. Das gilt auch für den Sonderfall, daß es nur einen Berührungspunkt gibt. Die Mehrdeutigkeiten müssen durch entsprechende Algorithmen eingeplant werden. Hinzu kommen aber noch Gesichtspunkte, die von der reinen Getriebetheorie noch gar nicht geklärt werden konnten, nämlich ob die vorgeschriebenen E-Punkte überhaupt und vor allem in der verlangten Reihenfolge vom Koppelpunkt eines Gelenkvierecks erzeugt werden können. Der Rechner sollte aber Fragen nach der Güte der Bewegungsübertragung und nach der Struktur des Gelenkvierecks beantworten können.

Solche Probleme sind bisher nur zaghaft in Angriff genommen worden. Sie lassen sich naturgemäß mit um so geringerem Rechenaufwand lösen, je mehr man den Dialog zwischen Konstrukteur und Rechner noch Raum zu geben bereit ist! Die letztere Entscheidung setzt nämlich voraus, daß der Konstrukteur fähig ist und vor allem Zeit genug findet, sich in Bewegungsprobleme seiner Getriebe tief genug einzufühlen.

Im folgenden soll versucht werden, den Benutzer der Programme weitgehend von den tieferen Getriebeproblemen dadurch zu entlasten, daß der Rechner selbst möglichst viele Entscheidungen ohne Einwirkungen von außen selbst trifft, daß er möglichst viele Zwischenergebnisse ausdruckt und daß dem Benutzer genügend viele und übersichtliche Anweisungen und Hinweise gegeben werden, in welcher Richtung sich neue Kennwert-Annahmen empfehlen.

### 4.3 Berechnungsgrundlagen und Programmbeschreibung

#### 4.3.1 Die fünf $B_0$ -Reduktionen

Den Kernpunkt des hier behandelten Verfahrens bildet die zweimalige Reduktion des Gestellpunktes  $B_0$  als Schnittpunkt zweier Mittelsenkrechten. Bei fünf Genaupunkten  $E_1$  bis  $E_5$  gibt es aber auch fünf Möglichkeiten einer solchen Reduktion. Diese Reduktionen sind in Bild 4.3 bis Bild 4.7 dargestellt. Mit  $B_{14-23}$ ,  $B_{15-23}$ ,  $B_{15-24}$ ,  $B_{15-34}$ ,  $B_{25-34}$  ist mit der ersten Doppelziffer das äußere E-Punktpaar gekennzeichnet, das in der gegebenen Reihenfolge das E-Punktpaar der zweiten Doppelziffer umschließt.

Mit einem Vor-Rechenprogramm sollen die Koordinaten dieser  $B_0$ -Punkte und die zugehörigen  $\psi$ -Winkel berechnet, für den Fortgang der Rechnung soll ein  $B_0$ -Punkt (gegebenfalls mehrere nacheinander) ausgewählt, seine Koordinaten und die  $\psi$ -Winkel gespeichert werden. Da die gleiche Rechnung fünfmal durchzuführen ist, empfiehlt sich die Aufstellung eines Unterprogramms, das jeweils mit anderen E-Koordinaten gespeist wird.

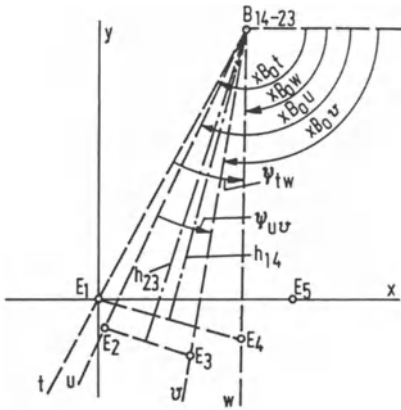


Bild 4.3

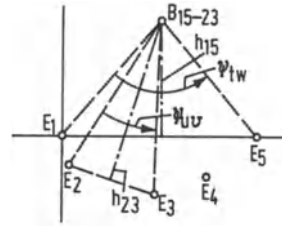


Bild 4.4

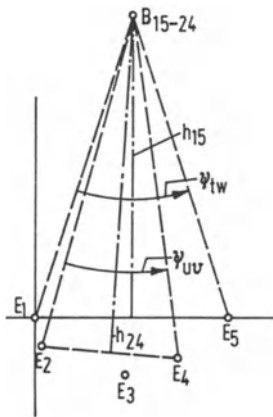


Bild 4.5

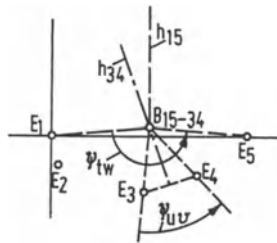


Bild 4.6

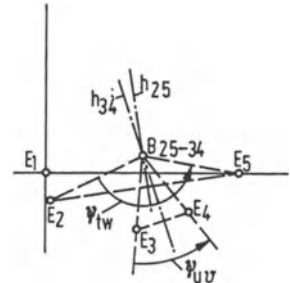


Bild 4.7

**Bild 4.3 bis 4.7** Die fünffachen Möglichkeiten der Erzielung von Punktlagenreduktionen für 5 Genaupunkte

E-Punkt-Paarungen:

**Bild 4.3:** 14–23

**Bild 4.4:** 15–23

**Bild 4.5:** 15–24

**Bild 4.6:** 15–34

**Bild 4.7:** 25–34

Die unmittelbare Aufgabenstellung besteht in der Erfüllung von 5 Genaupunkten, deren Koordinaten in einem beliebigen Achsenkreuz-System gegeben sind. In den Bildern 4.3 bis 4.7 werden willkürlich  $E_1$  als Ursprung und die Gerade  $E_1E_5$  als Abszisse vorgegeben. Das äußere Punktepaar erhält im Unterprogramm die Indizes  $tw$ , das innere Punktepaar die Indizes  $uv$ . Es sind also die Koordinaten  $x_t, y_t, x_w, y_w, x_u, y_u, x_v, y_v$  gegeben.

Das Unterprogramm *Mittelsenkrechten-Schnittpunkt* folgt der geometrischen Konstruktion. Zunächst werden die Mittelpunkt-Koordinaten der E-Geraden berechnet:

*Unterprogramm Mittelsenkrechten-Schnittpunkt*

HP-41: *Label 40* (siehe Tabelle 4.61)\*

HP-85: *Zeile 4000* (siehe Tabelle 4.71)\*

Die Gleichungen dafür sind:

$$\frac{x_t + x_w}{2} = x_{tw} \quad (4.1)$$

$$\frac{y_t + y_w}{2} = y_{tw} \quad (4.2)$$

$$\frac{x_u + x_v}{2} = x_{uv} \quad (4.3)$$

$$\frac{y_u + y_v}{2} = y_{uv} \quad (4.4)$$

Zur Berechnung der  $B_0$ -Schnittpunkte braucht man die Richtungs-Tangenten der Mittelsenkrechten:

$$\tan \left[ \arccos \frac{|x_w - x_t|}{x_w - x_t} + \arctan \frac{y_w - y_t}{x_w - x_t} + 90 \right] = m_{tw} \quad (4.5)$$

$$\tan \left[ \arccos \frac{|x_v - x_u|}{x_v - x_u} + \arctan \frac{y_v - y_u}{x_v - x_u} + 90 \right] = m_{uv} \quad (4.6)$$

**41** Mit Benutzung der RP-Taste des Rechners HP-41 genügen folgende Gleichungsansätze:

$$(y_w - y_t) \text{ ENTER } (x_w - x_t): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq + 90 = \tan = m_{tw} \quad (4.5/41)$$

$$(y_v - y_u) \text{ ENTER } (x_v - x_u): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq + 90 = \tan = m_{uv} \quad (4.6/41)$$

Zeile 4020:

**85** Für den HP-85 können die Gleichungen (4.5) und (4.6) mit der Anweisung ATN2(Y, X) programmiert werden:

$$m_{tw} \rightarrow M8 = \text{TAN}(\text{ATN2}(W2 - T2, W1 - T1) + 90) \quad (4.5/85)$$

$$m_{uv} \rightarrow M9 = \text{TAN}(\text{ATN2}(V2 - U2, V1 - U1) + 90) \quad (4.6/85)$$

Eine Referenzliste der Variablennamen ist in Tabelle 4.70 zu finden.

\*) Diese Tabellen finden Sie in den Abschnitten 4.6 bzw. 4.7.

Hiermit erhält man die  $B_0$ -Koordinaten  $x_0$  und  $y_0$ :

$$\frac{m_{tw} \cdot x_{tw} - m_{uv} \cdot x_{uv} + y_{uv} - y_{tw}}{m_{tw} - m_{uv}} = x_0 \quad (4.7)$$

$$m_{tw}(x_0 - x_{tw}) + y_{tw} = y_0 \quad (4.8)$$

Nach Bild 4.3 sollen nun die Winkel  $\psi_{tw}$  und  $\psi_{uv}$  berechnet werden, wenn die Winkel der Strahlen  $B_0t$ ,  $B_0w$ ,  $B_0u$ ,  $B_0v$  als Winkel zur x-Achse vorher bestimmt wurden:

$$\arccos \frac{|x_t - x_0|}{x_t - x_0} + \arctan \frac{y_t - y_0}{x_t - x_0} = \angle xB_0t \quad (4.9)$$

$$\arccos \frac{|x_w - x_0|}{x_w - x_0} + \arctan \frac{y_w - y_0}{x_w - x_0} = \angle xB_0w \quad (4.10)$$

$$\angle xB_0w - \angle xB_0t = \psi_{tw} \quad (4.11)$$

$$\arccos \frac{|x_u - x_0|}{x_u - x_0} + \arctan \frac{y_u - y_0}{x_u - x_0} = \angle xB_0u \quad (4.12)$$

$$\arccos \frac{|x_v - x_0|}{x_v - x_0} + \arctan \frac{y_v - y_0}{x_v - x_0} = \angle xB_0v \quad (4.13)$$

$$\angle xB_0v - \angle xB_0u = \psi_{uv} \quad (4.14)$$

41

Mit der Taste RP des HP-41 findet man:

$$(y_t - y_0) \text{ ENTER } (x_t - x_0): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq \angle xB_0t \quad (4.9/41)$$

$$(y_w - y_0) \text{ ENTER } (x_w - x_0): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq -\angle xB_0t = \psi_{tw} \quad (4.11/41)$$

$$(y_v - y_0) \text{ ENTER } (x_v - x_0): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq \angle xB_0v \quad (4.13/41)$$

$$-(y_u - y_0) \text{ ENTER } (x_u - x_0): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq +\angle xB_0v = \psi_{uv} \quad (4.14/41)$$

RETURN (Ende Label 40)

Zeile 4032:

85

Mit der Anweisung ATN2(Y, X) erhalten wir beim HP-85:

$$\psi_{tw} \rightarrow P8 = \text{ATN2}(W2 - Y0, W1 - X0) - \text{ATN2}(T2 - Y0, T1 - X0) \quad (4.11/85)$$

$$\psi_{uv} \rightarrow P9 = \text{ATN2}(V2 - Y0, V1 - X0) - \text{ATN2}(U2 - Y0, U1 - X0) \quad (4.14/41)$$

#### 4.3.2 Übersicht über fünffach unterschiedliche $B_0$ -Koordinaten

Wie bereits erwähnt, gibt es bei fünf gegebenen E-Punkten eine fünffache Auswahl der Paarungen. Über diese soll nun mit Hilfe des Unterprogramms *Mittelsenkrechten-Schnittpunkt* (Label 40 bzw. Zeile 4000) eine Übersicht mit Ausdruck der jeweiligen  $B_0$ -Koordinaten und der  $\psi$ -Winkel vom Rechner zur Verfügung gestellt werden.

Zunächst ist ein weiteres Unterprogramm für das Ausdrucken vorzusehen:

*Unterprogramm Ausdruck der  $B_0$ -Kennwerte*

41

*Label 39*

$x_{B_0}, y_{B_0}, \psi_{tw}, \psi_{uv}, \text{PRINT}$   
RETURN

85

*Zeile 3900*

DISP  $x_{B_0}, y_{B_0}, \psi_{tw}, \psi_{uv}$   
RETURN

Zur Schaffung einer allgemeinen Übersicht werden nacheinander sämtliche fünf Paarungsmöglichkeiten abgefragt, dann aber auch die Weitergabe an die nächstfolgenden Leitprogramme (Label 41 bis 45 beim HP-41 bzw. Startzeile 4100 bis 4500 beim HP-85) veranlaßt. Nach Durchlaufen des letzten Leitprogramms (Label 45 bzw. Startzeile 4500) stoppt der Rechner, um Gelegenheit zur Durchsicht und zum Vergleich in den Gesamt-Übersichtsprotokollen zu geben.

41

Zur Ermöglichung des Durchlaufs wird beim HP-41 ein Hilfsspeicher 1 =  $R_{09}$  benutzt. Wenn gilt  $0 = R_{09}$ , wird, wie später zu erläutern ist, nur ein Paarungsprogramm abgerufen.

85

Beim HP-85-Programm sind die verschiedenen Betriebsarten mit den Funktionstasten aufrufbar (Anweisungen ON KEY # am Programmmanfang).

Taste 3: Einzellage (1 LAGE)

Taste 7: Durchlauf (VORPR)

*Paarung der Mittelsenkrechten 14–23*

$$x_1 = x_t, y_1 = y_t, x_2 = x_u, y_2 = y_u, x_3 = x_v, y_3 = y_v, x_4 = x_w, y_4 = y_w$$

41

*Label 41*

...  
XEQ 40 – XEQ 39  
IF  $R_{09} = 0$   
RETURN  
XEQ 42

85

*Leile 4100*

...  
GOSUB 4000  
...  
GOSUB 3900  
RETURN

*Paarung der Mittelsenkrechten 15–23*

$$x_1 = x_t, y_1 = y_t, x_2 = x_u, y_2 = y_u, x_3 = x_v, y_3 = y_v, x_5 = x_w, y_5 = y_w$$

**41**     *Label 42*  
 ...  
 XEQ 40 – XEQ 39  
 IF R<sub>09</sub> = 0  
 RETURN  
 XEQ 43

**85**     *Zeile 4200*  
 ...  
 GOSUB 4000  
 ...  
 GOSUB 3900  
 RETURN

*Paarung der Mittelsenkrechten 15–24*

$$x_1 = x_t, y_1 = y_t, x_2 = x_u, y_2 = y_u, x_4 = x_v, y_4 = y_v, x_5 = x_w, y_5 = y_w$$

**41**     *Label 43*  
 ...  
 XEQ 40 – XEQ 39  
 IF R<sub>09</sub> = 0  
 RETURN  
 XEQ 44

**85**     *Zeile 4300*  
 ...  
 GOSUB 4000  
 ...  
 GOSUB 3900  
 RETURN

*Paarung der Mittelsenkrechten 15–34*

$$x_1 = x_t, y_1 = y_t, x_3 = x_u, y_3 = y_u, x_4 = x_v, y_4 = y_v, x_5 = x_w, y_5 = y_w$$

**41**     *Label 44*  
 ...  
 XEQ 40 – XEQ 39  
 IF R<sub>09</sub> = 0  
 RETURN  
 XEQ 45

**85**     *Zeile 4400*  
 ...  
 GOSUB 4000  
 ...  
 GOSUB 3900  
 RETURN

*Paarung der Mittelsenkrechten 25–34*

$$x_2 = x_t, y_2 = y_t, x_3 = x_u, y_3 = y_u, x_4 = x_v, y_4 = y_v, x_5 = x_w, y_5 = y_w$$

**41**     *Label 45*  
 ...  
 XEQ 40 – XEQ 39  
 STOP

**85**     *Zeile 4500*  
 ...  
 GOSUB 4000  
 ...  
 GOSUB 3900  
 RETURN

Um die Eingangswerte des Gesamtprogramms festzuhalten, werden sie mit einem Einführungsprogramm ausgedruckt. Es sind dies die Koordinaten  $x, y$  der fünf gegebenen Genaupunkte  $E_1$  bis  $E_5$ , bezogen auf ein beliebig in der Ebene liegendes Achsenkreuz. Die Druckroutinen sind:

HP-41: *Label 36*

HP-85: *Zeile 3600*

**41** Setzt man den Hilfsspeicher  $R_{09} = 1$  und beginnt mit XEQ 41, also dem ersten Mittelsenkrechten-Programm, so werden sämtliche fünf Programme, Label 41 bis Label 45, durchgerechnet und die Ergebnisse ausgedruckt. Mit  $R_{09} = 0$  kann aber jederzeit das einzelne der Unterprogramme 41 bis 45 für sich abgerufen werden, wobei wahlweise die Eingangsgrößen mit Label 36 festgehalten werden können.

**85** Beim HP-85 werden diese Betriebsarten mit den Funktionstasten 3 bzw. 7 aufgerufen.

Für die später zu behandelnde eigentliche Maßsynthese ist es ratsam, ein Achsenkreuz mit dem Ursprung  $B_0$  anzunehmen. Seine Winkellage ist ohne Einfluß auf die Rechenergebnisse, und deshalb soll lediglich eine einfache Parallelverschiebung zum Ursprungs-Achsenkreuz vorgenommen werden. Die Koordinaten-Transformation auf den Ursprung  $B_0$  verändert die Koordinaten von  $x_1$  auf  $x_1$ , von  $y_1$  auf  $y_1$  usw.:

*Koordinatentransformation auf den Ursprung  $B_0$*

HP-41: *Label 38*

HP-85: *Zeile 3800*

$$x_1 - x_0 = x_1, y_1 - y_0 = y_1, x_2 - x_0 = x_2, y_2 - y_0 = y_2, x_3 - x_0 = x_3, y_3 - y_0 = y_3, \\ x_4 - x_0 = x_4, y_4 - y_0 = y_4, x_5 - x_0 = x_5, y_5 - y_0 = y_5.$$

Um jedes der fünf Auswahlprogramme auch für sich und beliebig nacheinander benutzen zu können, ist auch ein „Rück-Transformationsprogramm“ vorgesehen, um die jeweilige Neueingabe der Eingangsgrößen zu vermeiden und auch Speicherplätze einsparen zu können:

*Koordinaten-Rücktransformation auf das Eingangs-Achsenkreuz*

HP-41: *Label 37*

HP-85: *Zeile 3700*

$$x_1 + x_0 = x_1, y_1 + y_0 = y_1, x_2 + x_0 = x_2, y_2 + y_0 = y_2, x_3 + x_0 = x_3, y_3 + y_0 = y_3, \\ x_4 + x_0 = x_4, y_4 + y_0 = y_4, x_5 + x_0 = x_5, y_5 + y_0 = y_5$$



### 4.3.3 Vorbereitung zum Hauptprogramm nach Festlegen auf eine Mittelsenkrechten-Paarung

Für jede einzelne der fünf sich anbietenden Mittelsenkrechten-Paarungen muß nun die Benutzung des nachfolgenden Haupt-Synthese-Programms ermöglicht werden, d.h. den jeweils zwei zugeordneten Paarungen und dem fünften Einzelpunkt (vgl. Bild 4.2) müssen die programmgerechten Zuordnungen erteilt werden. Von besonderer Wichtigkeit ist, welche Lage der Zusatzpunkt  $E_5$  relativ zu den Paarungspunkten einnehmen soll. Auf die praktischen Forderungen hierfür soll später eingegangen werden.

41

Das  $B_0$ -Auswahl-Gesamtprogramm ist für den Rechner 41C auf einem besonderen „File“ 13 des Massenspeichers untergebracht worden, deshalb wird, wenn die endgültige Wahl auf eine Mittelsenkrechten-Paarung gefallen ist, automatisch durch Programm auf das nächste File 12, das Haupt-Synthese-Programm enthaltend, umprogrammiert. Die fünf Übergangs-Labels sind:

*Label 51:* Übergangs-Label Nr. 1 für Haupt-Programm

XEQ 36: Ausdruck der Eingangswerte,  
 XEQ 41: Paarung der Mittelsenkrechten 14–23,  
 XEQ 38: E-Koordinaten mit  $B_0$ -Ursprung  $A_5$  jenseits von  $A_4$ ,  
 $\alpha$  12  $\alpha$  (Übergang auf File 12) “READP”

*Label 52:* Übergangs-Label Nr. 2 für Haupt-Programm

XEQ 36: Ausdruck der Eingangswerte,  
 XEQ 42: Paarung der Mittelsenkrechten 15–23,  
 $x_4 = x_5, y_4 = y_5, x_w = x_4, y_w = y_4$   
 XEQ 38: E-Koordinaten mit  $B_0$ -Ursprung,  
 $A_5$  zwischen  $A_3$  und  $A_4$ ,  
 $\alpha$  12  $\alpha$  (Übergang auf File 12) “READP”

*Label 53:* Übergangs-Label Nr. 3 für Haupt-Programm

XEQ 36: Ausdruck der Eingangswerte,  
 XEQ 43: Paarung der Mittelsenkrechten 15–24  
 $x_3 = x_5, y_3 = y_5, x_w = x_4, y_w = y_4, x_v = x_3, y_v = y_3$   
 XEQ 38: E-Koordinaten mit  $B_0$ -Ursprung  
 $A_5$  zwischen  $A_2$  und  $A_3$   
 $\alpha$  12  $\alpha$  (Übergang auf File 12) “READP”

*Label 54:* Übergangs-Label Nr. 4 für Haupt-Programm

XEQ 36: Ausdruck der Eingangswerte,  
 XEQ 44: Paarung der Mittelsenkrechten 15–34  
 $x_2 = x_5, y_2 = y_5, x_u = x_2, y_u = y_2, x_v = x_3, y_v = y_3, x_w = x_4, y_w = y_4$   
 XEQ 38: E-Koordinaten mit  $B_0$ -Ursprung  
 $A_5$  zwischen  $A_1$  und  $A_2$   
 $\alpha$  12  $\alpha$  (Übergang auf File 12) “READP”

Label 55: Übergangs-Label Nr. 5 für Haupt-Programm

XEQ 36: Ausdruck der Eingangswerte,

XEQ 45: Paarung der Mittelsenkrechten 25–34

$x_1 = x_5, y_1 = y_5, x_t = x_1, y_t = y_1, x_u = x_2, y_u = y_2, x_v = x_3,$

$y_v = y_3, x_w = x_4, y_w = y_4$

XEQ 38: E-Koordinaten mit  $B_0$ -Ursprung

$A_5$  jenseits von  $A_1$

$\alpha 12 \alpha$  (Übergang auf File 12) "READP"

85

Anders als beim HP-41 sind beim HP-85 alle Programmteile speicherresident. Die Aufrufe erfolgen über Funktionstasten, wie es das folgende Schema zeigt.



Aus den Einzellagenberechnungen kann aber auch über ein Bildschirmmenü der Übergang zum Hauptprogramm gewählt werden (s. Abbildung).

Die fünf Übergangsroutinen sind in das Programmsegment Zeile 900 bis Zeile 992 eingebettet. Jeweils nach einem Aufruf (GOSUB 5100 usw.) kann gewählt werden zwischen

- Übergang zum Hauptprogramm: GOTO 1200
- Andere Einzellage (mit Koordinaten-Rücktransformation):  
GOSUB 3700
- Neuanfang: GOTO 5

Die *Übergangsroutinen* (Anfangszeilen 5100 bis 5500) sind jeweils folgendermaßen aufgebaut:

GOSUB 3600 ! Ausdruck der Eingangswerte

GOSUB 4X00 ! Aufruf der Einzellage ( $X = 1, \dots, 5$ )

*Variablenzuweisung*

GOSUB 3800 ! Koordinaten-Transformation

PRINT "... (relative Lagen) ..."

RETURN

Die Variablenzuweisungen und Ausgaben der jeweiligen relativen Lagen sind:

*Zeile 5100*

$A_5$  jenseits von  $A_4$

*Zeile 5200*

$x_4 = x_5, y_4 = y_5, x_w = x_4, y_w = y_4$

$A_5$  zwischen  $A_3$  und  $A_4$

*Zeile 5300*

$x_3 = x_5, y_3 = y_5, x_w = x_4, y_w = y_4, x_v = x_3, y_v = y_3$

$A_5$  zwischen  $A_2$  und  $A_3$

*Zeile 5400*

$x_2 = x_5, \dots$

$A_5$  zwischen  $A_1$  und  $A_2$

*Zeile 5500*

$x_1 = x_5, \dots$

$A_5$  jenseits von  $A_1$

#### 4.3.4 Zahlenbeispiel für $B_0$ -Auswahl

In Übereinstimmung mit Bild 4.1 und 4.2 sollen fünf E-Punktlagen mit dem Ursprung  $E_1$  und der Abszisse  $E_1E_5$  gegeben sein. Hierbei ist darauf zu achten, daß der Rechner mit zusammenfallenden 0-Koordinaten nicht rechnen kann, er würde an bestimmten Stellen „Error“ melden und sich stillsetzen. Ein sehr einfaches Mittel besteht hier darin, die Nullwerte durch „sehr kleine“ Werte zu ersetzen, und zwar für  $x = 0$  und  $y = 0$  unterschiedliche Werte. Die Genauigkeit der Ergebnisse wird dadurch so geringfügig in Abhängigkeit von der angenäherten Nullstellenzahl beeinflusst, daß hiermit ohne Bedenken gearbeitet werden kann. Selbstverständlich kann man das Achsenkreuz, das ja ganz beliebig gewählt werden kann, auch so anordnen, daß überhaupt keine zusammenfallenden Nullstellen entstehen.

41

Nach **Tabelle 4.1/41** wurde  $x_1 = 1,0-08$  und  $y_1 = 1,0-05$  gewählt. Die Rechnung wird mit dem Abruf XEQ 36 eingeleitet, die Eingangswerte, hier die Koordinaten  $x_1, y_1$  bis  $x_5, y_5$  der fünf E-Punkte, werden ausgedruckt. Es sind auch die Belegungen mit den zugehörigen Speicher-Registern,  $R_{11}$  bis  $R_{15}$  für  $x_1$  bis  $x_5$ ,  $R_{21}$  bis  $R_{25}$  für  $y_1$  bis  $y_5$ , kenntlich gemacht. Mit der Leit-ziffer 1 =  $R_{09}$  wird nach Abruf XEQ 41 das Laufprogramm für alle fünf Variationen der Mittelsenkrecht-Paarungen M-S: 14–23 bis M-S: 25–34 eingeleitet und zum Schluß stillgesetzt. Für jede Paarung werden die  $B_0$ -Koordinaten  $x_{B0}$ ,  $y_{B0}$  sowie die Winkel  $\psi_{tw}$ ,  $\psi_{uv}$  ausgedruckt. Die in Klammern eingesetzten Abrufe (XEQ) beziehen sich auf den Einzel-Abruf eines der fünf Programme mit 0 =  $R_{09}$ .

Nun hat man eine gute Übersicht über den Platzbedarf für die  $B_0$ -Punkte und über die Größe der  $\psi$ -Winkel, um eine Entscheidung über die Wahl der zweckmäßigen Paarung zu treffen, bzw. um nur einige der fünf Paarungen miteinander zu vergleichen. Wenn z.B. Label 41 mit der Paarung M-S: 14–23 im einzelnen betrachtet werden soll, empfiehlt sich nach **Tabelle 4.2/41** zunächst mit XEQ 36 der Ausdruck der Eingangswerte. Dann erfolgt mit 0 =  $R_{09}$  und XEQ 41 die Berechnung der  $B_0$ -Koordinaten und der für Label 41 allein gültigen Winkel  $\psi_{tw}$  und  $\psi_{uv}$ . Mit XEQ 38 ist nunmehr die Koordinaten-Transformation auf  $B_0$  als Ursprung und ohne Achsenkreuz-Drehung möglich. Die neuen Koordinaten erhalten dieselben Speicherplätze; denn die ersteren werden bei Weiterrechnung nicht mehr gebraucht (in der Bezeichnung erhalten die neuen Speicher einen Punkt nach der Fußzeichenziffer:  $x_1, y_1, \dots$ ).

Sollte aber der Wunsch nach der Einzelberechnung einer zweiten M-S-Paarung bestehen, so kann man mit XEQ 37 eine Koordinaten-Rück-Transformation in die Ursprungswerte vorsehen. XEQ 37 wird überflüssig, wenn man den Wechsel vom  $B_0$ -File auf den Hauptfile manuell im Massenspeicher oder durch Eingabe neuer Magnet-Speicherkarten bei Erhalt aller Speicher-Register vor-sieht.

Wenn man aber den Übergang vom Vorprogramm-File zum Haupt-File des Massenspeichers vom Rechner selbsttätig vorsieht, ist auf alle Fälle die Rück-transformation mit XEQ 37 erforderlich, denn in dem Abruf-Programm Label 51 bis Label 55 (Label 51 entspricht Label 41, Label 52 dem Label 42 usw.) erscheinen beide Achsenkreuz-Koordinaten noch einmal, um in jeder Rechen-Zwischenstufe die Übersicht über sämtliche Eingangs- und Zwischenergebnisse zu behalten.

Wenn man sich nun nach Ergebniswerten von **Tabelle 4.1/41** oder **Tabelle 4.2/41** für eine der fünf möglichen  $B_0$ -Konfigurationen entschieden hat und den programmierten Übergang zum eigentlichen Haupt-Programm benutzen will, kann man nach **Tabelle 4.3/41** vorgehen. Den M-S-Kombinationen Label 41 bis Label 45 sind genau mit der gleichen Endziffer die Labels 51 bis 55 zugeordnet.

Nach Tabelle 4.3/41 wurde die Kombination M-S: 14–23, also Label 41, dem Label 51 als Aufrufmarke zugeordnet. In dem Laufprogramm werden zunächst die Ursprungs-Eingangswerte  $x_1, y_1$  bis  $x_5, y_5$  ausgedruckt, dann die  $B_0$ -Koordinaten  $x_{B0}$  und  $y_{B0}$  und die Winkel  $\psi_{tw}$  und  $\psi_{uv}$  berechnet und ausgedruckt, und schließlich wird die Koordinaten-Transformation mit  $B_0$  als Ursprung vorgenommen. Die Koordinaten erhalten die Bezeichnungen  $x_1, y_1 - x_2, y_2$  usw. Es wird auch die Lage des Gelenkpunktes  $A_5$  relativ zu den „Reduktionslagen“  $A_1$  bis  $A_4$ , hier „jenseits von  $A_4$ “ angezeigt, bis dann der programmierte (automatische) Übergang zum Hauptprogramm „Koppelpunkt-Synthese“ erfolgt.

In Tabelle 4.61 ist das Gesamt-Vorprogramm für die Koppelpunkt-Synthese für den Rechner HP-41CV ausgedruckt. Mit Rücksicht auf den Massenspeicher trägt dieses Vorprogramm den Label-Namen „HN 13“. Beim Abruf aus dem Massenspeicher muß zunächst die Anzahl der Speicher mit „XEQ  $\alpha$  size  $\alpha$  055“ in den Rechner eingegeben werden und danach erfolgt der Abruf mit

$\alpha$  12  $\alpha$

XEQ  $\alpha$  READP  $\alpha$

Tabelle 4.1/41 Übersicht über fünf  $B_0$ -Reduktionen

XEQ 36	
=====	
<b>B0-EING.</b>	
<b>X1,Y1,X2,Y2</b>	Eingangswerte: E-Punkt-Koordinaten
1.0000-08	$x_1 = R_{11}$
1.0000-05	$y_1 = R_{21}$
1.1000	$x_2 = R_{12}$
-6.9000	$y_2 = R_{22}$
<b>X3,Y3,X4,Y4</b>	
22.0000	$x_3 = R_{13}$
-13.7000	$y_3 = R_{23}$
34.6000	$x_4 = R_{14}$
-9.3000	$y_4 = R_{24}$
<b>X5,Y5</b>	
47.2000	$x_5 = R_{15}$
0.0000	$y_5 = R_{25}$

(Tabelle 4.1/41 Fortsetzung)

=====		XEQ 41
		1 = R <sub>09</sub>
M-S:14-23		
X <sub>B0</sub> , Y <sub>B0</sub>		
	35.8853	X <sub>B0</sub>
	64.4954	Y <sub>B0</sub>
PSI-TW-UV		
	28.0938	$\psi_{tw}$
	15.9071	$\psi_{uv}$
=====		(XEQ 42)
M-S:15-23		
X <sub>B0</sub> , Y <sub>B0</sub>		
	23.6000	
	26.7601	
PSI-TW-UV		
	82.8189	
	31.4961	
=====		(XEQ 43)
M-S:15-24		
X <sub>B0</sub> , Y <sub>B0</sub>		
	23.6000	
	72.1153	
PSI-TW-UV		
	36.2418	
	23.5892	
=====		(XEQ 44)
M-S:15-34		
X <sub>B0</sub> , Y <sub>B0</sub>		
	23.6000	
	1.9350	
PSI-TW-UV		
	170.6253	
	50.2374	
=====		(XEQ 45)
M-S:25-34		
X <sub>B0</sub> , Y <sub>B0</sub>		
	23.1457	
	3.2602	
PSI-TW-UV		
	147.5381	
	46.2280	

Tabelle 4.2/41 Programm zur Berechnung einer  $B_0$ -Reduktion mit Koordinaten-Rücktransformationen

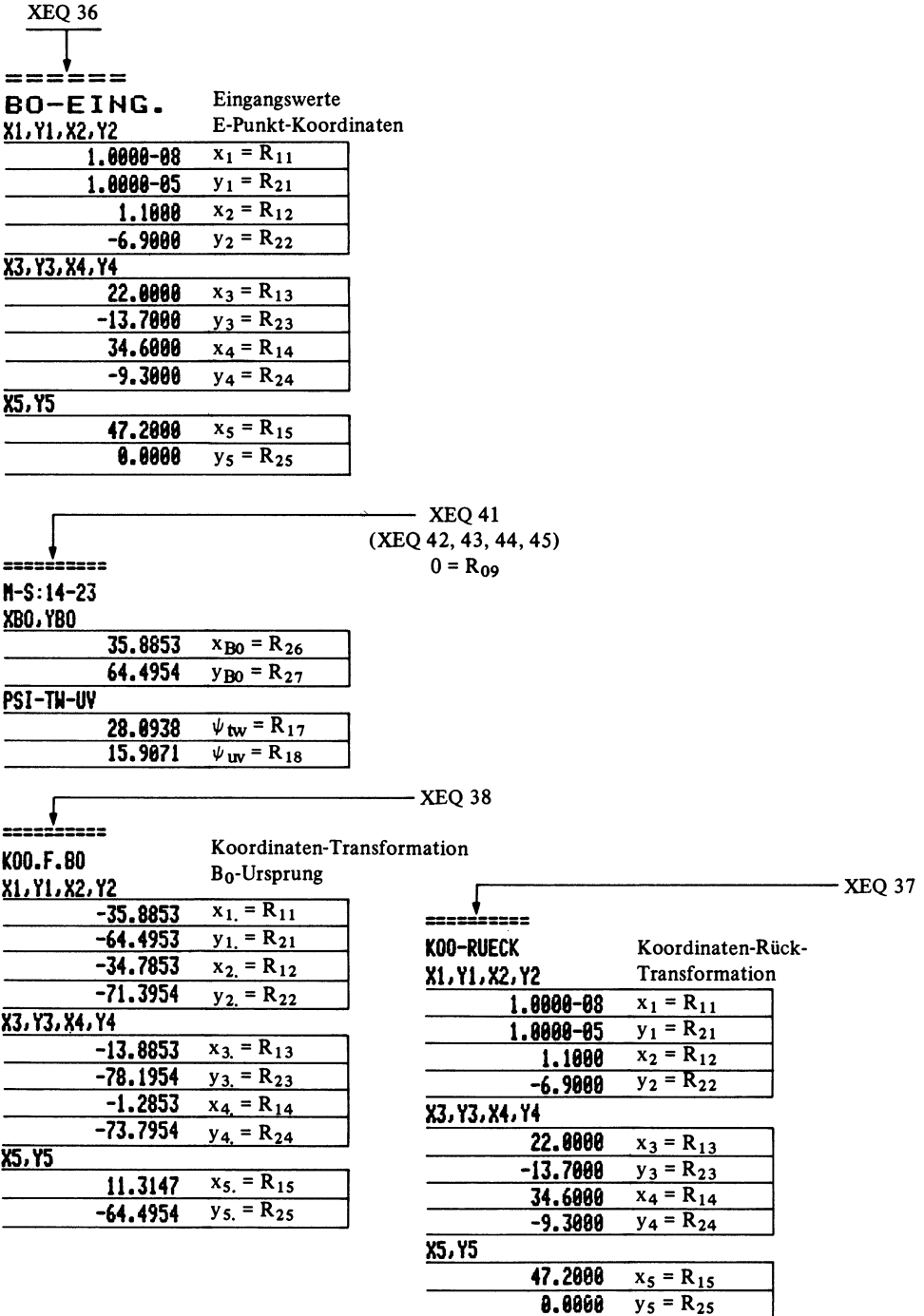



Tabelle 4.3/41 Übergang vom B<sub>0</sub>-Auswahlprogramm zum Hauptprogramm „Koppelpunkt-Synthese“

XEQ 51	
=====	
<b>BO-EING.</b>	Ausdruck der Ursprungs-Eingangswerte
<b>X1,Y1,X2,Y2</b>	
1.0000-08	$x_1 = R_{11}$
1.0000-05	$y_1 = R_{21}$
1.1000	$x_2 = R_{12}$
-6.9000	$y_2 = R_{22}$
<b>X3,Y3,X4,Y4</b>	
22.0000	$x_3 = R_{13}$
-13.7000	$y_3 = R_{23}$
34.6000	$x_4 = R_{14}$
-9.3000	$y_4 = R_{24}$
<b>X5,Y5</b>	
47.2000	$x_5 = R_{15}$
0.0000	$y_5 = R_{25}$
=====	
<b>M-S:14-23</b>	B <sub>0</sub> -Koordinaten und $\psi$ -Winkel
<b>XB0,YB0</b>	
35.8853	$x_{B0} = R_{26}$
64.4954	$y_{B0} = R_{27}$
<b>PSI-TW-UV</b>	
28.0938	$\psi_{tw} = R_{17}$
15.9071	$\psi_{uv} = R_{18}$
=====	
<b>K00.F.B0</b>	Koordinaten-Transformation mit B <sub>0</sub> als Ursprung
<b>X1,Y1,X2,Y2</b>	
-35.8853	$x_1 = R_{11}$
-64.4953	$y_1 = R_{21}$
-34.7853	$x_2 = R_{12}$
-71.3954	$y_2 = R_{22}$
<b>X3,Y3,X4,Y4</b>	
-13.8853	$x_3 = R_{13}$
-78.1954	$y_3 = R_{23}$
-1.2853	$x_4 = R_{14}$
-73.7954	$y_4 = R_{24}$
<b>X5,Y5</b>	
11.3147	$x_5 = R_{15}$
-64.4954	$y_5 = R_{25}$
=====	
<b>A5 JENS. 4</b>	A <sub>5</sub> jenseits von A <sub>4</sub>
<div style="text-align: center;">   <math>\alpha_{12} \propto \text{Readp}</math>            Übergang zum Hauptprogramm Koppelpunkt-Synthese         </div>	



85

Nach **Tabelle 4.1/85** wurde  $x_1 = 1,0 \cdot 10^{-8}$  und  $y_1 = 1,0 \cdot 10^{-5}$  gewählt. Die Eingabe der Eingangswerte (Koordinaten  $x_1, y_1$  bis  $x_5, y_5$  der fünf E-Punkte) wird durch Drücken der Funktionstaste # 2 (WERTE) begonnen. Anzeigen bzw. Ausdrucken wird mit Taste # 8 (CHECK) veranlaßt. Zur einfachen Überprüfung ist ein „Testlauf“ aufrufbar (Taste # 5). Dadurch wird das Vorprogramm (Übersicht über fünf  $B_0$ -Reduktionen) mit den in **Tabelle 4.1/85** gezeigten Eingangswerten gestartet.

Sind Eingangswerte über WERTE (Taste # 2) eingegeben, wird die  $B_0$ -Auswahl mit Taste # 7 (VORPR) gestartet. Einzelaufrufe der fünf Paarungs-Programme werden durch Taste # 3 (1 LAGE) ausgelöst. Einzelheiten hierzu können der Anweisungsliste für das Vorprogramm (**Tabelle 4.71**) und den zugehörigen Struktogrammen (**Tabelle 4.72**) entnommen werden. **Tabelle 4.73** stellt den vollständigen Ablauf des Vorprogramms mit Berechnung der Einzellagen und Übergang zum Hauptprogramm dar.

**Tabelle 4.1/85** zeigt für jede der fünf Mittelsenkrechten-Paarungen die  $B_0$ -Koordinaten  $x_{B_0}, y_{B_0}$  und die Winkel  $\psi_{tw}, \psi_{uv}$ . Damit ergibt sich ein guter Überblick über den Platzbedarf für die  $B_0$ -Punkte und über die Größe der  $\psi$ -Winkel, wodurch die Auswahl der zweckmäßigen Paarungen möglich wird.

Anders als beim HP-41-Programm gibt es hier keinen Unterschied zwischen Einzellagen-Vergleich und Übergang zum Hauptprogramm. Nach erfolgter Vorauswahl der MS-Paarung wird mit Taste # 3 die gewählte Einzellage gerufen (vgl. **Tabelle 4.2/85**). Eine Koordinaten-Transformation auf  $B_0$  als Ursprung und ohne Achsenkreuz-Drehung wird angeschlossen. Sollte der Wunsch nach einer zweiten MS-Paarung bestehen, kann dies hiernach per Tastendruck veranlaßt werden. Es steht aber auch die Möglichkeit des Neuanfangs zur Verfügung. Schließlich kann drittens der Übergang zum Hauptprogramm ausgelöst werden. **Tabelle 4.3/85** zeigt den vollständigen Dialog bis zum Startpunkt des Hauptprogramms.

In **Tabelle 4.71** ist das gesamte Vorprogramm für den HP-85 aufgelistet. **Tabelle 4.72** zeigt die zugehörigen Struktogramme. **Tabelle 4.70** gibt die Zuordnung der Variablennamen in den Gleichungen zu den im Programm verwendeten an.

Tabelle 4.1/85 Übersicht über fünf  $B_0$ -Reduktionen, Start des Vorprogramms mit Funktionstaste #7 (VORPR)

```

*** V O R P R O G R A M M ***
* ----- *
* mit Berechnung aller *
* 5 Bo-Reduktionen *
*****

```

```

*****
* Die derzeit gültigen *
* Eingangswerte sind: *

```

```

X1/Y1 = 1.000E-008 1.000E-005
X2/Y2 = 1.100E+000 -6.900E+000
X3/Y3 = 2.200E+001 -1.370E+001
X4/Y4 = 3.460E+001 -9.300E+000
X5/Y5 = 4.720E+001 0.000E+000
=====

```

Mittelsenkrechte 14 - 23

-----

```

X(Bo) = 35.885
Y(Bo) = 64.495

```

```

PSI(tw) = 28.094
PSI(uv) = 15.907

```

=====

Mittelsenkrechte 15 - 23

-----

```

X(Bo) = 23.600
Y(Bo) = 26.737

```

```

PSI(tw) = 82.869
PSI(uv) = 31.513

```

=====

Mittelsenkrechte 15 - 24

-----

```

X(Bo) = 23.600
Y(Bo) = 72.161

```

```

PSI(tw) = 36.220
PSI(uv) = 23.576

```

=====

Mittelsenkrechte 15 - 34

-----

```

X(Bo) = 23.600
Y(Bo) = 1.959

```

```

PSI(tw) = 170.508
PSI(uv) = 50.167

```

=====

Mittelsenkrechte 25 - 34

-----

```

X(Bo) = 23.146
Y(Bo) = 3.260

```

```

PSI(tw) = 147.538
PSI(uv) = 46.228

```

Tabelle 4.2/85 Berechnung einer  $B_0$ -Reduktion (Paarung 14–23) mit Koordinaten-Transformation und -Rücktransformation. Start mit Funktionstaste #3 (1 LAGE)

```

***  E I N Z E L L A G E N  ***
*  -----  *
*      mit Übergang zum      *
*      Hauptprogramm          *
*****

```

```

*****
*  Die derzeit gültigen      *
*  Eingangsweite sind:      *
*

```

```

X1/Y1 = 1.000E-008  1.000E-005
X2/Y2 = 1.100E+000 -6.900E+000
X3/Y3 = 2.200E+001 -1.370E+001
X4/Y4 = 3.460E+001 -9.300E+000
X5/Y5 = 4.720E+001  0.000E+000

```

```

=====

```

Mittelsenkrechte 14 - 23

-----

```

      X(Bo) =      35.885
      Y(Bo) =      64.495

      PSI(tw) =      28.094
      PSI(uv) =      15.907

```

```

=====

```

Koordinaten-Transformation  
auf den Ursprung  $B_0$  :

-----

```

X1/Y1 = -3.589E+001 -6.450E+001
X2/Y2 = -3.479E+001 -7.140E+001
X3/Y3 = -1.389E+001 -7.820E+001
X4/Y4 = -1.285E+000 -7.380E+001
X5/Y5 =  1.131E+001 -6.450E+001

```

```

=====

```

A(5) jenseits von A(4)

-----

```

=====

```

Koordinaten-Rücktransformation  
auf das Eingangs-Achsenkreuz :

-----

```

X1/Y1 = 1.000E-008  1.000E-005
X2/Y2 = 1.100E+000 -6.900E+000
X3/Y3 = 2.200E+001 -1.370E+001
X4/Y4 = 3.460E+001 -9.300E+000
X5/Y5 = 4.720E+001  0.000E+000

```

Tabelle 4.3/85 Vollständiger Dialog im Vorprogramm mit einer Einzellege bis zum Beginn des Hauptprogramms

\*\*\*\*\* GETRIEBE-ENTWURF \*\*\*\*\*

\* zur Erzeugung \*  
 \* gegebener Bahnkurven \*  
 \*\*\*\*\*

Informationen zum gesamten  
 Programmpaket können über  
 FUNKTIONSTASTE #1  
 abgerufen werden !!!!!

TEST	KOORD	VORPR	CHECK
INFO	WERTE	1LAGE	HAUPT

WERTE

(Taste #2)

\*\*\* WERTEEINGABE \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

Eingabe der Eingangswerte :

X 1 / Y 1 = ?  
 1E-8, 1E-5  
 X 2 / Y 2 = ?  
 1.1, -6.9  
 X 3 / Y 3 = ?  
 22, -13.7  
 X 4 / Y 4 = ?  
 34.6, -9.3  
 X 5 / Y 5 = ?  
 47.2, 0

\*\*\* Die derzeit gültigen \*\*\*  
 \* Eingangswerte sind: \*

CHECK

(Taste #8)

X1/Y1 = -3.589E+001 -6.450E+001  
 X2/Y2 = -3.479E+001 -7.140E+001  
 X3/Y3 = -1.389E+001 -7.820E+001  
 X4/Y4 = -1.285E+000 -7.380E+001  
 X5/Y5 = 1.131E+001 -6.450E+001  
 -----

Ausdrucken mit Taste >>> [\*]  
 Ändern der Eingangswerte >>> [-]  
 Weiterarbeiten durch >>> [+]  
 ?

Tabelle 4.3/85 (Fortsetzung 1)

```

***  E I N Z E L L A G E N  ***
*  -----  *
*      mit Übergang zum      *
*      Hauptprogramm          *
*****

```

1 LAGE

(Taste #3)

Wählen Sie die Einzellage:

```

-----
14 - 23 >>> [1]
15 - 23 >>> [2]
15 - 24 >>> [3]
15 - 34 >>> [4]
25 - 34 >>> [5]

```

1 RETURN

?

```

***  Die derzeit gültigen  ***
*      Eingangswerte  sind:  *

```

```

X1/Y1 = 1.000E-008 1.000E-005
X2/Y2 = 1.100E+000 -6.900E+000
X3/Y3 = 2.200E+001 -1.370E+001
X4/Y4 = 3.460E+001 -9.300E+000
X5/Y5 = 4.720E+001 0.000E+000
-----

```

```

Ausdrucken mit Taste >>> [*]
Andern der Eingangswerte >>> [-]
Weiterarbeiten durch >>> [+]

```

+ RETURN

?

=====

Mittelsenkrechte 14 - 23

```

X(Bo) = 35.885
Y(Bo) = 64.495

```

```

PSI(tw) = 28.094
PSI(uv) = 15.907

```

```

-----
Ausdrucken mit >>> [*]
Weiter mit >>> [+]

```

+ RETURN

?

Tabelle 4.3/85 (Fortsetzung 2)

=====

Koordinaten-Transformation  
auf den Ursprung Bo :

-----

X1/Y1 = -3.589E+001 -6.450E+001  
 X2/Y2 = -3.479E+001 -7.140E+001  
 X3/Y3 = -1.389E+001 -7.820E+001  
 X4/Y4 = -1.285E+000 -7.380E+001  
 X5/Y5 = 1.131E+001 -6.450E+001

-----

Ausdrucken mit Taste >>> [\*]  
 Weiterarbeiten durch >>> [+]  
 ?

+

RETURN

=====

A(5) jenseits von A(4)

-----

\*\*\*\*\*

WAHLEN SIE :

-----

Übergang  
 zum Hauptprogramm >>> [/]

/

RETURN

Neuanfang >>> [-]

andere Einzellage >>> [+]  
 ?

```

*   H A U P T P R O G R A M M   *
*   -----                     *
*mit Berechnung der Kurbellagen*
*           und des             *
*   Gesamt-Gelenkvierecks      *
*****
  
```

Zur Wahl stehen:

Kurbellagen-Übersicht >>>> [0]  
 5-Punkte-Synthese >>>> [5]  
 4-Punkte-Synthese >>>> [4]  
 Andere Einzellage >>>> [-]  
 ?



Zeile 2036:

**85** Beim HP-85 müssen die Gleichungen (4.15) und (4.16) direkt programmiert werden, z.B.

$$x_{A1} \rightarrow X1 = F1 * \cos(G - P8/2) \quad (4.15/85)$$

Nun ergibt sich:

$$\sqrt{(x_t - x_{A1})^2 + (y_t - y_{A1})^2} = e \quad (4.17)$$

**41** Mit HP-41C:

$$(y_{A1} - y_t) \text{ ENTER } (x_{A1} - x_t): \text{RP} \rightarrow e \quad (4.17/41)$$

Zeile 2042:

**85** Für den HP-85 schreiben wir

$$e \rightarrow E = \text{SQR}((T2 - Y1) \uparrow 2 + (T1 - X1) \uparrow 2) \quad (4.17/85)$$

Nun muß der Kreisbogen um  $E_u$  mit  $e$  als Radius zum Schnitt  $A_2$  mit dem Strahl  $B_0 X_2$  gebracht werden, und hier ist eine Abfrage erforderlich, ob ein solcher Schnittpunkt überhaupt erreicht werden kann.

Im rechtwinkligen Dreieck  $B_0 S E_u$  berechnet man:

$$\arccos \frac{|x_u|}{x_u} + \arctan \frac{y_u}{x_u} - \gamma + \frac{\psi_{uv}}{2} = \eta \quad (4.18)$$

und findet ( $B_0 E_u = \sqrt{x_u^2 + y_u^2}$ ):

$$\sqrt{x_u^2 + y_u^2} \cdot \sin \eta = e_{\min} \quad (4.19)$$

**41** Mit HP-41C:

$$y_u \text{ ENTER } x_u: \text{RP} \rightarrow B_0 E_u \geq -\gamma + \frac{\psi_{uv}}{2} = \eta \quad (4.18/41)$$

Nun gilt für die IF-Schranke:

$$\text{IF: } (e - e_{\min}) < 0 \text{ XEQ } 19 \quad (4.20/41)$$

und damit der Übergang zum später aufgeführten Label 19.



Zeile 2046:

**85**  $\eta$  wird auch mit der ATN2-Anweisung berechnet:  
 $\eta \rightarrow E0 = \text{ATN2}(U2, U1) - G + P9/2$  (4.18/85)  
 $e_{\min}$  wird direkt entsprechend Gl. (4.19) programmiert. Um feststellen zu können, ob ein Schnittpunkt möglich ist, wird eine Hilfsgröße gebildet:  
 $H9 = e^2 - e_{\min}^2$   
 und dann mit der Anweisung  
 IF H9 <= 0 THEN 1900  
 im negativen Fall zum Programmsegment 1900 verzweigt. Dort wird J = 1 gesetzt, um im Programmteil „Kurbellagen-Übersicht“ (2300) entsprechende Entscheidungen erzielen zu können.

Der Kreis um  $E_u$  mit  $e$  als Radius schneidet (wenn die IF-Schranke nicht anspricht) den Strahl  $B_0 X_2$  in zwei Punkten  $A_2$  und  $A'_2$ , die beide, wenn das Programm mit allen seinen Möglichkeiten voll zu durchfahren ist, berücksichtigt werden müssen (Bild 4.8). Deshalb wird ein Zusatz-Kennwert  $p = \pm 1$  eingeführt, mit dem die Strecke  $A_2 B_0$  ( $A'_2 B_0$ ) =  $f_2$  berechnet wird:

$$B_0 E_u \cdot \cos \eta + p \cdot e_{\min} = f_2 \quad (4.21)$$

Die Koordinaten von  $A_2$  ergeben sich zu:

$$f_2 \cdot \cos\left(\gamma - \frac{\psi_{uv}}{2}\right) = x_{A2}; \quad f_2 \cdot \sin\left(\gamma - \frac{\psi_{uv}}{2}\right) = y_{A2} \quad (4.22)$$

**41** Mit HP-41C:

$$\left(\gamma - \frac{\psi_{uv}}{2}\right) \text{ ENTER } f_2 : \text{PR} \rightarrow x_{A2} \gtrless y_{A2} \quad (4.22/41)$$

Zeile 2058:

**85** Gl. (4.21) und Gl. (4.22) werden wieder direkt hingeschrieben, wobei aber  $e_{\min} = \text{SQR}(H9)$  ist.

Den Gestellpunkt  $A_0$  findet man als Schnittpunkt der Mittelsenkrechten von  $A_1 A_2$  mit dem Strahl  $B_0 X_0$ :

$$\tan\left(\arccos \frac{|x_{A2} - x_{A1}|}{x_{A2} - x_{A1}} + \arctan \frac{y_{A2} - y_{A1}}{x_{A2} - x_{A1}} + 90\right) = m_2 \quad (4.23)$$

**41** Mit HP-41C:

$$(y_{A2} - y_{A1}) \text{ ENTER } (x_{A2} - x_{A1}) : \text{RP} \rightarrow [ ] \gtrless + 90 = \text{TAN} = m_2 \quad (4.23/41)$$

Zeile 2064:

<b>85</b>	Mit HP-85: $m_2 \rightarrow M2 = \text{TAN}(\text{ATN2}(Y2 - Y1, X2 - X1) + 90) \quad (4.23/85)$
-----------	---

$$\frac{-m_2 \cdot \frac{x_{A1} + x_{A2}}{2} + \frac{y_{A1} + y_{A2}}{2}}{\tan \gamma - m_2} = x_{A0} \quad (4.24)$$

$$\tan \gamma \cdot x_{A0} = y_{A0} \quad (4.25)$$

Nun lassen sich die Kurbellänge  $a$  und der Winkel  $\varphi^*$ , den  $a$  mit dem Gestell  $B_0A_0 = d$  einschließt, berechnen:

$$\sqrt{(y_{A1} - y_{A0})^2 + (x_{A1} - x_{A0})^2} = a \quad (4.26)$$

$$\arccos \frac{|x_{A1} - x_{A0}|}{a} + \arctan \frac{y_{A1} - y_{A0}}{x_{A1} - x_{A0}} = \delta \quad (4.27)$$

$$\delta - \gamma + 180 = \varphi^* \quad (4.28)$$

<b>41</b>	Mit HP-41C: $(y_{A1} - y_{A0}) \text{ ENTER } (x_{A1} - x_{A0}): \text{RP} \rightarrow a \gtrless = \delta - \gamma + 180 = \varphi^* \quad (4.28/41)$
-----------	---

Zeile 2072:

<b>85</b>	Berechnung von $\delta$ und $\varphi^*$ : $\delta \rightarrow D1 = \text{ATN2}(Y1 - Y7, X1 - X7) \quad (4.27/85)$ $\varphi^* \rightarrow F0 = D1 + \text{ACS}(\text{SGN}(D1)) \cdot 2 - G + 180 \quad (4.28/85)$ <p>Weil <math>\arccos(1) = 0</math> und <math>\arccos(-1) = \pi = 180^\circ</math>, wird durch den Term <math>\text{ACS}(\text{SGN}(D1)) \cdot 2</math> eine Korrektur mit 0 oder <math>360^\circ</math> vorgenommen.</p>
-----------	---

Das Haupt-Merkmal der hier verwendeten Punktlagenreduktionen besteht in den Symmetrie-Kurbellagen. Die Kurbellagen  $A_0A_1$  und  $A_0A_4$  ( $A_0A_t$  und  $A_0A_w$ ), sowie  $A_0A_2$  und  $A_0A_3$  ( $A_0A_u$  und  $A_0A_v$ ) liegen symmetrisch zum Gestell  $B_0A_0$ . Es ist aber in jedem Falle wissenswert, welche Winkel  $\varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14}$  die Kurbellagen  $A_0A_2, A_0A_3, A_0A_4$  mit der Anfangskurbellage  $A_0A_1$  einschließen: In den folgenden Gleichungen wird durch „(sign arc cos) · 2“ die Zuordnung in den vorzeichen-gerechten Quadranten erzwungen, um die Differenzen mit  $\varphi^*$  genau der Symmetrie-lage, bezogen auf  $\varphi = 0^\circ$  oder  $\varphi = 180^\circ$  entsprechend zu erhalten. Sämtliche Winkel werden dadurch also nur mit positivem Vorzeichen ausgewiesen:

$$\arccos \frac{|x_{A2} - x_{A0}|}{a} + \arctan \frac{y_{A2} - y_{A0}}{x_{A2} - x_{A0}} + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 - \delta = \varphi_{12} \quad (4.29)$$

$$f_2 \cdot \cos \left( \gamma + \frac{\psi_{uv}}{2} \right) = x_{A3} \quad (4.30)$$

$$f_2 \cdot \sin \left( \gamma + \frac{\psi_{uv}}{2} \right) = y_{A3} \quad (4.31)$$

$$\arccos \frac{|x_{A3} - x_{A0}|}{x_{A3} - x_{A0}} + \arctan \frac{y_{A3} - y_{A0}}{x_{A3} - x_{A0}} + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 - \delta = \varphi_{13} \quad (4.32)$$

$$f_1 \cdot \cos \left( \gamma + \frac{\psi_{tw}}{2} \right) = x_{A4} \quad (4.33)$$

$$f_1 \cdot \sin \left( \gamma + \frac{\psi_{tw}}{2} \right) = y_{A4} \quad (4.34)$$

$$\arccos \frac{|x_{A4} - x_{A0}|}{x_{A4} - x_{A0}} + \arctan \frac{y_{A4} - y_{A0}}{x_{A4} - x_{A0}} + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 - \delta = \varphi_{14} \quad (4.35)$$

Das Zeichen „sign“ bezieht sich auf das Vorzeichen des Klammerausdruckes  $\pm 1$ , der darauffolgende Summand auf  $0^\circ$  oder  $360^\circ$ .

**41**

Mit HP-41C:

$$(y_{A2} - y_{A0}) \text{ ENTER } (x_{A2} - x_{A0}): \text{RP} \rightarrow a \gtrless + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 - \delta = \varphi_{12} \quad (4.29/41)$$

$$\left( \gamma + \frac{\psi_{uv}}{2} \right) \text{ ENTER } f_2 : \text{PR} \rightarrow x_{A3} \gtrless y_{A3} \quad (4.31/41)$$

$$(y_{A3} - y_{A0}) \text{ ENTER } (x_{A3} - x_{A0}): \text{RP} \rightarrow [ ] \gtrless + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 - \delta = \varphi_{13} \quad (4.32/41)$$

$$\left( \gamma + \frac{\psi_{tw}}{2} \right) \text{ ENTER } f_1 : \text{PR} \rightarrow x_{A4} \gtrless y_{A4} \quad (4.34/41)$$

$$(y_{A4} - y_{A0}) \text{ ENTER } (x_{A4} - x_{A0}): \text{RP} \rightarrow [ ] \gtrless + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 - \delta = \varphi_{14} \quad (4.35/41)$$

Zeile 2078:

**85**

$\varphi_{12}$ ,  $\varphi_{13}$  und  $\varphi_{14}$  (Gleichungen 4.29 bis 4.35) werden mit dem HP-85 ebenso gelöst wie Gl. (4.28).

Schließlich wird noch der „zentrische“ Winkel  $\varphi_m$  berechnet, der entweder durch Deck- oder Strecklage von a mit d zustande kommt:

$$\frac{\varphi_{13} + \varphi_{12}}{2} + \varphi^* = \varphi_m \quad (4.36)$$

Mit der für das Zustandekommen eines  $A_2$ -Schnittpunktes aufgestellten IF-Schranke wurde innerhalb des Unterprogramms „Symmetrielagen-Berechnung“ ein weiteres Unterprogramm aufgerufen:

41

*Label 19*

A2 ? ? ? ? PRINT

 $\gamma, f_1, p, h$  PRINT

XEQ 25

RETURN

85

*Zeile 1900*

J = 1

„Es ist kein  $A_2$ -Schnittpunkt möglich mit:“ $\gamma, f_1, p, h$ 

RETURN

Bisher waren nach Bild 4.8 die zwei Symmetrie-Punktpaare  $A_1 A_4$  ( $A_1 A_w$ ) und  $A_2 A_3$  ( $A_u A_v$ ) berechnet worden, wobei auch mit dem Unterprogramm Label 19 (HP-41C) bzw. Anfangszeile 1900 (HP-85) auf den Abbruch der Rechnung hingewiesen wurde, falls es keinen Punkt  $A_2$  (und  $A_3$ ) geben kann. Nun muß aber noch der letzte Punkt  $E_5$ , der in keinem Symmetrie-Zusammenhang steht, in die Betrachtungen einbezogen werden. Er ergibt sich als Schnittpunkt des Kurbelkreises, also des Kreises um  $A_0$  durch  $A_1$  mit dem Kreisbogen, den man um  $E_5$  mit  $e$  als Radius schlägt, und es ist klar, daß es hier entweder wieder zwei Schnittpunkte  $A_5$  und  $A'_5$  oder keinen solchen gibt, abgesehen von dem Sonderfall für nur einen Punkt  $A_5$ , wenn der  $e$ -Kreisbogen nur berührt wird.

Für die beiden reellen Möglichkeiten werden ein Kennwert  $h = \pm 1$  und eine IF-Schranke vorgesehen. Das folgende Programmsegment „Berechnung von  $A_5$ “ gilt also lediglich zur Berücksichtigung von  $E_5$  bzw.  $A_5$ .

Im Dreieck  $E_5 A_0 A_5$  kennt man  $A_0 A_5 = a$ ,  $E_5 A_5 = e$  und  $B_0 E_5$ , sowie  $\angle x A_0 E_5$  ( $\angle x A_0 E_5 =$  Winkel, den  $A_0 E_5$  mit der  $x$ -Achse einschließt) lassen sich berechnen:

$$\sqrt{(y_{E5} - y_{A0})^2 + (x_{E5} - x_{A0})^2} = g_5 \quad (4.37)$$

$$\arccos \frac{|x_{E5} - x_{A0}|}{g_5} + \arctan \frac{y_{E5} - y_{A0}}{x_{E5} - x_{A0}} + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 = \angle x A_0 E_5 \quad (4.38)$$

41

Mit HP-41C: *Label 25*

$$(y_{E5} - y_{A0}) \text{ ENTER } (x_{E5} - x_{A0}): \text{RP} \rightarrow g_5 \geq + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 = \angle x A_0 E_5$$

(4.38/41)

**85** Zeile 2500 (A5-Berechnung)  
 $g_5$  wird direkt mit der SQR-Anweisung berechnet, danach folgt:  
 $D5 = \text{ATN2}(Y(5) - Y7, X(5) - X7)$   
 $\nless x A_0 E_5 \rightarrow W5 = D5 + \text{ACS}(\text{SGN}(D5)) * 2$  (4.38/85)

Mit  $\lambda = \nless E_5 A_0 A_5$  kann nachgeprüft werden, ob die Schnittpunkte  $A_5$  und  $A'_5$  zustande kommen können. Ist nämlich  $|\cos \lambda| > 1$ ; so läßt sich Dreieck  $E_5 A_0 A_5$  nicht zeichnen, also:

$$\frac{g_5^2 + a^2 - e^2}{2 \cdot g_5 \cdot a} = \cos \lambda \quad (4.39)$$

**41** IF:  $|\cos \lambda| > 1$  XEQ 24

Zeile 2510:

**85** Mit  $\cos \lambda = C1$  schreiben wir:  
 $C1 = (g_5^2 + a^2 - e^2) / 2 / g_5 / a$  (4.39/85)  
 IF ABS(C1) > 1 THEN 2400

Es gilt:

$p = \pm 1$  Kennwert für  $A_2$  ( $A_u$ ) und  $A'_2$

$h = \pm 1$  Kennwert für  $A_5$  und  $A'_5$

$\varphi_{15}$  Kurbelwinkel zwischen Kurbellagen  $A_0 A_1$  und  $A_0 A_5$ .

Nun läßt sich  $\varphi_{15}$  mit Berücksichtigung von  $h$  berechnen:

$$(\nless x A_0 E_5 - h \cdot \lambda - \varphi^* - \gamma + 180) + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 = \varphi_{15} \quad (4.40)$$

Die interessierenden Kennwerte werden ausgedruckt:

**41**  $p, \varphi_{15}, h$  PRINT  
 RETURN (Ende Label 25)

Zeile 2514:

**85** Der Rest des  $A_5$ -Unterprogramms ist:  
 $\lambda \rightarrow L = \text{ACS}(C1)$   
 $P5 = \nless x A_0 E_5 - (h * \lambda) - \varphi^* - \gamma + 180$   
 $\varphi_{15} \rightarrow P5 = P5 + \text{ACS}(\text{SGN}(P5)) * 2$  (4.40/85)

Das für  $A_5$  gültige Unterprogramm ist:

41

*Label 24*

$A_5$  ? ? ? ? PRINT

$\gamma, f_1, p, h$  PRINT

RETURN

85

*Zeile 2400*

„Es ist kein  $A_5$ -Schnittpunkt möglich mit:“

$\gamma, f_1, p, h$

RETURN

Zu den bisher vorgestellten Programmen ist hinzuzufügen, daß man je nach Aufwand bei oft wiederkehrenden Teil-Gleichungen entsprechende, beliebig oft abrufbare Unterprogramme einrichtet. Hier wurde der besseren Übersicht halber gelegentlich auf solche Unterprogramme verzichtet.

Das Abtasten zum Erreichen reeller Konstruktionsdaten soll vom Rechner automatisch vorgenommen werden. Ein Haupt-Einführungsprogramm soll die vierfach möglichen Ergebnisse für  $p = \pm 1$  und für  $h = \pm 1$  nacheinander aufteilen und die Ergebnisse insgesamt ausdrucken, so daß an Hand eines solchen Übersichts-Schriebes reichlich Vergleichsmöglichkeiten vorhanden sind. Mit Variationen der Eingangswerte ist es möglich, eine Vor-Auswahl für ein günstiges Gelenkviereck zu treffen.

Der im folgenden erläuterte Programmablauf soll durch die Beschreibung der miteinander in Verbindung zu bringenden Programmteile gleichzeitig aber auch durch Verfolgung des Flußdiagrammes (Tabelle 4.62 bzw. 4.74 und 4.75) kenntlich gemacht werden.

41

Das Eingangs-Label: *Label 23*

$+1 = p; +1 = h, \text{ XEQ } 21, \text{ XEQ } 25$

$-1 = h; \text{ XEQ } 25$

$-1 = p; +1 = h \text{ XEQ } 21, \text{ XEQ } 25$

$-1 = h; \text{ XEQ } 25$

STOP

Im Einführungs-Label 23 werden  $+1 = p$  und  $+1 = h$  gesetzt und nach Label 21 dirigiert. Von dort aus aber sofort nach Label 20 zur Berechnung aller erforderlichen Zwischenwerte. Nach Rückkehr von 20 nach 21 werden alle interessierenden Werte ausgedruckt, um dann zum Label 23 zurückzukehren.

```

Es ist: Label 21
XEQ 20
 $\gamma, f_1, p$  PRINT
 $\sqrt{x_{A0}^2 + y_{A0}^2} = d$  (4.41)
a, d PRINT
 $\varphi^*, \varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14}, \varphi_m$  PRINT
RETURN

```

85

Zeile 2300

In diesem Programmteil werden  $p$  und  $h$  gesetzt und die Unterprogramme „Symmetrielagen-Berechnung“ (2100) und „A5-Berechnung“ (2500) aufgerufen; letzteres jedoch nach GOSUB 2100 nur, wenn im Unterprogramm 2000 ... (Zeile 2054) *nicht* nach 1900 verzweigt wurde.

Zeile 2100

```

GOSUB 2000
„Parameter und Ergebnisse:“
 $\gamma, f_1, p, a, d = \sqrt{x_{A0}^2 + y_{A0}^2}$  (4.41)
 $\varphi^*, \varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14}, \varphi_m$ 
RETURN

```

#### 4.3.6 Zahlenbeispiel für die Berechnung der Kurbellagen

Nach Tabelle 4.4/41 bzw. 4.4/85 werden dieselben Zahlenwerte wie bei den vorangegangenen Zahlenbeispielen weiterverwendet. Es genügt lediglich die Rechen-Einleitung mit XEQ 23, und das Kurbellagenprogramm läuft selbsttätig ab. Der hier beschriebene Programm-Ablauf ist auch im Flußdiagramm, Tabelle 4.62 bzw. 4.75 zu verfolgen. Nach Ausdruck der Eingangswerte (für die E-Koordinaten ist ein noch zu erwähnendes, besonderes Programmsegment Label 35 bzw. Startadresse 3500 vorgesehen) wird zunächst für  $\pm 1 = p$  die Rechnung ausgeführt, und hier ist es schon wertvoll, das Verhältnis von Kurbellänge  $a$  zur Gestelllänge  $d$  zur Kenntnis zu nehmen; denn  $a < d$  ist z.B. eine Vorbedingung für eine umlauffähige Kurbelschwinge und  $a > d$  für eine Doppelkurbel. Der Kurbelwinkel  $\varphi^*$  zeigt die Anfangslage der Kurbel  $a$  relativ zum Gestell  $d$ , die Winkel  $\varphi_{12}$ ,  $\varphi_{13}$ ,  $\varphi_{14}$  kennzeichnen die Relativlagen von  $A_0A_2$ ,  $A_0A_3$ ,  $A_0A_4$  relativ zu  $A_0A_1$ , die für  $\pm 1 = h$  dieselben bleiben. Der „Mittenwinkel“ zeigt mit  $\varphi_m = 0^\circ$  oder  $\varphi_m = 180^\circ$  an, über welche Steglage die Kurbellagensymmetrie zustande kommt. Für  $\varphi_{15}$ , das ist die Kurbellage  $A_0A_5$  relativ zu  $A_0A_1$ , gibt es für jedes  $\pm 1 = p$  je zwei Lagen für  $\pm 1 = h$ .

**Tabelle 4.4/41 Kurbellagenberechnungen für  $\pm 1$ -Variationen von p und h**

XEQ 23



.....  
GAMMA,F1,P

210.0000	$\gamma = R_{10}$
90.0000	$f_1 = R_{20}$
1.0000	$p = R_{19}$

Eingangswerte

A,D

27.9283	$a = R_{02}$
69.9074	$d = R_{05}$

PHI\*12,13,14

128.5410	$\varphi^* = R_{38}$
23.2408	$\varphi_{12} = R_{39}$
79.6772	$\varphi_{13} = R_{30}$
102.9180	$\varphi_{14} = R_{41}$

Kurbelwinkel für  $p = R_{19} = +1$

PHI-M

180.0000	$\varphi_m = R_{43}$
----------	----------------------

.....  
P,PHI-15,H

1.0000	$p = R_{19}$
231.1395	$\varphi_{15} = R_{42}$
1.0000	$h = R_{46}$

$\varphi_{15}$  für  $p = R_{19} = +1$ ;  $h = R_{46} = +1$

.....  
P,PHI-15,H

1.0000	$p = R_{19}$
127.0812	$\varphi_{15} = R_{42}$
-1.0000	$h = R_{46}$

$\varphi_{15}$  für  $p = R_{19} = +1$ ;  $h = R_{46} = -1$

.....  
GAMMA,F1,P

210.0000	$\gamma = R_{10}$
90.0000	$f_1 = R_{20}$
-1.0000	$p = R_{19}$

A,D

36.1776	$a = R_{02}$
58.4706	$d = R_{05}$

PHI\*12,13,14

142.8567	$\varphi^* = R_{38}$
222.1124	$\varphi_{12} = R_{39}$
212.1742	$\varphi_{13} = R_{40}$
74.2866	$\varphi_{14} = R_{41}$

Kurbelwinkel für  $p = R_{19} = -1$

PHI-M

360.0000	$\varphi_m = R_{43}$
----------	----------------------

.....  
P,PHI-15,H

-1.0000	$p = R_{19}$
221.7057	$\varphi_{15} = R_{42}$
1.0000	$h = R_{46}$

$\varphi_{15}$  für  $p = R_{19} = -1$ ;  $h = R_{46} = +1$

.....  
P,PHI-15,H

-1.0000	$p = R_{19}$
93.2878	$\varphi_{15} = R_{42}$
-1.0000	$h = R_{46}$

$\varphi_{15}$  für  $p = R_{19} = -1$ ;  $h = R_{46} = -1$



Tabelle 4.4/85 Kurbellagenberechnungen für  $\pm$ -Variationen von p und h

```
*   H A U P T P R O G R A M M   *
*   -----                     *
*mit Berechnung der Kurbellagen*
*           und des             *
*   Gesamt-Gelenkvierecks       *
*****
```

Zur Wahl stehen:

```
Kurbellagen-Obersicht  >>>>  [0]
5-Punkte-Synthese      >>>>  [5]
4-Punkte-Synthese      >>>>  [4]
Andere Einzellage      >>>>  [-]
?
```

```
*****
*   Die derzeit gültigen       *
*   Eingangswerte sind:       *
*
```

```
X1/Y1 = -3.589E+001 -6.450E+001
X2/Y2 = -3.479E+001 -7.140E+001
X3/Y3 = -1.389E+001 -7.820E+001
X4/Y4 = -1.285E+000 -7.380E+001
X5/Y5 =  1.131E+001 -6.450E+001
```

```
**   K U R B E L L A G E N -   **
*   O B E R S I C H T         *
*****
```

Wählen Sie die freien Parameter  
=====

**\*\*Gamma\*\***                      **\*\*f(1)\*\***

Gamma = ?  
210

f(1) = ?  
90

Tabelle 4.4/85 (Fortsetzung)

=====

K U R B E L L A G E N -  
O B E R S I C H T

-----

Parameter und Ergebnisse:

-----

Gamma = 210.000  
f1 = 90.000  
P = 1.000  
a = 27.928  
d = 69.907  
Phi(\*) = 129.541  
Phi(12) = 23.241  
Phi(13) = 79.677  
Phi(14) = 102.918  
Phi(m) = 180.000

-----

Ergebnisse der A5-Berechnung:

-----

P = 1.000  
Phi(15) = 231.140  
h = 1.000

Ergebnisse der A5-Berechnung:

-----

P = 1.000  
Phi(15) = 127.081  
h = -1.000

=====

K U R B E L L A G E N -  
O B E R S I C H T

-----

Parameter und Ergebnisse:

-----

Gamma = 210.000  
f1 = 90.000  
P = -1.000  
a = 36.178  
d = 58.471  
Pni(\*) = 142.857  
Phi(12) = 222.112  
Phi(13) = 212.174  
Phi(14) = 74.287  
Pni(m) = 360.000

-----

Ergebnisse der A5-Berechnung:

-----

P = -1.000  
Phi(15) = 221.706  
h = 1.000

Ergebnisse der A5-Berechnung:

-----

P = -1.000  
Phi(15) = 93.288  
h = -1.000

Aus Tabelle 4.3/41 bzw. 4.3/85, die für dieselben Zahlenwerte gilt, geht hervor, daß im allgemeinen  $A_5$  jenseits von  $A_4$  liegen sollte, daß also  $\varphi_{15} > \varphi_{14}$  vorauszusetzen ist. In den meisten Fällen wird derjenige Winkel  $\varphi_{15}$  bevorzugt werden, der die geringere „Jenseitsentfernung“ zu  $\varphi_{14}$  hat. Es gibt z. B. totalschwingende Gelenkvierecke, bei denen mit „diesseitiger“ Lage von  $A_5$  in besonderen Ausnahmefällen „durchlauffähige“ Getriebe entstehen können.

Für Tabelle 4.5/41 bzw. 4.5/85 gilt bei den sonst gleichen Eingabedaten und abweichend mit  $f_1 = 55$  die sechsmalige Fehlmeldung  $A_2$  ???? und  $A_5$  ???? bzw. „Kein  $A_2$ -Schnittpunkt“ und „Kein  $A_5$ -Schnittpunkt“ (Programmteile 1900 und 2400). Das Ergebnis führt also mit diesem  $f_1$  zu unbrauchbaren Getrieben! Die Ergebnisse lassen sich auf zweifache Art verbessern, nämlich durch Veränderungen von  $f_1$  oder von  $\gamma$ .

Tabelle 4.5/41 Kurbellagenberechnungen mit Fehlmeldungen für  $A_2$  und  $A_5$

.....

A2 ?????

GAMMA,F1,P,H

210.0000

55.0000

1.0000 p = R<sub>19</sub>

.....

A2 ?????

GAMMA,F1,P,H

210.0000

55.0000

-1.0000 p = R<sub>19</sub>

.....

.....

A5 ?????

GAMMA,F1,P,H

210.0000

55.0000

1.0000 p = R<sub>19</sub>

1.0000 h = R<sub>46</sub>

.....

.....

A5 ?????

GAMMA,F1,P,H

210.0000

55.0000

-1.0000 p = R<sub>19</sub>

1.0000 h = R<sub>46</sub>

.....

.....

A5 ?????

GAMMA,F1,P,H

210.0000

55.0000

1.0000 p = R<sub>19</sub>

-1.0000 h = R<sub>46</sub>

.....

.....

A5 ?????

GAMMA,F1,P,H

210.0000

55.0000

-1.0000 p = R<sub>19</sub>

-1.0000 h = R<sub>46</sub>

.....

Tabelle 4.5/85 Kurbellagenberechnungen mit Fehlmeldungen für A<sub>2</sub> und A<sub>5</sub>

```

*   G E L E N K V I E R E C K   - *
*   K Ö P P E L K U R V E       *
*   mit 5 Genauigkeiten         *
*-----*
X1/Y1  = -3.589E+001 -6.450E+001
X2/Y2  = -3.479E+001 -7.140E+001
X3/Y3  = -1.389E+001 -7.820E+001
X4/Y4  = -1.285E+000 -7.380E+001
X5/Y5  =  1.131E+001 -6.450E+001
-----

```

```

Ausdrucken mit Taste    >>>  [*]
Ändern der Eingangswerte >>>  [-]
Weiterarbeiten durch    >>>  [+]
?

```

+ RETURN

```

***   A C H T U N G   :           ***
**-----**

```

Es ist kein A2-Schnittpunkt  
möglich mit:

```

Gamma =      210.000
f1     =      55.000
P      =       1.000
h      =       1.000
-----

```

```

Ausdrucken mit Taste    >>>  [*]
Weiterarbeiten durch    >>>  [+]
?

```

\* RETURN

```

*****

```

Es ist kein A2-Schnittpunkt  
möglich mit:

```

Gamma =      210.000
f1     =      55.000
P      =       1.000
h      =       1.000
-----

```

```

*****

```

Es ist kein A5-Schnittpunkt  
möglich mit:

```

Gamma =      210.000
f1     =      55.000
P      =       1.000
h      =       1.000
-----

```

Tabelle 4.5/85 (Fortsetzung)

\*\*\*\*\*

Es ist kein A5-Schnittpunkt  
möglich mit:

Gamma	=	210.000
f1	=	55.000
P	=	1.000
h	=	-1.000

-----

\*\*\*\*\*

Es ist kein A2-Schnittpunkt  
möglich mit:

Gamma	=	210.000
f1	=	55.000
P	=	-1.000
h	=	1.000

-----

\*\*\*\*\*

Es ist kein A5-Schnittpunkt  
möglich mit:

Gamma	=	210.000
f1	=	55.000
P	=	-1.000
h	=	1.000

-----

\*\*\*\*\*

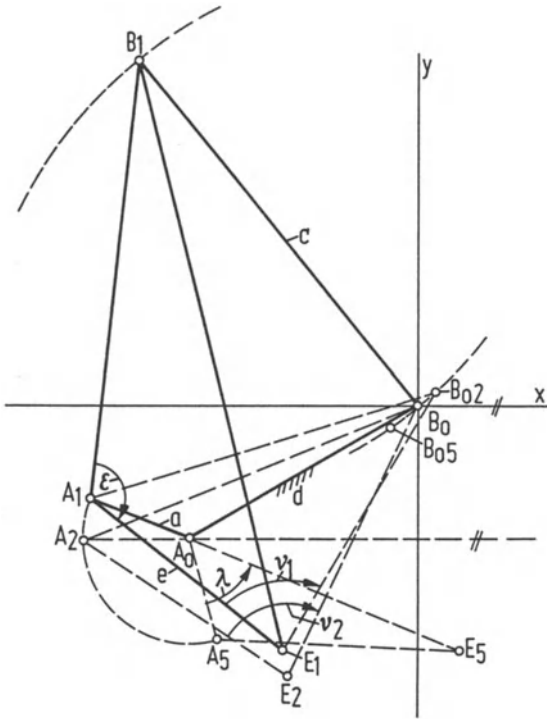
Es ist kein A5-Schnittpunkt  
möglich mit:

Gamma	=	210.000
f1	=	55.000
P	=	-1.000
h	=	-1.000

-----

#### 4.3.7 Berechnung des Gesamt-Gelenkvierecks

Vom Gelenkviereck, das fünf Genaupunkte (später Erläuterungen für nur vier Genaupunkte) einer gegebenen Bahn mit dem Durchlaufen durch einen Koppelpunkt E erfüllen soll, waren bisher das Gestell d, die Kurbel a und die von dieser durchlaufenen Winkel berechnet worden. Nun fehlen noch die restlichen Abmessungen des die Aufgabe erfüll-

**Bild 4.9**

Zeichnerische Grundlagen zur Berechnung der Gelenkviereck-Abmessungen. Reduktion von 5  $B_0$ -Punkten auf nur deren 3 und damit Kreis mit Radius  $c$  durch nur 3 Punkte

lenden Gelenkvierecks. Sie sollen rechnerisch in Übereinstimmung mit den graphischen Methoden, wie sie für Bild 4.2 beschrieben wurden, nach Bild 4.9 ermittelt werden. Hierzu dient das Unterprogramm

*Berechnung von Gelenkviereck-Gliedlängen*

HP-41: Label 26  
(vgl. Tabelle 4.65)

HP-85: Zeile 2600  
(vgl. Tabellen 4.71, 4.76 und 4.77)

$$a \cdot \cos(\alpha \cdot x_{A_0 E_5} - h \cdot \lambda) + x_{A_0} = x_{A_5} \quad (4.42)$$

$$a \cdot \sin(\alpha \cdot x_{A_0 E_5} - h \cdot \lambda) + y_{A_0} = y_{A_5} \quad (4.43)$$

<b>41</b>	$(\alpha \cdot x_{A_0 E_5} - h \cdot \lambda)$ ENTER a: PR $\rightarrow + x_{A_0} = x_{A_5} \geq + y_{A_0} = y_{A_5}$ (4.43/41)
-----------	---

Zeile 2612:

<b>85</b>	$x_{A_5} = a \cdot \cos(\dots) + x_{A_0}$ (4.42)
-----------	--

<b>85</b>	$y_{A_5} = a \cdot \sin(\dots) + y_{A_0}$ (4.43)
-----------	--

<b>85</b>	$\rightarrow X5 = A * \cos(W5 + H * L) + X7$ (4.42/85)
-----------	--

<b>85</b>	$Y5 = A * \sin(W5 + H * L) + Y7$ (4.43/85)
-----------	--

Nun muß  $\Delta A_2 E_2 B_0$  in die Lage  $\Delta A_1 E_1 B_{02}$  gebracht werden, um die Koordinaten von  $B_{02}$  zu finden. Hierzu sind folgende Rechnungen durchzuführen:

$$\sqrt{x_{E2}^2 + y_{E2}^2} = E_2 B_0 \quad (4.44)$$

$$\arccos \frac{|-x_{E2}|}{-x_{E2}} + \arctan \frac{-y_{E2}}{-x_{E2}} = \angle x E_2 B_0 \quad (4.45)$$

$$\arccos \frac{|x_{A2} - x_{E2}|}{x_{A2} - x_{E2}} + \arctan \frac{y_{A2} - y_{E2}}{x_{A2} - x_{E2}} = \angle x E_2 A_2 \quad (4.46)$$

$$\angle x E_2 A_2 - \angle x E_2 B_0 = \nu_2 \quad (4.47)$$

<b>41</b>	$-y_{E2} \text{ ENTER } -x_{E2} : \text{RP} \rightarrow E_2 B_0 \geq \angle x E_2 B_0 \quad (4.45/41)$
-----------	--

	$(y_{A2} - y_{E2}) \text{ ENTER } (x_{A2} - x_{E2}) : \text{RP} \rightarrow [ ] \geq \angle x E_2 A_2 \quad (4.46/41)$
--	--

Zeile 2616:

<b>85</b>	$E_2 B_0 \rightarrow E2 = \text{SQR}(X(2) \uparrow 2 + Y(2) \uparrow 2) \quad (4.44/85)$
-----------	--

	$\angle x E_2 B_0 \rightarrow W0 = \text{ATN2}(-Y(2), -X(2)) \quad (4.45/85)$
--	---

	$\angle x E_2 A_2 \rightarrow A2 = \text{ATN2}(Y2 - Y(2), X2 - X(2)) \quad (4.46/85)$
--	---

	$\nu_2 \rightarrow N2 = A2 - W0 \quad (4.47/85)$
--	--

Nun kommt es darauf an, die Koordinaten von  $B_{02}$ , also des Punktes  $B_0$  in seiner Lage  $B_{02}$ , zu bestimmen:

$$\arccos \frac{|x_{A1} - x_{E1}|}{x_{A1} - x_{E1}} + \arctan \frac{y_{A1} - y_{E1}}{x_{A1} - x_{E1}} - \nu_2 = \angle x E_1 B_{02} \quad (4.48)$$

$$B_0 E_2 \cdot \cos(\angle x E_1 B_{02}) + x_{E1} = x_{B02} \quad (4.49)$$

$$B_0 E_2 \cdot \sin(\angle x E_1 B_{02}) + y_{E1} = y_{B02} \quad (4.50)$$

<b>41</b>	$(y_{A1} - y_{E1}) \text{ ENTER } (x_{A1} - x_{E1}) : \text{RP} \rightarrow [ ] \geq -\nu_2 = \angle x E_1 B_{02} \quad (4.48/41)$
-----------	--

	$(\angle x E_1 B_{02}) \text{ ENTER } E_2 B_0 : \text{RP} \rightarrow + x_{E1} = x_{B02} \geq + y_{E1} = y_{B02} \quad (4.50/41)$
--	---

Zeile 2626:

<b>85</b>	$\angle x E_1 B_{02} \rightarrow B2 = \text{ATN2}(Y1 - Y(1), X1 - X(1)) - N2 \quad (4.48/85)$
-----------	---

	$x_{B02} \rightarrow Q2 = E2 * \cos(B2) + X(1) \quad (4.49/85)$
--	---

	$y_{B02} \rightarrow R2 = E2 * \sin(B2) + Y(1) \quad (4.50/85)$
--	---

An dieser Stelle kommt im fortlaufenden Programm ein später noch zu diskutierender Einschub für die Aufgabe, mit dem vorliegenden Großprogramm auch vier anstatt fünf Genauigkeitspunkte zugrunde zu legen. Bei Programmbeginn braucht man nur die Koordinaten von  $E_5$  mit denen von  $E_4$  gleichzusetzen, und man hat schon die Reduktion von fünf auf vier erreicht. Dadurch entstehende Vorzüge dieser geänderten Aufgabenstellung sollen später genannt werden.

**41** IF  $x_4 = x_5$  THEN XEQ 46

**85** Im HP-85-Programm wird nicht über ein Programmsegment bei Zeile 4600 verzweigt. Die Entscheidungen lauten hier:

2632 IF  $x_4 \neq x_5$  THEN 2638: Weiterrechnen

2634 IF  $y_4 = y_5$  THEN 4700: 4-Punkte-Synthese

Wie für den Punkt  $B_{02}$  muß nun noch die gleiche Rechnung für den Punkt  $B_{05}$  angestellt werden. Mit  $x_{A5}$  und  $y_{A5}$  nach Gl. (4.42) und (4.43) folgt:

$$\sqrt{x_{E5}^2 + y_{E5}^2} = E_5 B_0 \quad (4.51)$$

$$\arccos \frac{|-x_{E5}|}{-x_{E5}} + \arctan \frac{-y_{E5}}{-x_{E5}} = \angle x E_5 B_0 \quad (4.52)$$

$$\arccos \frac{|x_{A5} - x_{E5}|}{x_{A5} - x_{E5}} + \arctan \frac{y_{A5} - y_{E5}}{x_{A5} - x_{E5}} = \angle x E_5 A_5 \quad (4.53)$$

$$\angle x E_5 A_5 - \angle x E_5 B_0 = \nu_3 \quad (4.54)$$

**41**  $-y_{E5}$  ENTER  $-x_{E5}$ : RP  $\rightarrow E_5 B_0 \geq \angle x E_5 B_0$  (4.52/41)

$(y_{A5} - y_{E5})$  ENTER  $(x_{A5} - x_{E5})$ : RP  $\rightarrow [ ] \geq \angle x E_5 A_5$  (4.53/41)

Zeile 2638:

**85**  $E_5 B_0 \rightarrow E5 = \text{SQR}(X(5)^2 + Y(5)^2)$  (4.51/85)

$\angle x E_5 B_0 \rightarrow B0 = \text{ATN2}(-Y(5), -X(5))$  (4.52/85)

$\angle x E_5 A_5 \rightarrow A9 = \text{ATN2}(Y5 - Y(5), X5 - X(5))$  (4.53/85)

$\nu_3 \rightarrow N3 = A9 - B0$  (4.54/85)

$$\arccos \frac{|x_{A1} - x_{E1}|}{x_{A1} - x_{E1}} + \arctan \frac{y_{A1} - y_{E1}}{x_{A1} - x_{E1}} - \nu_3 = \angle x E_1 B_{05} \quad (4.55)$$

$$B_0 E_5 \cdot \cos(\angle x E_1 B_{05}) + x_{E1} = x_{B05} \quad (4.56)$$

$$B_0 E_5 \cdot \sin(\angle x E_1 B_{05}) + y_{E1} = y_{B05} \quad (4.57)$$



<b>41</b>	$(Y_{A1} - Y_{E1}) \text{ ENTER } (X_{A1} - X_{E1}): RP \rightarrow [ ] \geq -\nu_3 = \angle X_{E1} B_{05} \quad (4.55/41)$
-----------	---

Zeile 2648:

<b>85</b>	$\angle X_{E1} B_{05} \rightarrow B5 = \text{ATN2}(Y1 - Y(1), X1 - X(1)) - N3 \quad (4.55/85)$
	$X_{B05} \rightarrow Q5 = E5 * \cos(B5) + X(1) \quad (4.56/85)$
	$Y_{B05} \rightarrow R5 = E5 * \sin(B5) + Y(1) \quad (4.57/85)$

Nach Bild 4.9 sind also die Koordinaten der Punkte  $B_{02}$  und  $B_{05}$  bekannt, und es ist die rechnerische Aufgabe zu lösen, den einzig möglichen Kreis durch die drei Punkte  $B_0$ ,  $B_{02}$ ,  $B_{05}$  mit seinem Radius  $c$  und den Koordinaten seines Mittelpunktes  $B_1$  zu bestimmen. Da diese Aufgabe im Verlauf der Rechnung nur einmal vorkommt, braucht man kein besonderes Unterprogramm abzurufen. Man kann die Berechnung, wie bisher, laufend mit entsprechenden Speicherplätzen fortsetzen<sup>1)</sup>, also weiter mit *Label 26* bzw. *Unterprogramm 2600*:

$$\frac{x_{B02}^2}{y_{B02}} + y_{B02} = A \quad (4.58)$$

$$\frac{x_{B05}^2}{y_{B05}} + y_{B05} = B \quad (4.59)$$

$$\frac{A - B}{2 \cdot \left( \frac{x_{B02}}{y_{B02}} - \frac{x_{B05}}{y_{B05}} \right)} = x_{B1} \quad (4.60)$$

$$-\frac{x_{B02}}{y_{B02}} \cdot x_{B1} + \frac{A}{2} = y_{B1} \quad (4.61)$$

*Ende Label 26 bzw. Unterprogramm 2600.*

An dieser Stelle wird im Unterprogramm „Berechnung von Gelenkviereck-Gliedlängen“ abgebrochen und bei *Label 48* bzw. *Zeile 4800* weitergearbeitet. Diese Unterbrechung ist notwendig, um, wie später zu erläutern ist, nur den im *Label 48* (bzw. 4800) enthaltenen Programmanteil zu verwenden.

HP-41: <i>Label 48</i>	HP-85: <i>Zeile 4800</i>
------------------------	--------------------------

$$\arccos \frac{|x_{B1}|}{x_{B1}} + \arctan \frac{y_{B1}}{x_{B1}} = \angle X_{B0} B_1 \quad (4.62)$$

<sup>1)</sup> Die folgenden Gleichungen für den Dreipunkte-Kreis sind Vereinfachungen früherer von K. Hain entwickelter Gleichungen [3.6]. Die hier entstandenen Vereinfachungen kommen dadurch zustande, daß einer der drei Punkte die Koordinaten  $x = 0$  und  $y = 0$  hat.



$A_0A_4$  ( $A_0A_w$ ) sowie  $A_0A_2$  ( $A_0A_u$ ) und  $A_0A_3$  ( $A_0A_v$ ) symmetrisch liegen; denn der Durchlauf zwischen diesen Symmetrielenen muß gesichert sein. Diese Steglage ist durch den schon berechneten (und gespeicherten) Winkel  $\varphi_m = 0^\circ$  oder  $\varphi_m = 180^\circ$  gegeben, und es ist:

**41**      *Label 48* (Fortsetzung)

$$d - \cos \varphi_m \cdot a = B_0 A_m$$

XEQ 28

Zeile 4810:

**85**       $B_0 A_m \rightarrow M6 = D - \text{COS}(P6) * A$

GOSUB 2800

Von hier aus erfolgt eine Abfrage an die Unterprogramme „Label 28“ und „Label 29“ (bzw. Zeile 2800 und Zeile 2900), ob das Dreieck mit  $b$  und  $c$  als Seitenlängen über  $B_0 A_m$  gezeichnet werden kann. Wenn nein, wird das Programm unterbrochen und ein Ausdruck „ $\mu ???$ “ veranlaßt. Wenn ja, wird der Übertragungswinkel  $\mu_m = \angle B_0 B_m A_m$  berechnet und ausgedruckt. Das Programm läuft weiter mit:

$$d + \cos \varphi_m \cdot a = B_0 A_m^* \quad (4.65)$$

$$\frac{b^2 + c^2 - (B_0 A_m^*)^2}{2 \cdot b \cdot c} = \cos \mu_m^* \quad (4.66)$$

**41**      IF  $|\cos \mu_m^*| > 1$ : XEQ 27

$\mu_m^*$  PRINT

GOTO 30 (Ende Label 48)

Zeile 4816:

**85**       $B_0 A_m^* \rightarrow M5 = D + \text{COS}(P6) * A \quad (4.65/85)$

$\cos \mu_m^* \rightarrow M4 = (B \uparrow 2 + C \uparrow 2 - M5 \uparrow 2) / 2 / B / C \quad (4.66/85)$

IF  $\text{ABS}(M4) > 1$  THEN 2700

$\mu_m^* \rightarrow M3 = \text{ACS}(M4)$

Ergebnisausgabe

GOTO 3000

Hiermit ist also Label 48 bzw. das Programmteil ab 4800 beendet, und das Programm läuft ab Label 30 (Unterprogramm 3000) weiter. Zuvor sollen aber noch die im Label 46 und Label 28 (Zeile 2800) angeführten Unterprogramme beschrieben werden:

41

*Label 46*IF  $y_4 = y_5$  : XEQ 47

85

Wie bereits ausgeführt, wird im HP-85-Programm nicht über 4600 verzweigt. Die Entscheidungen werden hier im Programmteil ab 2600 getroffen.

Hiermit sind sowohl mit  $x_4 = x_5$  als auch für  $y_4 = y_5$  die Vorbedingungen für vier Genauigkeitspunkte geschaffen. Die Weiterleitung zum Label 47 (bzw. Zeile 4700) soll später behandelt werden.

41

*Label 28*

$$\frac{b^2 + c^2 - (B_0 A_m)^2}{2 \cdot b \cdot c} = \cos \mu_m \quad (4.67/41)$$

IF  $|\cos \mu_m| > 1$  : XEQ 29 $\mu_m$  PRINT

RETURN

*Label 29*

MUE ??? ? PRINT

STOP

85

*Zeile 2800*

$$\cos \mu_m \rightarrow M0 = (B^2 + C^2 - M6^2) / 2 / B / C \quad (4.67/85)$$

IF ABS(M0) &gt; 1 THEN 2900

Ergebnisausgabe

RETURN

*Zeile 2900*

Ausgabe: „Getriebe Lage ist nicht erreichbar“

GOTO 1200

Unterprogramm Label 28 (Zeile 2800) dient dazu, in jeder beliebigen Lage, z.B. in der Lage  $A_0 A_1 B_1 B_0$  (Bild 4.10), den Übertragungswinkel  $\mu_m$  zu berechnen und auszudrucken. Falls eine Getriebe Lage für einen gegebenen Winkel  $\varphi$  überhaupt nicht erreicht werden kann, wird über Label 29 (Zeile 2900) das Programm an dieser Stelle abgebrochen.

**41**      *Label 27*  
 „Nicht umlauffähig“ PRINT  
 GOTO 30

**85**      *Zeile 2700*  
 Ausgabe: „Das Gelenkviereck ist nicht umlauffähig“  
 GOTO 3000

Das Programm wird nun (Bild 4.10) fortgesetzt:

HP-41: *Label 30*

HP-85: *Zeile 3000*

$$\arccos \frac{|x_{A1}|}{x_{A1}} + \arctan \frac{y_{A1}}{x_{A1}} + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 - \gamma + 180 = \psi_m \quad (4.68)$$

**41**       $y_{A1} \text{ ENTER } x_{A1} : \text{RP} \rightarrow B_0 A_1 \gtrless + (\text{sign arc cos}) \cdot 2 - \gamma + 180 = \psi_m$  (4.68/41)  
 $\nless x B_0 B_1 - \gamma + 180 = \psi_1$  (4.69/41)  
 $\psi_1$  PRINT  
 $(\psi_m - \psi_1) \text{ sign} = s \text{ (} s = \pm 1 \text{)}$  (4.70/41)  
 a, b, c, d, s PRINT

Zeile 3000:

**85**      Berechnung von  $\psi_1$  :  
 $H1 = \text{ATN2}(Y1, X1)$   
 $\psi_m \rightarrow S9 = H1 + \text{ACS}(\text{SGN}(H1)) * 2 - G + 180$  (4.68/85)  
 $\psi_1 \rightarrow S1 = W - G + 180$  (4.69/85)  
 $s \rightarrow S = \text{SGN}(\psi_m - \psi_1)$  (4.70/85)  
 Ausgabe von:  $\psi_1, a, b, c, d, s$

Die in Bild 4.9 kenntlich gemachten Polarkoordinaten des Punktes E in der Koppellebene AB können berechnet werden:

$$\arccos \frac{|x_{B1} - x_{A1}|}{x_{B1} - x_{A1}} + \arctan \frac{y_{B1} - y_{A1}}{x_{B1} - x_{A1}} = \nless x_{A1} B_1 \quad (4.71)$$

$$\arccos \frac{|x_{E1} - x_{A1}|}{x_{E1} - x_{A1}} + \arctan \frac{y_{E1} - y_{A1}}{x_{E1} - x_{A1}} - \nless x_{A1} B_1 = \epsilon \quad (4.72)$$

<b>41</b>	$(y_{B1} - y_{A1}) \text{ ENTER } (x_{B1} - x_{A1}): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq x_{A1} B_1$	(4.71/41)
	$(y_{E1} - y_{A1}) \text{ ENTER } (x_{E1} - x_{A1}): \text{RP} \rightarrow [ ] \geq -x_{A1} B_1 = \epsilon$	(4.72/41)

Zeile 3030:

<b>85</b>	$\times x_{A1} B_1 \rightarrow A0 = \text{ATN2}(Y6 - Y1, X6 - X1)$	(4.71/85)
	$\epsilon \rightarrow E1 = \text{ATN2}(Y(1) - Y1, X(1) - X1) - A0$	(4.72/85)

Die Entfernung  $EA = e$  ist von früheren Rechnungen noch bekannt und gespeichert, so daß nun der Ausdruck der Gelenkviereck-Abmessungen abgeschlossen werden kann:

PRINT  $\epsilon, e$

Für sämtliche durch die gegebenen fünf E-Genaupunkte festgelegten fünf Getriebestellungen des Gelenkvierecks sollen nun die Übertragungswinkel  $\mu = \angle B_0BA$  und die Lagenwinkel  $\psi$  des Hebels  $c$  relativ zum Gestell  $A_0B_0$ , wie im Bild 4.10 angegeben, berechnet werden. Dies kann immer noch in Fortsetzung des Labels 30 (Zeile 3000) geschehen:

$y_{E1} = y_E, x_{E1} = x_E, y_{A1} = y_A, x_{A1} = x_A: \text{XEQ } 31 \text{ bzw. GOSUB } 3100$

MUE-1, PSI-1 PRINT

$y_{E2} = y_E, x_{E2} = x_E, y_{A2} = y_A, x_{A2} = x_A: \text{XEQ } 31 \text{ bzw. GOSUB } 3100$

MUE-2, PSI-2 PRINT

$$\sqrt{x_{A2}^2 + y_{A2}^2} = f_2 \quad (4.73)$$

$$\arccos \frac{|x_{A2}|}{x_{A2}} + \arctan \frac{y_{A2}}{x_{A2}} = \eta_2 \quad (4.74)$$

$$f_2 \cdot \cos(\eta_2 + \psi_{uv}) = x_{A3} \quad (4.75)$$

$$f_2 \cdot \sin(\eta_2 + \psi_{uv}) = y_{A3} \quad (4.76)$$

<b>41</b>	$y_{A2} \text{ ENTER } x_{A2}: \text{RP} \rightarrow f_2 \geq \eta_2$	(4.74/41)
	$(\eta_2 + \psi_{uv}) \text{ ENTER } f_2: \text{PR} \rightarrow x_{A3} \geq y_{A3}$	(4.76/41)
	$y_{E3} = y_E, x_{E3} = x_E: \text{XEQ } 31$	
	MUE-3, PSI-3 PRINT	

**85** Weil im Bereich ab 3000 nicht mehr genügend Zeilennummern zur Verfügung stehen, wird ab Zeile 3200 weitergearbeitet.

Zeile 3246:

$$f_2 \rightarrow F2 = \text{SQR}(X2 \uparrow 2 + Y2 \uparrow 2) \quad (4.73/85)$$

$$\eta_2 \rightarrow E4 = \text{ATN2}(Y2, X2) \quad (4.74/85)$$

$$x_{A3} \rightarrow X3 = F2 * \cos(E4 + P9) \quad (4.75/85)$$

$$y_{A3} \rightarrow Y3 = F2 * \sin(E4 + P9) \quad (4.76/85)$$

$$y_{E3} = y_E \rightarrow E8; \quad x_{E3} = x_E \rightarrow E7$$

$$y_{A3} = y_A \rightarrow A8; \quad x_{A3} = x_A \rightarrow A7$$

GOSUB 3100

$$f_1 \cdot \cos\left(\gamma + \frac{\psi_{tw}}{2}\right) = x_{A4} \quad (4.77)$$

$$f_1 \cdot \sin\left(\gamma + \frac{\psi_{tw}}{2}\right) = y_{A4} \quad (4.78)$$

**41**  $\left(\gamma + \frac{\psi_{tw}}{2}\right)$  ENTER  $f_1: PR \rightarrow x_{A4} \geq y_{A4}$  (4.78/41)

$$x_{E4} = x_E, y_{E4} = y_E: \text{XEQ } 31$$

MUE-4, PSI-4 PRINT

Zeile 3266:

**85**  $x_{A4} \rightarrow X4 = F1 * \cos(G + P8/2)$  (4.77/85)

$y_{A4} \rightarrow Y4 = F1 * \sin(G + P8/2)$  (4.78/85)

$$y_{E4} = y_E, \quad x_{E4} = x_E$$

$$y_{A4} = y_A, \quad x_{A4} = x_A$$

GOSUB 3100

$$a \cdot \cos(\varphi_{15} + \gamma - 180 + \varphi^*) + x_{A0} = x_{A5} \quad (4.79)$$

$$a \cdot \sin(\varphi_{15} + \gamma - 180 + \varphi^*) + y_{A0} = y_{A5} \quad (4.80)$$

**41**  $(\varphi_{15} + \gamma - 180 + \varphi^*)$  ENTER  $a: PR \rightarrow + x_{A0} = x_{A5} \geq + y_{A0} = y_{A5}$  (4.80/41)

$$x_{E5} = x_E, y_{E5} = y_E: \text{XEQ } 31$$

MUE-5, PSI-5 PRINT

STOP (Ende Label 30)

Zeile 3282:

85	$x_{A5} \rightarrow X5 = A * \cos(P5 + G - 180 + F0) + X7$	(4.79/85)
	$y_{A5} \rightarrow Y5 = A * \sin(P5 + G - 180 + F0) + Y7$	(4.80/85)
	$y_{E5} = y_E, x_{E5} = x_E$	
	$y_{A5} = y_A, x_{A5} = x_A$	
	GOSUB 3100	

Nun muß noch das in Label 30 (Zeile 3000) mehrfach aufgerufene Unterprogramm Label 31 (bzw. Zeile 3100) erläutert werden:

HP-41: Label 31

HP-85: Zeile 3100

$$\arccos \frac{|x_E - x_A|}{x_E - x_A} + \arctan \frac{y_E - y_A}{x_E - x_A} = \angle xAE \quad (4.81)$$

$$b \cdot \cos(\angle xAE - \epsilon) + x_A = x_B \quad (4.82)$$

$$b \cdot \sin(\angle xAE - \epsilon) + y_A = y_B \quad (4.83)$$

$$\arccos \frac{|x_A - x_B|}{x_A - x_B} + \arctan \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} = \angle xBA \quad (4.84)$$

$$\arccos \frac{|-x_B|}{-x_B} + \arctan \frac{-y_B}{-x_B} = \angle xBB_0 \quad (4.85)$$

$$\angle xBA - \angle xBB_0 = \sin \arcsin = \mu \quad (4.86)$$

$$\angle xBB_0 - \gamma + 360 = \psi \quad (4.87)$$

41	$(y_E - y_A) \text{ ENTER } (x_E - x_A): RP \rightarrow [ ] \geq \angle xAE$	(4.81/41)
	$(\angle xAE - \epsilon) \text{ ENTER } b: PR \rightarrow + x_A = x_B \geq + y_A = y_B$	(4.83/41)
	$(y_A - y_B) \text{ ENTER } (x_A - x_B): RP \rightarrow [ ] \geq \angle xBA$	(4.84/41)
	$-y_B \text{ ENTER } -x_B: RP \rightarrow [ ] \geq \angle xBB_0$	(4.85/41)
	$\angle xBA - \angle xBB_0 = \sin \arcsin = \mu$	(4.86/41)
	$360 + \angle xBB_0 - \gamma = \psi$	(4.87/41)
RETURN (Ende Label 31)		



Zeile 3100:

<b>85</b>	Berechnung von $\mu$ und $\psi$ : $\nrightarrow x_{AE} \rightarrow A6 = \text{ATN2}(E8 - A8, E7 - A7)$ (4.81/85) $x_B \rightarrow B7 = B * \cos(A6 - E1) + A7$ (4.82/85) $y_B \rightarrow B8 = B * \sin(A6 - E1) + A8$ (4.83/85) $\nrightarrow x_{BA} \rightarrow B6 = \text{ATN2}(A8 - B8, A7 - B7)$ (4.84/85) $\nrightarrow x_{BB_0} \rightarrow B3 = \text{ATN2}(-B8, -B7)$ (4.85/85) $\mu \rightarrow M7 = B6 - B3$ (4.86/85) $\psi \rightarrow P7 = 360 + B3 - G$ (4.87/85) RETURN
-----------	---

Zur Einleitung des Gesamt-Synthese-Programms mit festgelegten Symmetrie-Kurbellagen (Mittelsenkrechten-Paarungen) dient:

*Einführung für Synthese-Programm*

HP-41: *Label 33*

HP-85: *Zeile 3300*  
(Tabelle 4.76)

<b>41</b>	XEQ 21: Berechnung der Kurbellagen für festgelegte Werte $\gamma, f_1, p, h$ XEQ 25: Berechnung des Winkels $\varphi_{15}$ XEQ 26: Koordinaten für Drei-Punkte-Kreis STOP
-----------	---

Zeile 3300:

<b>85</b>	5-Punkte-Synthese: Eingabe von p (P) und h (H) GOSUB 1800: Eingabe von $\gamma$ (G) und $f_1$ (F1) GOSUB 2100: Kurbellagenberechnung GOSUB 2500: Berechnung von $\varphi_{15}$ GOSUB 2600: Berechnung der Gelenkviereck-Gliedlängen GOTO 1200: zurück in das Hauptprogramm
-----------	--

## 4.3.8 HP-41-Zahlenbeispiel für die 5-Punkte-Synthese

Das Zahlenbeispiel mit den bisher verwendeten Eingangsgrößen soll für die 5-Punkte-Synthese fortgesetzt werden. Alle notwendigen Zwischenergebnisse sind also noch gespeichert, sie können an beliebiger Stelle eingesetzt oder ausgedruckt werden. Der Gang der Rechnung läßt sich in den Flußdiagrammen (Tabellen 4.63 und 4.64) leicht verfolgen. Label 35 kann allein für sich mit den Eingangs-E-Koordinaten ausgedruckt werden.

Nachdem man sich an Hand der Übersichts-Schriebe, Tabellen 4.4/41 und 4.5/41 auf eine der vier sich bietenden Möglichkeiten entschieden hat, gibt man nach Tabelle 4.6/41 die zugehörigen Kennwerte, hier  $+1 = p = R_{19}$  und  $-1 = h = R_{46}$  ein und beginnt mit

Tabelle 4.6/41 Zahlenbeispiel für 5-Punkte-Synthese

XEQ 35  
↓

=====

**GY-KOPPELK.  
5 GENAUPKTE**

**KOORD.E-PKTE**

X1,Y1,X2,Y2	Eingangsgrößen
-35.8853	$X_{E1} = R_{11}$
-64.4953	$Y_{E1} = R_{21}$
-34.7853	$X_{E2} = R_{12}$
-71.3954	$Y_{E2} = R_{22}$

**X3,Y3,X4,Y4**

-13.8853	$X_{E3} = R_{13}$
-78.1954	$Y_{E3} = R_{23}$
-1.2853	$X_{E4} = R_{14}$
-73.7954	$Y_{E4} = R_{24}$

**X5,Y5**

11.3147	$X_{E5} = R_{15}$
-64.4954	$Y_{E5} = R_{25}$

XEQ 33  
↓

.....

**GAMMA,F1,P**

210.0000	$\gamma = R_{10}$
90.0000	$f_1 = R_{20}$
1.0000	$p = R_{19}$

**A,D**

27.9283	$a = R_{02}$
69.9874	$d = R_{05}$

**PHI\*12,13,14**

128.5410	$\varphi^* = R_{38}$
23.2408	$\varphi_{12} = R_{39}$
79.6772	$\varphi_{13} = R_{40}$
102.9180	$\varphi_{14} = R_{41}$

**PHI-M**

180.0000	$\varphi_m = R_{43}$
----------	----------------------

.....

**P,PHI-15,H**

1.0000	$p = R_{19}$
127.0812	$\varphi_{15} = R_{42}$
-1.0000	$h = R_{46}$

=====

**MUE-M-M\***

49.3804	$\mu_m$
20.6421	$\mu_m^*$

.....

**PSI-1**

99.2967	$\psi_1 = R_{44}$
---------	-------------------

**A,B,C,D,S**

27.9283	$a = R_{02}$
116.4660	$b = R_{03}$
117.7358	$c = R_{04}$
69.9874	$d = R_{05}$
1.0000	$s = R_{06}$

**EPS..E**

-122.2339	$\epsilon = R_{07}$
64.3897	$e = R_{08}$

.....

**MUE-1,PSI-1**

-45.1945	$\mu_1$
99.2967	$\psi_1$

**MUE-2,PSI-2**

-48.0905	$\mu_2$
106.7879	$\psi_2$

**MUE-3,PSI-3**

-48.0905	$\mu_3$
122.6950	$\psi_3$

**MUE-4,PSI-4**

-45.1945	$\mu_4$
127.3905	$\psi_4$

**MUE-5,PSI-5**

-40.7064	$\mu_5$
130.5859	$\psi_5$

XEQ 33. Zu Beginn werden als Richtschnur die Haupt-Eingangswerte  $\gamma$  und  $f_1$  ausgedruckt. Dann läuft das Programm über Label 21 und Label 25 mit den dazugehörigen Unterprogrammen, wie in Tabelle 4.62 dargestellt. Es werden also mit definierten  $p$  und  $h$  die Ergebnisse bis  $\mu_m^*$  berechnet und ausgedruckt. Dann sind die Gelenkviereck-Abmessungen zu berechnen und auszudrucken, wobei die IF-Schranken für die 4-Punkte-Synthese ohne Wirkung überschritten werden.

Das Flußdiagramm wird nach Tabelle 4.64 mit Label 30 verlängert, um für sämtliche fünf Getriebestellungen jeweils den Übertragungswinkel  $\mu$  und den Lagenwinkel  $\psi$ , den das in  $B_0$  gelagerte Glied  $c$  mit dem Gestell einschließt, zu berechnen und auszudrucken. Hier wird das Unterprogramm Label 31 fünfmal abgerufen. Im Schrieb, Tabelle 4.6/41 werden einige Werte doppelt ausgedruckt, was der besseren Übersicht halber, aber auch als Kontrolle vorgesehen ist.

#### 4.3.9 HP-85-Zahlenbeispiel für die 5-Punkte-Synthese

Zur Berechnung verzweigen wir aus dem bereits in Tabelle 4.4/85 dargestellten Bildschirmmenü durch Betätigen von **[5] [RETURN]** in die 5-Punkte-Synthese (siehe Tabelle 4.6/85). Aus den Programmablaufplänen in Tabelle 4.75 und 4.76 erkennt man, daß dadurch die Programmzeile 3300 aufgerufen und zur Eingabe der Kennwerte  $p$  und  $h$  aufgefordert wird. Für dieses Zahlenbeispiel wählen wir  $p = 1$  und  $h = -1$ .

Tabelle 4.6/85 5-Punkte-Synthese

```
*  H A U P T P R O G R A M M  *
*  -----  *
*mit Berechnung der Kurbellagen*
*      und des      *
*  Gesamt-Gelenkvierecks  *
*****
```

Zur Wahl stehen:

```
Kurbellagen-Übersicht  >>>>  [0]
5-Punkte-Synthese      >>>>  [5]
4-Punkte-Synthese      >>>>  [4]
Andere Einzellage      >>>>  [-]
?
```

**[5] [RETURN]**

```
*
*5-P U N K T E-S Y N T H E S E *
*
*****
```

Werte eingeben :  
-----

```
P = ?
1
h = ?
-1
```

Tabelle 4.6/85 (Fortsetzung)

Wählen Sie die freien Parameter

=====

**\*\*Gamma\*\***

**\*\*f(1)\*\***

-----

Gamma = ?

210

f(1) = ?

90

\*\*\*\*\*

=====

KURBELLAGEN -  
ÜBERSICHT

-----

Parameter und Ergebnisse:

-----

Gamma = 210.000

f1 = 90.000

P = 1.000

a = 27.928

d = 69.907

Fni(\*) = 128.541

Phi(12) = 23.241

Phi(13) = 79.677

Phi(14) = 102.918

Fni(m) = 180.000

-----

Ergebnisse der A5-Berechnung:

-----

P = 1.000

Phi(15) = 127.081

h = -1.000

=====

Gelenkviereck -  
Abmessungen

-----

MÜ(m) = 49.380

MÜ(m\*) = 20.642

Fsi(1) = 99.297

-----

a = 27.928

b = 116.466

c = 117.736

d = 69.907

s = 1.000

-----

Epsilon = -122.234

e = 64.390

-----

**Tabelle 4.6/85 (Fortsetzung)**

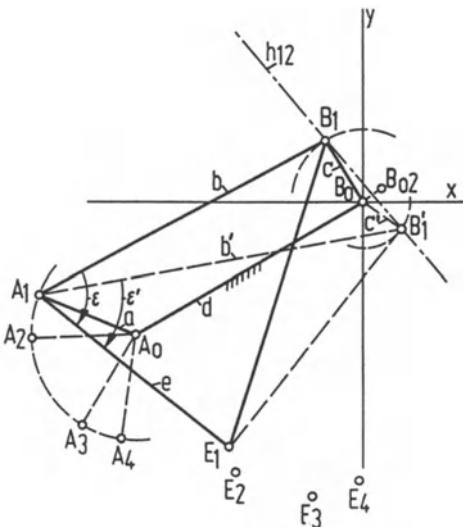
	Mü(1)	und	Psi(i)
Mü(1)	-45.195	Psi(1)	99.297
Mü(2)	-48.091	Psi(2)	106.788
Mü(3)	-48.091	Psi(3)	122.695
Mü(4)	-45.195	Psi(4)	127.390
Mü(5)	-40.706	Psi(5)	130.586

Im weiteren Ablauf werden Werte für  $\gamma$  und  $f_1$  abgefragt. Tabelle 4.6/85 zeigt, daß wir die schon bei der Kurbellagenberechnung (Tabelle 4.4/85) verwendeten Werte  $\gamma = 210$  und  $f_1 = 90$  verwenden. Hiernach läuft das Programm durch die in Tabelle 4.76 gezeigten Subroutinen 2100 und 2500, um schließlich im Unterprogramm ab Zeile 2600 die Berechnung der Gelenkviereck-Gliederungen auszuführen (vgl. Tabelle 4.77).

Alle Ergebnisse dieses Programmlaufs sind in Tabelle 4.6/85 so dargestellt, wie sie auf dem Bildschirm bzw. über den Drucker des HP-85 ausgegeben werden. Das Programm kehrt nach der Ergebnisausgabe in das Hauptmenü zurück, das die Auswahl zwischen Kurbellagenübersicht, 5-Punkte-Synthese oder 4-Punkte-Synthese gestattet. Ebenfalls möglich ist die Rückkehr in die Einzellagen-Auswahl.

#### 4.3.10 HP-41-Zahlenbeispiel für die 4-Punkte-Synthese

Das gesamte bisher behandelte Programm ist mit entsprechenden Änderungen, die automatisch im Rechner vorgenommen werden, auch für nur vier vorgeschriebene Genaupunkte verwendbar. Die einzige manuell vorzunehmende Maßnahme besteht in der Gleichsetzung  $x_4 = x_5$  und  $y_4 = y_5$ .



### Bild 4.11

**Grundlagen zur Berechnung eines Gelenkvierecks für 4 Genaupunkte auf einer gegebenen Bahnkurve. Zusätzlich freie Wahl der Gelenkpunktlage  $B_1$  auf der Mittelsenkrechten  $h_{12}$**

Das Zahlenbeispiel soll wieder mit denselben Daten behandelt werden wie bisher. Nach Bild 4.11 fällt der Punkt  $B_{05}$  weg, und es ist nicht mehr ein Kreis durch drei Punkte  $B_0$ ,  $B_{02}$ ,  $B_{05}$  sondern nur eine Mittelsenkrechte  $h_{12}$  auf  $B_0B_{02}$  zu zeichnen. Auf  $h_{12}$  kann man nun unendlich viele Punkte  $B_1$  annehmen, jeder einzelne muß ein Gelenkviereck ergeben, dessen Koppelpunkt E die vier Genaupunkte  $E_1$  bis  $E_4$  genau durchläuft. Man kann also z.B. für  $B_1$  eine beliebige Koordinate  $x_B (= R_{49})$  eingeben. Zur Berechnung wird XEQ 50 eingegeben (siehe Tabelle 4.7/41), das Programm läuft dann nach Flußplan, Tabelle 4.63, mit Berücksichtigung der IF-Schranken ab. Für zwei Werte  $x_B = R_{49} = -10$  und  $+10$  sind in Tabelle 4.7/41 die Ergebnisse ausgedruckt, die dazugehörigen Gelenkvierecke sind in Bild 4.11 aufgezeichnet mit  $x_{B1} = -10$  und  $x_{B1} = +10$ . Zu den Übertragungswinkeln  $\mu$  ist zu bemerken, daß für  $\mu = 0^\circ$  bzw.  $180^\circ$  bzw.  $360^\circ$  keine lauffähigen Gelenkvierecke zustande kommen. Deshalb ist auch deren Nähe (bis auf etwa  $30^\circ$ ) zu vermeiden. Die Bestwerte liegen bei  $\mu = 90^\circ$  und  $270^\circ$ .

Tabelle 4.7/41 Zahlenbeispiel für 4-Punkte-Synthese

Programm „13“  
XEQ 51

=====  
BO-EING.

X1,Y1,X2,Y2

1.0000-08	$x_1 = R_{11}$
1.0000-05	$y_1 = R_{21}$
1.1000	$x_2 = R_{12}$
-6.9000	$y_2 = R_{22}$

X3,Y3,X4,Y4

22.0000	$x_3 = R_{13}$
-13.7000	$y_3 = R_{23}$
34.6000	$x_4 = R_{14}$
-9.3000	$y_4 = R_{24}$

X5,Y5

34.6000	$x_5 = x_4 = R_{15}$
-9.3000	$y_5 = y_4 = R_{25}$

=====

M-S:14-23

X80,Y80

35.8853 \*\*\*  
64.4954 \*\*\*

PSI-TW-UV

28.0938 \*\*\*  
15.9871 \*\*\*

=====

K00.F.B0

X1,Y1,X2,Y2

-35.8853 \*\*\*  
-64.4953 \*\*\*  
-34.7853 \*\*\*  
-71.3954 \*\*\*

X3,Y3,X4,Y4

-13.8853 \*\*\*  
-78.1954 \*\*\*  
-1.2853 \*\*\*  
-73.7954 \*\*\*

X5,Y5

-1.2853 \*\*\*  
-73.7954 \*\*\*

.....  
A5 JENS.4

=====  
GV-KOPPELK.  
5 GENAUPKTE

KOORD.E-PKTE

X1,Y1,X2,Y2

-35.8853 \*\*\*  
-64.4953 \*\*\*  
-34.7853 \*\*\*  
-71.3954 \*\*\*

X3,Y3,X4,Y4

-13.8853 \*\*\*  
-78.1954 \*\*\*  
-1.2853 \*\*\*  
-73.7954 \*\*\*

X5,Y5

-1.2853 \*\*\*  
-73.7954 \*\*\*

↓  
automatischer  
Übergang  
zum Programm „12“

Tabelle 4.7/41 (Fortsetzung)

Programm „12“			
XEQ 50		XEQ 50	
..... GAMMA,F1,P		..... GAMMA,F1,P	
210.0000	***	210.0000	$\gamma = R_{10}$
90.0000	***	90.0000	$f_1 = R_{20}$
1.0000	***	1.0000	$p = R_{19}$
A,D		A,D	
27.9283	***	27.9283	***
69.9074	***	69.9074	***
PHI*12,13,14		PHI*12,13,14	
128.5410	***	128.5410	***
23.2408	***	23.2408	***
79.6772	***	79.6772	***
102.9180	***	102.9180	***
PHI-M		PHI-M	
180.0000	***	180.0000	***
=====		=====	
..... 4 GENAUPKTE		..... 4 GENAUPKTE	
XB		XB	
10.0000	***	-10.0000	$x_B = R_{49}$
MUE-M-M*		MUE-M-M*	
84.9954	***	120.6129	***
NICHT UMLAUFF.		NICHT UMLAUFF.	
..... PSI-1		..... PSI-1	
-65.1819	***	91.7402	***
A,B,C,D,S		A,B,C,D,S	
27.9283	***	27.9283	***
98.1408	***	86.7781	***
12.2350	***	19.0089	***
69.9074	***	69.9074	***
1.0000	***	1.0000	***
EPS.,E		EPS.,E	
-48.5144	***	-66.2534	***
64.3897	***	64.3897	***
..... MUE-1,PSI-1		..... MUE-i,PSI-i	
-314.4355	***	-93.6185	***
294.8181	***	91.7402	***
MUE-2,PSI-2		MUE-2,PSI-2	
-286.2886	***	-111.6275	***
271.2665	***	114.3444	***
MUE-3,PSI-3		MUE-3,PSI-3	
-286.2886	***	-111.6275	***
287.1736	***	130.2515	***
MUE-4,PSI-4		MUE-4,PSI-4	
-314.4355	***	-93.6185	***
322.9119	***	119.8340	***

Im Label 47 wird  $x_B = R_{49}$  (angenommener Wert) ausgedruckt;  $y_B = R_{45}$  wird dann berechnet aus:

$$\arccos \frac{|x_{B02}|}{x_{B02}} + \arctan \frac{y_{B02}}{x_{B02}} = \angle x_{B0}t + 90 = \tan = m \quad (4.88)$$

$$m(x_B - \frac{x_{B02}}{2}) + \frac{y_{B02}}{2} = y_B \quad (4.89)$$

Hiernach wird Label 48 aufgerufen, wo  $x_B$  und  $y_B$  anstelle der Koordinaten  $x_{B1}$  und  $y_{B1}$  eingesetzt werden.

#### 4.3.11 HP-85-Zahlenbeispiel für die 4-Punkte-Synthese

Zur Berechnung verzweigen wir aus dem in Tabelle 4.4/85 dargestellten Bildschirmmenü durch Betätigen von **4** **RETURN** in die 4-Punkte-Synthese (siehe Tabelle 4.7/85). Aus den Programmablaufplänen in Tabelle 4.78 erkennt man, daß dadurch die Programmzeile 5000 aufgerufen und dort  $x_4 = x_5$  und  $y_4 = y_5$  gesetzt werden. Danach wird zur Eingabe von  $p$  aufgefordert,  $h = \pm 1$  braucht in diesem Fall der 4-Punkte-Synthese nicht eingegeben zu werden. Weitere Details können Abschnitt 4.3.10 entnommen werden.

Tabelle 4.7/85 4-Punkte-Synthese

```
*   H A U P T P R O G R A M M   *
*   -----                     *
*mit Berechnung der Kurbellagen*
*      und des                   *
*   Gesamt-Gelenkvierecks       *
*****
```

Zur Wahl stehen:

```
Kurbellagen-Übersicht  >>>>  [0]
5-Punkte-Synthese      >>>>  [5]
4-Punkte-Synthese      >>>>  [4]
Andere Einzellage      >>>>  [-]
?
```

**4** **RETURN**

```
**   !!!!! ACHTUNG   !!!!!   **
```

```
**       Es muß erst die       **
**       5-PUNKTE-SYNTHESE     **
**       ausgeführt werden !!!  **
*****
```



Tabelle 4.7/85 (Fortsetzung 1)

```

*****
*
*4-PUNKT E-SYNTHESE*
*
*****

```

Werte eingeben :

P = ?  
1

Wählen Sie die freien Parameter  
=====

\*\*\*Gamma\*\*            \*\*f(1)\*\*

Gamma = ?  
210

f(1) = ?  
90

=====

Parameter und Ergebnisse:

```

Gamma      = 210.000
f1         = 90.000
P          = 1.000
a          = 27.928
d          = 69.907
Phi(*)     = 128.541
Phi(12)    = 23.241
Phi(13)    = 79.677
Phi(14)    = 102.918
Phi(m)     = 180.000

```

\*\*\*\*\*

Gelenkviereck mit  
vier Genauipunkten

x(B) = -10

Tabelle 4.7/85 (Fortsetzung 2)

```

**      !!!!! ACHTUNG      !!!!!  **
**      Das Gelenkviereck ist      **
**      N I C H T      **
**      u m l a u f f ä h i g      **
*****

```

```

=====
      G E L E N K V I E R E C K -
      A B M E S S U N G E N
-----
      MÜ(m)      =      120.613
      MÜ(m*)     =      20.642
      Psi(1)     =      91.740
-----
           a      =      27.928
           b      =      86.778
           c      =      19.009
           d      =      69.907
           s      =      1.000
-----
      Epsilon    =      -66.253
           e      =      64.390
-----

```

```

=====
           MÜ(i)      und      Psi(i)
-----
      MÜ(1)  -93.618  Psi(1)  91.740
      MÜ(2) -111.627  Psi(2)  114.344
      MÜ(3) -111.627  Psi(3)  130.252
      MÜ(4)  -93.618  Psi(4)  119.834
-----

```

```

=====
      K U R B E L L A G E N -
      O B E R S I C H T
-----
      Parameter ud Ergebnisse:
-----
      Gamma      =      210.000
      f1         =      90.000
      P          =      1.000
      a          =      27.928
      d          =      69.907
      Phi(*)     =      128.541
      Phi(12)    =      23.241
      Pni(13)    =      79.677
      Phi(14)    =      102.918
      Pni(m)     =      180.000
-----

```

Tabelle 4.7/85 (Fortsetzung 3)

```

*****
      Gelenkviereck mit
      vier Genaupunkten
-----
      x(B) = 10

**  !!!!! ACHTUNG  !!!!!  **

**  Das Gelenkviereck ist  **
**      N I C H T         **
**  u m l a u f f ä h i g  **

*****

=====
      G E L E N K V I E R E C K -
      A B M E S S U N G E N
-----
      MÜ(m)   =   84.995
      MÜ(m*)  =   20.642
      Psi(1)  =  -65.182
-----
      a       =   27.928
      b       =   98.141
      c       =   12.235
      d       =   69.907
      s       =    1.000
-----
      Epsilon =  -48.514
      e       =   64.390
-----

=====
      MÜ(i)   und   Psi(i)
-----
      MÜ(1) -314.435  Psi(1) 294.818
      MÜ(2) -286.289  Psi(2) 271.266
      MÜ(3) -286.289  Psi(3) 287.174
      MÜ(4) -314.435  Psi(4) 322.912
-----

```

Eine Besonderheit des HP-85-Programms ist, daß Fehlberechnungen durch Aufruf der 4-Punkte-Synthese *vor* der 5-Punkte-Synthese nicht möglich sind. Es wird nämlich bei jedem Aufruf in dieser Reihenfolge dazu aufgefordert, zuerst die 5-Punkte-Synthese auszuführen (Verzweigung nach Programmzeile 6000).

Wie im Falle der 5-Punkte-Synthese werden die Unterprogramme „Parametereingabe“ (Zeile 1800), „Symmetriellagen-Berechnung“ (2100) und „Berechnung von Gelenkviereck-Gliedlängen“ (2600) nacheinander aufgerufen. Nicht verwendet wird – natürlich – die Routine „A5-Berechnung“ (Zeile 2500).

Wegen der Gleichsetzung von  $x_4$ ,  $x_5$  und  $y_4$ ,  $y_5$  wird aus Programmzeile 2634 nach 4700 verzweigt. Dort wird zur Eingabe von  $x_B$  (= B7) aufgefordert (im Beispiel gleich + 10 und - 10).  $y_B$  wird danach wie folgt berechnet (Zeile 4750):

$$m \rightarrow M1 = \text{TAN}(\text{ATN2}(R2, Q2) + 90) \quad (4.88/85)$$

$$y_B \rightarrow B8 = M1 * (X - Q2/2) + R2/2 \quad (4.89/85)$$

Für die weitere Berechnung ab Zeile 4800 werden noch die Variablen umbenannt:

$$x_{B1} = x_B \rightarrow X6 = B7$$

$$y_{B1} = y_B \rightarrow Y6 = B8$$

#### 4.3.12 Das Gesamtprogramm 5-Punkte-Synthese

**41** Der Ausdruck des Gesamtprogramms der 5- (und 4-) Punkte-Synthese ist in Tabelle 4.65 zu erkennen. Das Programm trägt die Haupt-Bezeichnung „Label HN 12“, es wird bei Benutzung des HP-Massenspeichers selbsttätig nach Beendigung des Vorprogramms „Label HN 13“ mit „α 13 α Readp“ in den Rechner eingelesen und sofort nach Label 35 zum Ausdruck der E-Koordinaten, hier lediglich zur Kontrolle, weitergeleitet.

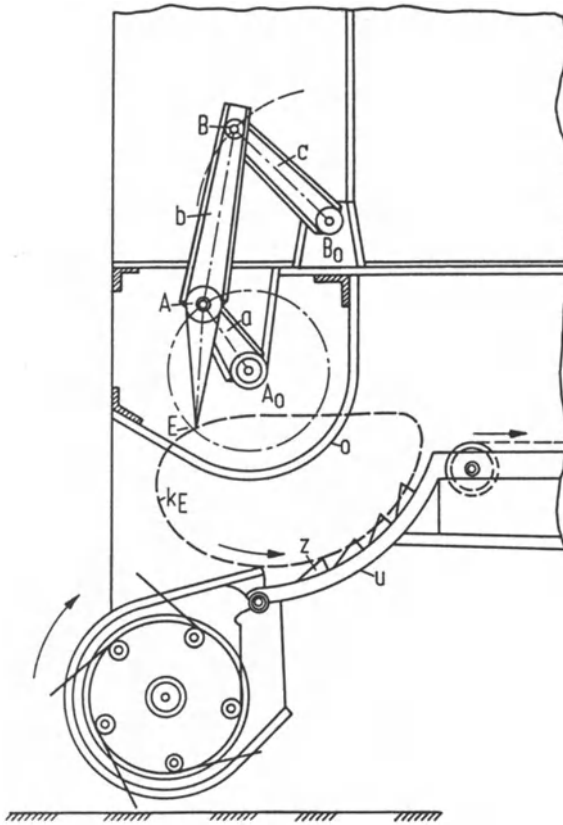
Die einzelnen Labels können in beliebiger Reihenfolge im Programm untergebracht werden, der Rechner findet in jedem Falle das ihm manuell oder durch Programm eingegebene Teilprogramm. Ein wichtiger Grund für eine bestimmte Reihenfolge kann die Forderung nach einer möglichst kurzen Rechenzeit sein.

**85** Das Gesamtprogramm für den HP-85 ist in Tabelle 4.71 aufgelistet. Tabelle 4.70 enthält eine Referenzliste mit der Zuordnung der mathematischen Variablennamen zu den im Rechnerprogramm verwendeten. Die Struktogramme ab Tabelle 4.72 ergänzen die Erklärungen.

### 4.4 Praxisbeispiele für Koppelkurven-Synthese

#### 4.4.1 Fördergetriebe in einem landwirtschaftlichen Ladewagen

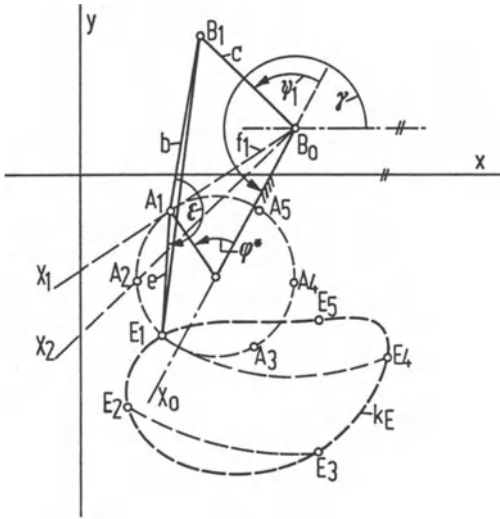
Die Koppelkurven des Gelenkvierecks haben bei Fördergetrieben innerhalb der Maschinen eine große Bedeutung erlangt. Im Bild 4.12 ist der Förderteil eines Ladewagens dargestellt. Im Bodenbereich ist die *Pick-up-Trommel* mit fünf Federzinken zu erkennen, und schon hier tritt ein Förderproblem insofern auf, als die Zinken sich mit ihren Spitzen nicht unbedingt auf einem Kreis um den Trommeldrehpunkt bewegen sollen, sie sollen auch bei der Übergabe eine genügend große Beschleunigung haben, um dem Fördergut eine zusätzliche Wurfbewegung aufzuzwingen.

**Bild 4.12**

Fördergetriebe eines landwirtschaftlichen Ladewagens mit Ausnutzung einer Gelenkviereck-Koppelkurve  $k_E$  für 5 Genaupunkte

Dann wird das Fördergut von den Zinken eines Gelenkvierecks erfaßt und bis zum Beginn eines Förderbandes bzw. eines ruckweise bewegten Roll- bzw. Kratzbodens weiterbewegt. Auf die Wiedergabe zusätzlicher Einrichtungen, wie Schneidvorrichtungen, soll hier verzichtet werden. Für das Gelenkviereck bestehen für diesen Fall besondere Vorschriften. Seinen Koppelpunkt E soll eine Koppelkurve  $k_E$  so erzeugen, daß sie sich im Förderbereich einem kreisförmigen, unteren Führungsblech  $u$  gut annähert. Durch die Anordnung eines oberen Führungsbleches  $o$  entsteht zwischen den Blechen  $o$  und  $u$  ein Preßkanal, durch den das verdichtete Erntegut auf den Wagen geschoben werden kann. Die feststehenden Zinken  $z$  verhindern ein Zurückgleiten des Erntegutes.

Die wichtigste Aufgabe besteht aber darin, das gesamte Fördergetriebe, hier das Gelenkviereck, in dem nur knapp zur Verfügung stehenden Raum, in Fahrtrichtung gesehen, nämlich zwischen einer Vorderwand und einer Rückwand des Förderkanals unterzubringen. An diesem Beispiel kann gezeigt werden, daß schon in der Wahl der E-Genaupunkte auf der vorgeschriebenen Bahnkurve in manchen Fällen eine willkommene Freizügigkeit besteht. Nach Bild 4.13 kann man den Gestellpunkt  $B_0$  in dem zur Verfügung stehenden Raum in gewissen Grenzen beliebig annehmen. Dann schlägt man um  $B_0$  zwei Kreise so, daß sie die gegebene Bahnkurve paarweise in vier Punkten  $E_1 - E_4$  und  $E_2 - E_3$  schneiden. Man kann also diese Kreisbogen so legen, daß diese vier E-Punkte in der Nähe solcher

**Bild 4.13**

Erzwingung von Punktfolgenreduktionen des Ladewagen-Fördergetriebes durch raumgünstige Wahl des Gestellpunktes  $B_0$

Bahnkurvenbereiche liegen, auf deren Einhaltung man aus technologischen Gründen besonderen Wert legen muß. Den restlichen Punkt  $E_5$  wählt man wiederum an einer als wichtig angesehenen Stelle aus.

**41**

Wenn auf die Genauigkeit kein großer Wert gelegt wird, könnte man nun die E-Koordinaten, bezogen auf ein  $B_0$ -Achsenkreuz, und die Winkel  $\psi_{tw}$  und  $\psi_{uv}$  abmessen und mit XEQ 23 im File HN 12 beginnen. Es bereitet aber keine besondere Mühe, die nunmehr festgelegten E-Koordinaten auf ein beliebiges xy-System, Bild 4.13, festzulegen und im File HN 13 mit dem Vorprogramm zu beginnen, da dieses automatisch auf File HN 12 übergeht.

Auf das Ausdrucken der Eingangswerte im Vorprogramm mit XEQ 36 kann man gegebenenfalls verzichten, da diese auf alle Fälle beim Übergang zum Hauptprogramm mit den Labels der 50er Reihe automatisch ausgedruckt werden. Nach Tabelle 4.8/41 beginnt man also im Vorprogramm mit XEQ 41 und  $1 = R_{09}$  den Rechenvorgang. Da man sich mit den Symmetrielen schon auf die Paarung M–S: 14–23 festgelegt hat, leitet man die Weiterrechnung mit dem dieser Paarung entsprechenden Befehl XEQ 51 ein und erhält zunächst die Eingangs-E-Koordinaten mit „ $B_0$ -Eing.“ ausgedruckt. Dann werden die  $B_0$ -Koordinaten und die Winkel  $\psi_{tw}$ ,  $\psi_{uv}$  angezeigt, um nunmehr die auf  $B_0$  bezogenen Koordinaten und die Lage  $A_5$  (jenseits von  $A_4$ ) zu erhalten. Der automatische Übergang zum Hauptprogramm wird durch einen zweiten Ausdruck dieser Koordinaten mit „GV-Koppelk. 5 Genaupkte“ kontrolliert.

Mit XEQ 23 erhält man nun nach Eingabe von  $\gamma$  und  $f_1$  ( $F_1$ ) die  $\varphi$ -Winkel-Kombinationen in Abhängigkeit von den Kennwerten  $\pm 1 = p$  und  $\pm 1 = h$ . Nach Augenschein waren günstig:  $-1 = p = R_{19}$  und  $+1 = h = R_{46}$ , die man nun nur einzugeben braucht, um mit XEQ 33 die endgültigen Auskünfte über die Getriebe-Abmessungen, die Winkel  $\varphi$ ,  $\psi$  und  $\mu$  zu erhalten.

XEQ 41	M-S:25-34	M-S:14-23
↓ 1 = R <sub>09</sub>	XBO,YBO	XBO,YBO
=====	25.9837	55.7617
M-S:14-23	-25.2977	11.9668
XBO,YBO	PSI-TW-UV	PSI-TW-UV
55.7617	90.9434	56.0210
11.9668	29.8297	35.7823
=====	=====	=====
PSI-TW-UV	M-S:15-34	KOO.F.BO
56.0210	XBO,YBO	X1,Y1,X2,Y2
35.7823	40.7534	-34.7617
=====	-36.2404	-54.4668
M-S:15-23	PSI-TW-UV	-43.0617
XBO,YBO	157.5458	-72.4668
42.0773	42.6975	X3,Y3,X4,Y4
-48.1259	=====	7.4383
PSI-TW-UV	M-S:25-34	-83.9668
-137.3987	XBO,YBO	25.7383
108.6595	25.9837	-59.2668
=====	-25.2977	X5,Y5
M-S:15-24	PSI-TW-UV	5.6383
XBO,YBO	90.9434	-49.9668
36.6586	29.8297	=====
0.5221	=====	A5 JENS.4
PSI-TW-UV		↓
52.7111	XEQ 51	=====
64.5937	↓	GV-KOPPELK.
=====	=====	5 GENAUPKTE
M-S:15-34	BO-EING.	KOORD.E-PKTE
XBO,YBO	X1,Y1,X2,Y2	X1,Y1,X2,Y2
40.7534	21.0000	-34.7617
-36.2404	-42.5000	-54.4668
PSI-TW-UV	12.7000	-43.0617
157.5458	-60.5000	-72.4668
42.6975	X3,Y3,X4,Y4	X3,Y3,X4,Y4
=====	63.2000	7.4383
M-S:25-34	-72.0000	-83.9668
XBO,YBO	81.5000	25.7383
25.9837	-47.3000	-59.2668
-25.2977	X5,Y5	X5,Y5
PSI-TW-UV	61.4000	5.6383
90.9434	-38.0000	-49.9668
29.8297	=====	
=====		





Tabelle 4.8/85 5-Punkte-Synthese eines Ladewagen-Fördergetriebes

```
***      WERTEEINGABE      ***
*****
```

Eingabe der Eingangswerte :

```
X 1 / Y 1  = ?
21,-42.5
X 2 / Y 2  = ?
12.7,-60.5
X 3 / Y 3  = ?
63.2,-72
X 4 / Y 4  = ?
```

```
-----
TEST      KOORD      VORPR      CHECK
INFO      WERTE      1LAGE      HAUPT
```

1LAGE

(Taste #3)

```
*****
*      Die derzeit eöltigen      *
*      Eingangswerte sind:      *
```

```
X1/Y1 = 2.100E+001 -4.250E+001
X2/Y2 = 1.270E+001 -6.050E+001
X3/Y3 = 6.320E+001 -7.200E+001
X4/Y4 = 8.150E+001 -4.730E+001
X5/Y5 = 6.140E+001 -3.800E+001
=====
```

Mittelsenkrechte 14 - 23

```
-----
X(Bo) = 55.762
Y(Bo) = 11.967
```

```
PSI(tw) = 56.021
PSI(uv) = 35.782
=====
```

Koordinaten-Transformation  
auf den Ursprung Bo :

```
-----
X1/Y1 = -3.476E+001 -5.447E+001
X2/Y2 = -4.306E+001 -7.247E+001
X3/Y3 = 7.438E+000 -8.397E+001
X4/Y4 = 2.574E+001 -5.927E+001
X5/Y5 = 5.638E+000 -4.997E+001
=====
```

A(5) jenseits von A(4)

Tabelle 4.8/85 (Fortsetzung 1)

```
=====
K U R B E L L A G E N -
Ü B E R S I C H T
```

```
-----
Parameter und Ergebnisse:
```

```
-----
Gamma      = 241.500
f1         = 40.000
P          = 1.000
a          = 41.684
d          = 72.526
Phi(*)     = 26.786
Phi(12)    = 103.012
Phi(13)    = 203.416
Phi(14)    = 306.428
Phi(m)     = 180.000
-----
```

```
-----
Ergebnisse der A5-Berechnung:
```

```
-----
P          = 1.000
Phi(15)    = 335.878
h          = 1.000
-----
```

```
=====
G E L E N K V I E R E C K -
A B M E S S U N G E N
```

```
-----
MÜ(m)      = 65.440
MÜ(m*)     = 4.685
Psi(1)     = -78.177
-----
```

```
-----
a          = 41.684
b          = 117.933
c          = 88.240
d          = 72.526
s          = 1.000
-----
```

```
-----
Epsilon    = -90.899
e          = 32.426
-----
```

```
=====
MÜ(i)      und      Psi(i)
```

```
-----
MÜ(1)      15.097   Psi(1)   281.823
MÜ(2)     -58.654   Psi(2)    87.058
MÜ(3)     -58.654   Psi(3)   122.840
MÜ(4)      15.097   Psi(4)   -22.156
MÜ(5)       4.900   Psi(5)   -22.587
-----
```

Tabelle 4.8/85 (Fortsetzung 2)

```
=====
K U R B E L L A G E N -
Ü B E R S I C H T
```

```
-----
Parameter und Ergebnisse:
```

```
-----
Gamma      = 241.500
i1         = 40.000
P          = -1.000
a          = 20.878
d          = 44.425
Phi(*)     = 64.128
Phi(12)    = 57.160
Phi(13)    = 174.583
Phi(14)    = 231.743
Phi(m)     = 180.000
-----
```

```
-----
Ergebnisse der A5-Berechnung:
```

```
-----
P          = -1.000
Phi(15)    = 291.550
h          = 1.000
-----
```

```
=====
G E L E N K V I E R E C K -
A B M E S S U N G E N
```

```
-----
MÜ(m)      = 104.406
MÜ(m*)     = 28.764
Psi(1)     = 74.419
-----
```

```
-----
a          = 20.878
b          = 47.128
c          = 34.975
d          = 44.425
s          = 1.000
-----
```

```
-----
Epsilon    = -172.415
e          = 32.426
-----
```

```
=====
MÜ(i)      und      Psi(i)
```

```
-----
MÜ(1)      -55.982   Psi(1)      74.419
MÜ(2)      -88.758   Psi(2)     107.886
MÜ(3)      -88.758   Psi(3)     143.669
MÜ(4)      -55.982   Psi(4)     130.440
MÜ(5)      -28.954   Psi(5)     78.464
-----
```



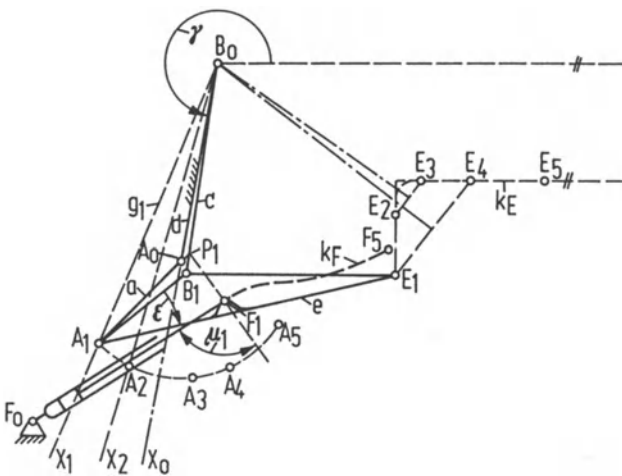
der Eckenrundung gegen Herausfallen gut gesichert ist. Bei der Horizontalbewegung in das Innere des Fahrzeuges wird wieder die Horizontallage des Ladegutes erreicht, um bequem abgeschoben werden zu können. Es bleibt selbstverständlich jederzeit die Möglichkeit offen, eine zusätzliche Kippbewegung für die Aufnahme und Abgabe des Ladegutes vorzusehen, ebenso auch eine seitliche Verschwenkung, um seitlich aufnehmen zu können.

Die 5-Punkte-Synthese des Hubgetriebes wurde auch hier mit der Annahme der Lage des Punktes  $B_0$  so begonnen, daß die Punkte  $E_1$  und  $E_4$ , sowie  $E_2$  und  $E_3$  auf der Rechteck-Koppelkurve  $k_E$  je einen Kreisbogen um  $B_0$  kennzeichnen, wobei  $E_1$  und  $E_2$  auf der Vertikalen,  $E_3$  und  $E_4$  auf der Horizontalen erscheinen müssen. Der Zusatzpunkt  $E_5$  wird noch auf der Horizontalen angenommen. Damit liegt aber auch schon die Mittelsenkrechten-Paarung MS: 14–23 fest.

41

Mit diesen Annahmen braucht nur das zugehörige XEQ 51 abgerufen zu werden, **Tabelle 4.9/41**. Unter „ $B_0$ -Eing.“ sind die Eingangs-E-Koordinaten, bezogen auf die Rechtwinkel-Koppelkurve als Achsenkreuz, mit den entsprechenden Nullwerten aufgeführt, die dann in die mit  $B_0$  als Ursprung parallel verschobenen Koordinaten unter „GV-Koppelk.“ umgewandelt werden.

Für die Synthese bieten sich als gut verwendbar die beiden Kennwerte  $p = +1 = R_{19}$  und  $h = -1 = R_{46}$  an. Hierfür sind in **Tabelle 4.9/41** mit I bis IV vier unterschiedliche Gelenkvierecke mit je XEQ 33 für unterschiedliche  $\gamma$  und  $f_1$  berechnet worden. Mit Berücksichtigung der erwähnten Neben-Bedingungen wurde die Version I ausgewählt und in den **Bildern 4.14** und **4.15** aufgezeichnet. Die festgesetzten Eingangsgrößen sind als Längenmaße im bestimmten Zeichenmaßstab dargestellt, sie lassen sich mühelos vom Rechner in die wahren Größen umrechnen.


**Bild 4.15**

Geometrische Grundlagen zur Berechnung eines Hubgetriebes für Rechtwinkel-Bahnkurve für 5 Genaupunkte

**Tabelle 4.9/41** Rechenablauf für 5-Punkte-Synthese eines Fahrzeug-Hubgetriebes

XEQ 51		XEQ 33			
		I	II	III	IV
=====					
BO-EING.					
X1,Y1,X2,Y2					
	0.0000				
	-26.0000				
	0.0000				
	-10.0000				
X3,Y3,X4,Y4					
	7.0000				
	0.0000				
	19.0000				
	0.0000				
X5,Y5					
	40.0000				
	0.0000				
M-S:14-23					
X80,Y80					
	-47.3000				
	36.5600				
PSI-TW-UV					
	25.6085				
	11.2425				
=====					
K00.F.80					
X1,Y1,X2,Y2					
	47.3000				
	-56.5600				
	47.3000				
	-40.5600				
X3,Y3,X4,Y4					
	54.3000				
	-30.5600				
	67.1000				
	-30.5600				
X5,Y5					
	87.3000				
	-30.5600				
=====					
A5 JENS.4					
=====					
GV-KOPPELK.					
5 GENAUPKTE					
KOORD. E-PKTE					
X1,Y1,X2,Y2					
	47.3000				
	-56.5600				
	47.3000				
	-40.5600				
X3,Y3,X4,Y4					
	54.3000				
	-30.5600				
	67.1000				
	-30.5600				
X5,Y5					
	87.3000				
	-30.5600				

**85** Dem HP-41-Programm folgend, werden die in Tabelle 4.9/41 ausgedruckten Eingangs-E-Koordinaten ( $B_0$ -Eing.) verwendet (Eingabe mit Taste #2 – WERTE). Mit der Mittelsenkrechten-Paarung 14–23 (Einzellage 1) wird dann zum Hauptprogramm und zur 5-Punkte-Synthese weitergeleitet ( $p = +1$  und  $h = -1$ ).

Tabelle 4.9/85 zeigt die Ergebnisse für vier unterschiedliche Gelenkvierecke I bis IV mit verschiedenen  $\gamma$  und  $f_1$ . Die Bilder 4.14 und 4.15 sind entsprechend Version I gezeichnet.

**Tabelle 4.9/85** 5-Punkte-Synthese eines Fahrzeug-Hubgetriebes

```
***      WERTEEINGABE      ***
*****
```

Eingabe der Eingangswerte :

```
X 1 / Y 1 = ?
0,-25
X 2 / Y 2 = ?
0,-15
X 3 / Y 3 = ?
7,0
X 4 / Y 4 = ?
19,8,0
```

```
TEST      KOORD      VORPR      CHECK
INFO      WERTE      ILAGE      HAUPT
```

1 LAGE

(Taste #3)

```
***  E I N Z E L L A G E N  ***
*      -----      *
*      mit Übergang zum      *
*      Hauptprogramm          *
*****
```

Wählen Sie die Einzellage:

```
-----
14 - 23 >>> [1]
15 - 23 >>> [2]
15 - 24 >>> [3]
15 - 34 >>> [4]
25 - 34 >>> [5]
?
```

1 RETURN

```
*****
*      Die derzeit gültigen      *
*      Eingangswerte sind:      *
*****
```

```
X1/Y1 = 0.000E+000 -2.600E+001
X2/Y2 = 0.000E+000 -1.000E+001
X3/Y3 = 7.000E+000 0.000E+000
X4/Y4 = 1.980E+001 0.000E+000
X5/Y5 = 4.000E+001 0.000E+000
=====
```

Tabelle 4.9/85 (Fortsetzung 1)

Mittelsenkrechte 14 - 23

X(Bo) = -47.300  
Y(Bo) = 30.560

PSI(tw) = 25.609  
PSI(uv) = 11.242

Koordinaten-Transformation  
auf den Ursprung Bo :

X1/Y1 = 4.730E+001 -5.656E+001  
X2/Y2 = 4.730E+001 -4.056E+001  
X3/Y3 = 5.430E+001 -3.056E+001  
X4/Y4 = 6.710E+001 -3.056E+001  
X5/Y5 = 8.730E+001 -3.056E+001

R(5) jenseits von R(4)

\*\*\*\*\*

WAHLEN SIE :

Übergang zum Hauptprogramm >>> [✓]  
Neuanfang >>> [-]  
andere Einzellage >>> [+]  
?

[ / ] RETURN

\* H A U P T P R O G R A M M \*  
\* ----- \*  
\*mit Berechnung der Kurbellagen\*  
\* und des \*  
\* Gesamt-Gelenkvierecks \*  
\*\*\*\*\*

Zur Wahl stehen:

Kurbellagen-Übersicht >>>> [0]  
5-Punkte-Synthese >>>> [5]  
4-Punkte-Synthese >>>> [4]  
Andere Einzellage >>>> [-]  
?

[ 5 ] RETURN



Tabelle 4.9/85 (Fortsetzung 2)

```

*                                     *
*5-P U N K T E-S Y N T H E S E *
*                                     *
*****

```

Werte eingeben :

```

-----
P = ?
1
h = ?
-1

```

Wählen Sie die freien Parameter

```

=====
**Gamma**      **f(1)**
-----

```

```

Gamma = ?
260

```

```

f(1)  = ?
81

```

```

=====
K U R B E L L A G E N -
U B E R S I C H T
-----

```

Parameter und Ergebnisse:

```

-----
Gamma      = 260.000
f1         = 81.000
P          = 1.000
a          = 30.795
d          = 53.964
Phi(*)     = 144.343
Phi(12)    = 20.152
Phi(13)    = 51.162
Phi(14)    = 71.314
Phi(m)     = 180.000
-----

```

Ergebnisse der A5-Berechnung:

```

-----
P          = 1.000
Phi(15)    = 103.273
h          = -1.000

```

```

**  !!!!! ACHTUNG  !!!!!  **

```

```

**  Das Gelenkviereck ist  **
**      N I C H T      **
**  u m l a u f f ä h i g  **

```

```

*****

```

Tabelle 4.9/85 (Fortsetzung 3)

```
=====
  G E L E N K V I E R E C K -
  A B M E S S U N G E N
=====
```

```
MÜ(m)   = 157.071
MÜ(m*)  =  0.000
Psi(1)  = -178.262
```

```
-----
      a   = 30.795
      b   = 30.084
      c   = 56.238
      d   = 53.964
      s   =  1.000
-----
```

```
Epsilon = -26.242
      e   = 80.751
-----
```

```
=====
      MÜ(i)   und   Psi(i)
=====
```

```
-----
MÜ(1) -222.537  Psi(1) 181.738
MÜ(2) -207.719  Psi(2) 183.963
MÜ(3) -207.719  Psi(3) 195.206
MÜ(4) -222.537  Psi(4) 207.347
MÜ(5) -251.772  Psi(5) 226.957
-----
```

```
=====
  K U R B E L L A G E N -
  Ü B E R S I C H T
=====
```

```
-----
Parameter und Ergebnisse:
-----
```

```
Gamma   = 260.000
f1       = 83.000
P        =  1.000
a        = 34.078
d        = 52.249
Phi(*)   = 147.332
Phi(12)  = 18.410
Phi(13)  = 46.927
Phi(14)  = 65.337
Phi(m)   = 180.000
-----
```

```
-----
Ergebnisse der A5-Berechnung:
-----
```

```
P        =  1.000
Phi(15)  = 93.273
h        = -1.000
```

Tabelle 4.9/85 (Fortsetzung 4)

```

**   !!!!! ACHTUNG   !!!!!   **
**   Das Gelenkviereck ist   **
**       N I C H T       **
**   u m l a u f f ä h i g   **

```

```

*****

```

```

=====
G E L E N K V I E R E C K -
A B M E S S U N G E N
=====

```

```

MÜ(m)   = 157.330
MÜ(m*)  =  0.000
Psi(1)  = -179.845

```

```

-----
a   = 34.078
b   = 28.433
c   = 59.392
d   = 52.249
s   = 1.000

```

```

-----
Epsilon = -25.169
e        = 81.936
-----

```

```

=====
MÜ(i)    und    Psi(i)

```

```

-----
MÜ(1) -220.892  Psi(1) 180.155
MÜ(2) -207.094  Psi(2) 183.071
MÜ(3) -207.094  Psi(3) 194.314
MÜ(4) -220.892  Psi(4) 205.763
MÜ(5) -247.302  Psi(5) 223.735
-----

```

```

=====
K U R B E L L A G E N -
Ü B E R S I C H T
-----

```

```

Parameter und Ergebnisse:

```

```

-----
Gamma   = 266.500
f1      = 86.000
P       = 1.000
a       = 57.014
d       = 30.128
Phi(*)  = 160.470
Phi(12) = 10.941
Phi(13) = 28.118
Phi(14) = 39.059
Phi(m)  = 180.000
-----

```

Tabelle 4.9/85 (Fortsetzung 5)

Ergebnisse der A5-Berechnung:

```

P      = 1.000
Phi(15) = 54.923
h      = -1.000

```

\*\* !!!!! ACHTUNG !!!!! \*\*

\*\* Das Gelenkviereck ist \*\*  
 \*\* N I C H T \*\*  
 \*\* u m l a u f f ä h i g \*\*

\*\*\*\*\*

=====

G E L E N K V I E R E C K -  
 A B M E S S U N G E N

=====

```

MÜ(m)   = 164.674
MÜ(m*)  = 0.000
Psi(1)  = -108.288

```

```

a   = 57.014
b   = 13.531
c   = 74.018
d   = 30.128
s   = 1.000

```

```

Epsilon = -28.198
e        = 76.021

```

=====

MÜ(i)      und      Psi(i)

=====

```

MÜ(1) -210.030  Psi(1) 171.712
MÜ(2) -199.055  Psi(2) 177.292
MÜ(3) -199.055  Psi(3) 188.534
MÜ(4) -210.030  Psi(4) 197.320
MÜ(5) -229.647  Psi(5) 210.419

```

Tabelle 4.9/85 (Fortsetzung 6)

```
=====
  K U R B E L L A G E N -
  O B E R S I C H T
=====
```

```
-----
Parameter und Ergebnisse:
-----
```

```
Gamma    = 266.500
ti       = 88.000
P        = 1.000
a        = 66.680
d        = 22.047
Phi(*)   = 162.993
Phi(12)  = 9.529
Phi(13)  = 24.484
Phi(14)  = 34.013
Phi(m)   = 180.000
-----
```

```
-----
Ergebnisse der A5-Berechnung:
-----
```

```
P        = 1.000
Phi(15)  = 47.684
h        = -1.000
-----
```

```
**  (!!!!! ACHTUNG !!!!!)  **
```

```
**  Das Gelenkviereck ist    **
**      N I C H T          **
**  u m l a u f f ä h i g  **
```

```
*****
```

```
=====
  G E L E N K V I E R E C K -
  A B M E S S U N G E N
=====
```

```
MÜ(m)    = 166.171
MÜ(m*)    = 0.000
Psi(1)    = -189.873
-----
```

```
a        = 66.680
b        = 9.790
c        = 79.191
d        = 22.047
s        = 1.000
-----
```

```
Epsilon  = -28.080
e        = 77.222
-----
```

```
=====
      MÜ(i)    und    Psi(i)
=====
```

```
-----
MÜ(1) -207.366  Psi(1) 170.127
MÜ(2) -197.276  Psi(2) 176.259
MÜ(3) -197.276  Psi(3) 187.502
MÜ(4) -207.366  Psi(4) 195.735
MÜ(5) -225.119  Psi(5) 207.801
-----
```

Nach Ausführung I, Tabellē 4.9/41 bzw. Tabelle 4.9/85, werden mit ihren Abweichungen von  $180^\circ$  z.T. ungünstige Übertragungswinkel  $\mu$  angezeigt. Um hier höhere Güte der Bewegungs-Übertragung zu erreichen, wurde der auch für viele andere Zwecke empfehlenswerte Weg gegangen, die Anlenkung des Schubkolbenzylinders an einem zu höherer Übertragungsgüte führenden Koppelpunkt F, Bild 4.15, vorzunehmen. Der Übertragungswinkel  $\mu$  liegt dann zwischen dem Polstrahl PF und der Achse des Schubkolbens, wenn der Pol P jeweils Schnittpunkt der Kurbel a mit dem Hebel c (natürlich deren Gelenk-Verbindungslinien) ist. Der Koppelpunkt F beschreibt die Koppelkurve  $k_F$ , und aus deren Verlauf ist zu erkennen, daß sich der Übertragungswinkel in günstigen Grenzen hält. Mit guter Annäherung kann man dies rasch feststellen, wenn sämtliche Kreisbögen um  $F_0$ , dem Gestellpunkt des Schubkolben-Zylinders, die Koppelkurve möglichst „senkrecht“ schneiden, auf keinen Fall aber berühren.

#### 4.4.3 Abricht- und Prüfmechanismus für Evolventen-Zahnflanken

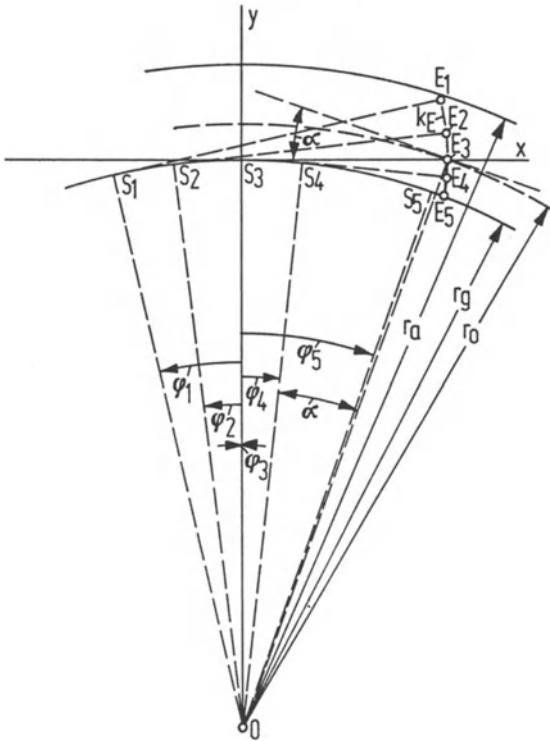
Die Koppelkurven des einfachen Gelenkvierecks sind so vielgestaltig, daß es sich lohnt, sie auch zum Nachmessen von Profilen [4.7], insbesondere von Verzahnungsprofilen [4.8] einzusetzen, wobei z.T. vorgeschlagen wird, die Abweichungen der Koppelkurve vom Zahnprofil zu berechnen und sie als Korrekturfaktoren beim Abtasten mit Mikrometergeräten zu berücksichtigen [4.9, 4.10]. Wenn also die Genauigkeit der Koppelkurve, d.h. ihre Annäherung an das Sollprofil, so hochgetrieben werden kann, daß sie unterhalb der zulässigen Toleranzen liegen, können Gelenkviereck-Führungen bedenkenlos auch bei der Zahnrad-Fertigung, z.B. für Abrichtgeräte beim Profilschleifen [4.11] eingesetzt werden.

Wenn bisher lediglich eine Vierpunkt-Führung bei symmetrischen Koppelkurven verwendet wurde, bietet sich nun mit dem 5-Genaupunkte-Verfahren eine empfehlenswerte Methode zur beachtlichen Genauigkeitssteigerung an. Es geht also zunächst darum, auf dem Zahnprofil fünf Genaupunkte anzunehmen und deren Koordinaten zu berechnen. Das Evolventenprofil wird durch das Abwälzen der Eingriffsgeraden auf dem Grundkreis mit dem Radius  $r_g$ , Bild 4.16, erzeugt [4.12]. Als Bezugsfaktor dient der Teilkreisradius  $r_0$ , und es ist bekanntlich  $r_g = r_0 \cdot \cos \alpha$ .

Im folgenden soll dem Zahnprofil ein Koordinatensystem zugeordnet werden, das die Tangente vom Wälzpunkt ( $E_3$  im Bild 4.16) an den Grundkreis als Abszisse und den Berührungspunkt ( $S_3$ ) als Ursprung hat. Das Profil wird außen vom Kopfkreis mit dem Radius  $r_a$  und theoretisch innen vom Spitzenpunkt der Evolvente begrenzt, wenn der erzeugende Punkt auf dem Grundkreis aufliegt. Den Genaupunkten  $E_1$  bis  $E_5$  auf dem Zahnprofil sollen die Winkel  $\varphi_1$  bis  $\varphi_5$  zugeordnet werden, die die Radiusstrahlen vom Drehpunkt 0 bis zu den Berührungspunkten  $S_1$  bis  $S_5$  mit der y-Achse einschließen. Diese Berechnungs-Grundlage führt zu einfachen, hier noch nicht behandelten Genauigkeitsberechnungen. Man findet die E-Koordinaten ( $\varphi$  und  $a$  im Winkelmaß):

$$r_0 \left[ \left( \sin \alpha + \frac{\cos \alpha \cdot \varphi \cdot \pi}{180} \right) \cos \varphi - \cos \alpha \cdot \sin \varphi \right] = x_E \quad (4.90)$$

$$r_0 \left[ \left( \sin \alpha + \frac{\cos \alpha \cdot \varphi \cdot \pi}{180} \right) \sin \varphi + \cos \alpha (\cos \varphi - 1) \right] = y_E \quad (4.91)$$

**Bild 4.16**

Geometrische Grundlagen zur Berechnung der E-Koordinaten eines Evolventen-Zahnprofils

**41**

Für diese E-Koordinaten-Berechnung wurde ein besonderes Rechenprogramm aufgestellt, bestehend aus einem *Unterprogramm Label 11* für HP-41C, das fünfmal von einem *Hauptprogramm Label 10* abgerufen wird. Die Programmfolge ist in **Tabelle 4.10/41** kenntlich gemacht (auf ein Flußdiagramm konnte wegen der einfachen Handhabung verzichtet werden). Im Rechenausdruck (XEQ 10) werden die E-Koordinaten zur Verfügung gestellt, die auf den Eingangswerten beruhen, nämlich auf den  $\varphi$ -Winkeln. Dem Zahlenbeispiel wurden  $\alpha = 20^\circ$ ,  $r_0 = 160$  (Modul  $m = 16$ , Zähnezahl  $z = 20$ ) zugrunde gelegt.

Nachdem nun die E-Koordinaten festliegen, kann im 5-Punkte-Vorprogramm zunächst mit XEQ 36 der  $B_0$ -Eingang nochmals ausgedruckt werden. Dann beginnt mit XEQ 41 und  $1 = R_{09}$  das Laufprogramm zur Ermittlung der fünf-fach möglichen  $B_0$ -Koordinaten mit den zugehörigen Winkeln  $\psi_{tw}$  und  $\psi_{uv}$ , **Tabelle 4.11/41**.

Tabelle 4.10/41 Koordinatenberechnung für Evolventen-Profil

XEQ 10

EVOLV.KOORD.  
X1,Y1,X2,Y2

52.7383	$x_1 = R_{11}$
16.1304	$y_1 = R_{21}$
54.2241	$x_2 = R_{12}$
7.7870	$y_2 = R_{22}$
X3,Y3,X4,Y4	
54.7232	$x_3 = R_{13}$
0.0000	$y_3 = R_{23}$
54.4809	$x_4 = R_{14}$
-4.8980	$y_4 = R_{24}$
X5,Y5	
53.5288	$x_5 = R_{15}$
-9.8337	$y_5 = R_{25}$

PHI:1,2,3,4,5

13.0000	$\varphi_1 = R_{31}$
7.0000	$\varphi_2 = R_{32}$
0.0000	$\varphi_3 = R_{33}$
-6.0000	$\varphi_4 = R_{34}$
-20.0000	$\varphi_5 = R_{35}$
ALFA,R0	
20.0000	$\alpha = R_{03}$
160.0000	$r_0 = R_{02}$

Eingangswerte

01*LBL 11	27 RCL 01	54 XEQ 11	81 STO 01	100 PRX
02 RCL 03	28 *	55 RCL 04	82 XEQ 11	109 *X5,Y5*
03 COS	29 PI	56 STO 11	83 RCL 04	110 PRA
04 RCL 01	30 *	57 RCL 05	84 STO 15	111 RCL 15
05 *	31 180	58 STO 21	85 RCL 05	112 PRX
06 PI	32 /	59 RCL 32	86 STO 25	113 RCL 25
07 *	33 RCL 03	60 STO 01	87 *EVOLV.KOORD.*	114 PRX
08 180	34 SIN	61 XEQ 11	88 PRA	115 *PHI:1,2,3,4,5*
09 /	35 +	62 RCL 04	89 *X1,Y1,X2,Y2*	116 PRA
10 RCL 03	36 RCL 01	63 STO 12	90 PRA	117 RCL 31
11 SIN	37 SIN	64 RCL 05	91 RCL 11	118 PRX
12 +	38 *	65 STO 22	92 PRX	119 RCL 32
13 RCL 01	39 RCL 01	66 RCL 33	93 RCL 21	120 PRX
14 COS	40 COS	67 STO 01	94 PRX	121 RCL 33
15 *	41 1	68 XEQ 11	95 RCL 12	122 PRX
16 RCL 03	42 -	69 RCL 04	96 PRX	123 RCL 34
17 COS	43 RCL 03	70 STO 13	97 RCL 22	124 PRX
18 RCL 01	44 COS	71 RCL 05	98 PRX	125 RCL 35
19 SIN	45 *	72 STO 23	99 *X3,Y3,X4,Y4*	126 PRX
20 *	46 +	73 RCL 34	100 PRA	127 *ALFA,R0*
21 -	47 RCL 02	74 STO 01	101 RCL 13	128 PRA
22 RCL 02	48 *	75 XEQ 11	102 PRX	129 RCL 03
23 *	49 STO 05	76 RCL 04	103 RCL 23	130 PRX
24 STO 04	50 RTN	77 STO 14	104 PRX	131 RCL 02
25 RCL 03	51*LBL 10	78 RCL 05	105 RCL 14	132 PRX
26 COS	52 RCL 31	79 STO 24	106 PRX	133 ADV
	53 STO 01	80 RCL 35	107 RCL 24	134 STOP



Tabelle 4.11/41 B<sub>0</sub>-Punkte-Auswahl für Evolventen-Gelenkviereck

XEQ 36		XEQ 36	
=====		=====	
BO-EING.		BO-EING.	
X1, Y1, X2, Y2		X1, Y1, X2, Y2	
52.7383		52.7383	
16.1384		16.1384	
54.2241		54.2241	
7.7870		7.7870	
X3, Y3, X4, Y4		X3, Y3, X4, Y4	
54.7232		54.7232	
0.0000		0.0000	
54.4809		54.4809	
-4.8980		-4.8980	
X5, Y5		X5, Y5	
53.5288		53.5288	
-9.8337		-9.8337	
=====		=====	
M-S: 14-23	XEQ 41	M-S: 15-23	XEQ 52
XB0, YB0	1 = R <sub>09</sub>	XB0, YB0	0 = R <sub>09</sub>
-41.1228		33.5469	
-2.2343		2.5521	
PSI-TW-UV		PSI-TW-UV	
-12.6665		-67.0732	
-4.6646		-21.0792	
=====		=====	
M-S: 15-23		K00.F.B0	
XB0, YB0		X1, Y1, X2, Y2	
33.5469		19.1913	
2.5521		13.5784	
PSI-TW-UV		20.6771	
-67.0732		5.2349	
-21.0792		X3, Y3, X4, Y4	
=====		21.1763	
M-S: 15-24		-2.5521	
XB0, YB0		19.9818	
-116.4166		-12.3858	
-2.0135		X5, Y5	
PSI-TW-UV		20.9340	
-8.7569		-7.4501	
-4.2541		.....	
		R5 ZW.3/4	
		=====	

85

Die Berechnung der E-Koordinaten wird am HP-85 über Taste #6 (KOORD) ausgelöst. Es ist für die hier diskutierten Beispiele „Evolventen-Profil“ und „Zweistand-Schubgetriebe“ (vgl. Abschn. 4.4.4) diese freie Funktionstaste gewählt worden, um die Koordinaten-Berechnungsprogramme aufzurufen (vgl. Tabelle 4.71 und Tabelle 4.10/85). Nach diesem Muster lassen sich andere Beispiele oder wichtige Berechnungsteile einfügen und bei Bedarf aufrufen.

Die nötigen Schritte und das Menü sind in Tabelle 4.10/85 gezeigt. Dort ist ebenfalls ein grobes Struktogramm für die E-Koordinaten-Berechnung angegeben. Tabelle 4.11/85 gibt die Ergebnisse der 5-Punkte-Synthese mit diesen Koordinaten.

Tabelle 4.10/85 Koordinatenberechnung für Evolventen-Profil

\*\*\*\*\* GETRIEBE-ENTWURF \*\*\*\*\*

\* zur Erzeugung \*  
\* gegebener Bahnkurven \*  
\*\*\*\*\*

Informationen zum gesamten  
Programmpaket können über  
FUNKTIONSTASTE #1  
abgerufen werden !!!!!

TEST	KOORD	VORPR	CHECK
INFO	WERTE	1LAGE	HAUPT

KOORD

(Taste #6)

\*\* BERECHNUNG DER EINGANGS- \*\*  
\* KOORDINATEN FÜR DIE \*  
\* FOLGENDEN BEISPIELE: \*  
\*\*\*\*\*

Evolventen-Profil >>> [1]

[1] RETURN

Zweistand-Schubgetriebe >>> [2]  
?

Tabelle 4.10/85 (Fortsetzung)

```

      W E R T E E I N G A B E :
-----
Phi 1  = ?
13
Phi 2  = ?
7
Phi 3  = ?
0
Phi 4  = ?
-6
Phi 5  = ?
-20
Alpha  = ?
20
r(o)   = ?
160
*****
      EVOLVENTEN-EINGANGSWERTE:

Phi 1  = 13
Phi 2  = 7
Phi 3  = 0
Phi 4  = -6
Phi 5  = -20
Alpha  = 20
r(o)   = 160

      EVOLVENTEN-KOORDINATEN:

X1/Y1  = 5.274E+001  1.613E+001
X2/Y2  = 5.422E+001  7.787E+000
X3/Y3  = 5.472E+001  0.000E+000
X4/Y4  = 5.448E+001 -4.898E+000
X5/Y5  = 5.353E+001 -9.834E+000

```

Tabelle 4.11/85 B<sub>0</sub>-Punkte-Auswahl für Evolventen-Gelenkviereck

```

*****   GETRIEBE-ENTWURF   *****

*           zur Erzeugung           *
*   gegebener Bahnkurven           *
*****

```

Informationen zum gesamten  
 Programmpaket können über  
 FUNKTIONSTASTE #1  
 abgerufen werden !!!!!

```

-----
TEST      KOORD      VORPR      CHECK
INFO      WERTE      1LAGE      HAUPT

```

VORPR

(Taste #7)

Tabelle 4.11/85 (Fortsetzung)

=====	
Mittelsenkrechte	14 - 23
-----	
X(Bo)	= -41.123
Y(Bo)	= -2.234
PSI(tw)	= -12.667
PSI(uv)	= -4.665
=====	
Mittelsenkrechte	15 - 23
-----	
X(Bo)	= 33.547
Y(Bo)	= 2.552
PSI(tw)	= -67.073
PSI(uv)	= -21.079
=====	
Mittelsenkrechte	15 - 24
-----	
X(Bo)	= -116.417
Y(Bo)	= -2.014
PSI(tw)	= -8.757
PSI(uv)	= -4.254
=====	
Mittelsenkrechte	15 - 34
-----	
X(Bo)	= -16.002
Y(Bo)	= 1.044
PSI(tw)	= -21.270
PSI(uv)	= -3.973
=====	
Mittelsenkrechte	25 - 34
-----	
X(Bo)	= -85.004
Y(Bo)	= 4.457
PSI(tw)	= -7.260
PSI(uv)	= -2.910

\*\*\*\*\*

Die 5 Bo-Reduktionen sind  
berechnet.

Durch Drücken der Taste **[+]**  
Fortsetzung der Bearbeitung

?

Tabelle 4.11/85 (Fortsetzung)

TEST	KOORD	VORPR	CHECK
INFO	WERTE	1LAGE	HAUPT

1 LAGE

(Taste #3)

```

*** E I N Z E L L A G E N ***
* ----- *
* mit Übergang zum *
* Hauptprogramm *
* *****

```

Wählen Sie die Einzellage:

```

14 - 23 >>> [1]
15 - 23 >>> [2]
15 - 24 >>> [3]
15 - 34 >>> [4]
25 - 34 >>> [5]

```

2 RETURN

?

```

*****
* Die derzeit gültigen *
* Eingangswerte sind: *

```

```

X1/Y1 = 5.274E+001 1.613E+001
X2/Y2 = 5.422E+001 7.787E+000
X3/Y3 = 5.472E+001 0.000E+000
X4/Y4 = 5.448E+001 -4.898E+000
X5/Y5 = 5.353E+001 -9.834E+000

```

Mitteisenkrechte 15 - 23

```

X(Bo) = 33.547
Y(Bo) = 2.552

```

```

PSI(tw) = -67.073
PSI(uv) = -21.079

```

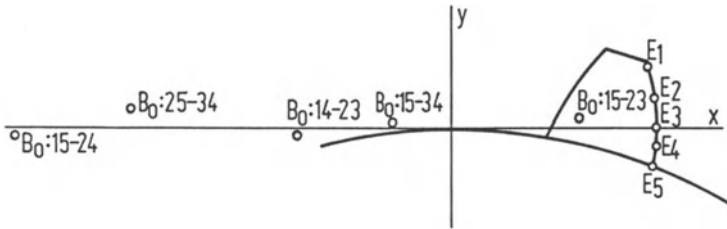
Koordinaten-Transformation  
auf den Ursprung Bo :

```

X1/Y1 = 1.919E+001 1.358E+001
X2/Y2 = 2.068E+001 5.235E+000
X3/Y3 = 2.118E+001 -2.552E+000
X4/Y4 = 1.998E+001 -1.239E+001
X5/Y5 = 2.093E+001 -7.450E+000

```

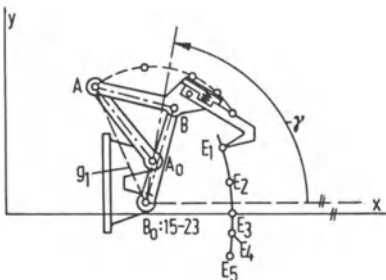
A(5) zwischen A(3) und A(4)



**Bild 4.17** Die fünf unterschiedlichen  $B_0$ -Lagen zur Erzwungung von Punktlagenreduktionen zur Berechnung eines Gelenkvierecks für gegebenes Zahnprofil

Die fünf  $B_0$ -Punkte sind im **Bild 4.17** in relativer Lage zum Zahnprofil aufgezeichnet, und es ist nun möglich, eine bestimmten Ansprüchen genügende Auswahl zu treffen. In erster Betrachtung erscheinen sämtliche dieser  $B_0$ -Lagen für praktische Ansprüche zu genügen. Wenn aber z.B. besonderer Wert auf den geringsten Platzbedarf für das Getriebe gelegt wird, so empfiehlt sich zunächst der Beginn mit dem Gestellpunkt  $B_0: 15-23$ , der dem Zahnprofil am nächsten liegt. Hierbei vertauschen also  $E_4$  und  $E_5$  ihre Plätze!

- 41** Für das 5-Punkte-Programm werden zunächst willkürlich  $\gamma = 80^\circ$  und  $f_1 = 30$  angenommen, und nach **Tabelle 4.12/41** findet man mit XEQ 23 zuerst die Variationen für  $p = \pm 1$  und  $h = \pm 1$ . Für  $p = +1 = R_{19}$  ergibt sich die Gestelllänge  $d = 10,1874$ , für  $p = -1$  ist  $d = 4,4093$ . Die letztere verbürgt zuwenig Standsicherheit im Gestell, also wird  $p = +1$  gewählt. Nach **Tabelle 4.11/41** muß, wie der Abruf XEQ 52 zeigt, der Punkt  $A_5$  zwischen  $A_3$  und  $A_4$  liegen. Nach **Tabelle 4.12/41**,  $\gamma = 80^\circ$ , liegt aber nur für  $h = +1 = R_{46}$  der Winkel  $\varphi_{15}$  zwischen  $\varphi_{13}$  und  $\varphi_{14}$ , also wird die Auswahl für  $\gamma = 80^\circ$  und  $f_1 = 30$  mit  $p = +1$  und  $h = +1$  getroffen, und mit XEQ 33 ergeben sich die Getriebeabmessungen für  $\gamma$  (GAMMA) = 80. Das zugehörige Getriebe ist im **Bild 4.18** dargestellt.



**Bild 4.18**

Gelenkviereck I für Zahnflanken-Nachführung

Tabelle 4.12/41 Evolventen-Gelenkvierecke für unterschiedliche Gestellwinkel  $\gamma$ 

XEQ 23		XEQ 33		XEQ 23		XEQ 33	
..... ↓ GAMMA,F1,P		..... ↓ GAMMA,F1,P		..... ↓ GAMMA,F1,P		..... ↓ GAMMA,F1,P	
	80.0000		80.0000		150.0000		150.0000
	30.0000		30.0000		30.0000		30.0000
	1.0000		1.0000		1.0000		1.0000
A,D	22.2327	A,D	22.2327	A,D	21.7986	A,D	21.7986
	10.1874		10.1874		10.8469		10.8469
PHI*12,13,14	228.2006	PHI*12,13,14	228.2006	PHI*12,13,14	229.4930	PHI*12,13,14	229.4930
	327.1469		327.1469		326.2688		326.2688
	296.4520		296.4520		294.7453		294.7453
	263.5988		263.5988		261.0141		261.0141
PHI-M	540.0000	PHI-M	540.0000	PHI-M	540.0000	PHI-M	540.0000
.....		.....		.....		.....	
P,PHI-15,H	1.0000	P,PHI-15,H	1.0000	P,PHI-15,H	1.0000	P,PHI-15,H	1.0000
	279.3458		279.3458		276.9642		276.9642
	1.0000		1.0000		1.0000		1.0000
.....		=====		.....		=====	
P,PHI-15,H	1.0000	MUE-M-M*	96.1697	P,PHI-15,H	1.0000	MUE-M-M*	65.9574
	99.5097		29.9450		358.0493	NICHT	
	-1.0000	.....			-1.0000	UNLAUFF.	
.....		PSI-1	173.3190	.....		.....	
GAMMA,F1,P	80.0000	A,B,C,D,S	22.2327	GAMMA,F1,P	150.0000	PSI-1	128.6976
	30.0000		19.4000		30.0000	A,B,C,D,S	21.7986
	-1.0000		23.9735		-1.0000		34.9950
A,D	26.4372		10.1874	A,D	48.1534		20.9177
	4.4093		1.0000		20.2052		10.8469
PHI*12,13,14	218.8234	EPS.,E	-10.5402	PHI*12,13,14	200.1325		1.0000
	149.9680		34.1406		174.8089	EPS.,E	-22.6382
	132.3852	.....			144.9260		51.4997
	282.3531	MUE-1,PSI-1	273.1485		319.7349	.....	
PHI-M	360.0000		173.3190	PHI-M	360.0000	MUE-1,PSI-1	-58.6263
.....		MUE-2,PSI-2	264.8302	.....			128.6976
P,PHI-15,H	-1.0000		153.6270	P,PHI-15,H	-1.0000	MUE-2,PSI-2	-65.1931
	297.1876	MUE-3,PSI-3	264.8302		6.3579		111.6446
	1.0000		132.5478		1.0000	MUE-3,PSI-3	294.8069
.....		MUE-4,PSI-4	273.1485	.....			90.5654
P,PHI-15,H	-1.0000		106.2458	P,PHI-15,H	-1.0000	MUE-4,PSI-4	301.3737
	124.5362	MUE-5,PSI-5	268.1995		88.7159		61.6244
	-1.0000		119.3362		-1.0000	MUE-5,PSI-5	297.4650

**85** Die oben für das HP-41-Programm geführte Diskussion läßt sich direkt auf das HP-85-Programm übertragen. So zeigt Tabelle 4.12/85 die gleichen Annahmen und Ergebnisse wie Tabelle 4.12/41.

Das Getriebe in Bild 4.18 ist das Ergebnis der Berechnungen mit:

Mittelsenkrechten-Paarung 15–23 (Einzellage 2),  $\gamma = 80^\circ$ ,  $f_1 = 30$ ,  $p = +1$ ,  $h = +1$ .

Tabelle 4.12/85 Evolventen-Gelenkvierecke für unterschiedliche Gestellwinkel

\*\*\*\*\*

WAHLEN SIE :

Übergang  
zum Hauptprogramm >>> [/]

Neuanfang >>> [-]

andere Einzellage >>> [+]

?

[/] RETURN

\* H A U P T P R O G R A M M \*

\* ----- \*

\*mit Berechnung der Kurbellagen\*

\* und des \*

\* Gesamt-Gelenkvierecks \*

\*\*\*\*\*

Zur Wahl stehen:

Kurbellagen-Obersicht >>>> [0]

5-Punkte-Synthese >>>> [5]

4-Punkte-Synthese >>>> [4]

Andere Einzellage >>>> [-]

?

[0] RETURN

\*\* K U R B E L L A G E N - \*\*

\* O B E R S I C H T \*

\*\*\*\*\*

Wählen Sie die freien Parameter  
=====

\*\*Gamma\*\*                      \*\*f(1)\*\*

Gamma = ?  
80

f(1) = ?  
30



Tabelle 4.12/85 (Fortsetzung 1)

```
=====
K U R B E L L A G E N -
Ü B E R S I C H T
```

```
-----
Parameter und Ergebnisse:
```

```
-----
Gamma    = 80.000
f1       = 30.000
P        = 1.000
a        = 22.233
d        = 10.187
Fni(*)   = 228.201
Phi(12)  = 327.147
Pni(13)  = 296.452
Phi(14)  = 263.599
Pni(m)   = 180.000
-----
```

```
-----
Ergebnisse der A5-Berechnung:
```

```
-----
P        = 1.000
Phi(15)  = 279.346
h        = 1.000
```

```
-----
Ergebnisse der A5-Berechnung:
```

```
-----
P        = 1.000
Phi(15)  = 99.510
h        = -1.000
-----
```

```
=====
K U R B E L L A G E N -
Ü B E R S I C H T
```

```
-----
Parameter und Ergebnisse:
```

```
-----
Gamma    = 80.000
f1       = 30.000
P        = -1.000
a        = 26.437
d        = 4.409
Fni(*)   = 218.823
Phi(12)  = 149.968
Phi(13)  = 132.385
Phi(14)  = 282.353
Pni(m)   = 0.000
-----
```

```
-----
Ergebnisse der A5-Berechnung:
```

```
-----
P        = -1.000
Phi(15)  = 297.188
h        = 1.000
```

```
-----
Ergebnisse der A5-Berechnung:
```

```
-----
P        = -1.000
Phi(15)  = 124.536
h        = -1.000
-----
```

Tabelle 4.12/85 (Fortsetzung 2)

```
*   H A U P T P R O G R A M M   *
*   -----                     *
*mit Berechnung der Kurbellagen*
*           und des             *
*   Gesamt-Gelenkvierecks       *
* ****                           *
```

Zur Wahl stehen:

```
Kurbellagen-Übersicht  >>>>  [0]
5-Punkte-Synthese      >>>>  [5]
4-Punkte-Synthese      >>>>  [4]
Andere Einzellage       >>>>  [-]
?
```

5 RETURN

```
*                               *
*5-P U N K T E - S Y N T H E S E *
*                               *
* ****                           *
```

Werte eingeben :

```
-----
P = ?
1
h = ?
1
```

```
=====
K U R B E L L A G E N
Ü B E R S I C H T
-----
Parameter und Ergebnisse:
-----
Gamma    =   80.000
f1       =   30.000
P        =   1.000
a        =   22.233
d        =   10.187
Phi(*)   =  228.201
Phi(12)  =  327.147
Phi(13)  =  296.452
Phi(14)  =  263.599
Phi(m)   =  180.000
-----
```

Ergebnisse der A5-Berechnung:

```
-----
P        =   1.000
Phi(15)  =  279.346
h        =   1.000
```

Tabelle 4.12/85 (Fortsetzung 3)

```
=====
G E L E N K V I E R E C K -
A B M E S S U N G E N
```

```
-----
MÜ(m)   =   96.170
MÜ(m*)  =   29.945
P51(1)  =  173.319
-----
```

```
-----
a        =   22.233
b        =   19.400
c        =   23.973
d        =   10.187
s        =    1.000
-----
```

```
-----
Epsilon =  -10.540
e        =   34.141
-----
```

```
=====
MÜ(i)    und    Psi(i)
```

```
-----
MÜ(1)  273.149  Psi(1)  173.319
MÜ(2)  264.830  Psi(2)  153.627
MÜ(3)  264.830  Psi(3)  132.548
MÜ(4)  273.149  Psi(4)  106.246
MÜ(5)  268.200  Psi(5)  119.336
-----
```

```
=====
K U R B E L L A G E N -
Ü B E R S I C H T
```

```
-----
Parameter ud Ergebnisse:
```

```
-----
Gamma   =  150.000
f1      =   30.000
P       =    1.000
a       =   21.799
d       =   10.847
Phi(*)  =  229.493
Phi(12) =  326.269
Phi(13) =  294.745
Phi(14) =  261.014
Phi(m)  =  180.000
-----
```

```
-----
Ergebnisse der A5-Berechnung:
```

```
-----
P       =    1.000
Phi(15) =  276.964
h       =    1.000
-----
```

Tabelle 4.12/85 (Fortsetzung 4)

## Ergebnisse der A5-Berechnung:

```

P      = 1.000
Phi(15) = 358.049
h      = -1.000

```

KURBELLAGEN -  
ÜBERSICHT

## Parameter und Ergebnisse:

```

Gamma   = 150.000
f1      = 30.000
P       = -1.000
a       = 48.153
d       = 20.205
Phi(*)  = 200.133
Phi(12) = 174.909
Phi(13) = 144.926
Phi(14) = 319.735
Phi(m)  = 0.000

```

## Ergebnisse der A5-Berechnung:

```

P      = -1.000
Phi(15) = 6.358
n      = 1.000

```

## Ergebnisse der A5-Berechnung:

```

P      = -1.000
Phi(15) = 88.716
h      = -1.000

```

Mit  $\gamma = 150^\circ$  und demselben  $f_1 = 30$  ist ein zweites Gelenkviereck mit den Zahlengrößen nach Tabelle 4.12/41 bzw. Tabelle 4.12/85 berechnet worden, es ist im Bild 4.19 eingezeichnet. Für beide Gelenkvierecke ergeben sich hervorragende Übertragungswinkel, wenn mit den entsprechenden  $\mu$  (MUE)-Angaben der Tabelle 4.12/41 bzw. Tabelle 4.12/85 in Rechnung gezogen wird, daß die  $\mu$ -Werte 0–180–360 und deren Nähe zu vermeiden sind! In den beiden Beispielen, Bild 4.18 und 4.19, ist angedeutet, daß die Evolventenprüfung mit Hilfe eines Tasters vorgenommen wird, dessen Spitze relativ zur Koppelebene feinfühlig federnd und bei hoher Genauigkeit Differenzen anzeigend zum Prüfergebnis führt.

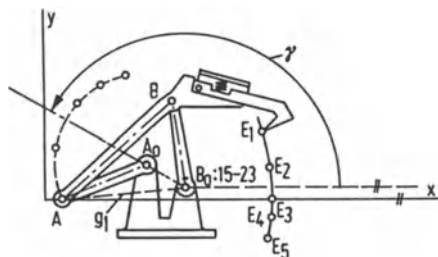


Bild 4.19

Gelenkviereck II für Zahnflanken-Nachführung



wegungen erzeugen wie das Ursprungs-Kurvengetriebe [4.14]. Es zeigt sich nun aber, daß gerade die Bedingungen für das Schneiden der Kurve mit den Parallelen zumindest in einer der beiden Lagen zu großen Schwierigkeiten bei der Berechnung einer Gelenkviereck-Koppelkurve führt.

Da angenommen werden kann, daß die Übereinstimmung von gleich großen Schubstrecken in mehr als vier Punkten mit einem sechsgliedrigen Getriebe gar nicht erreicht werden kann, empfiehlt sich hier auf alle Fälle die Koppelkurven-Berechnung für nur vier Genaupunkte, zumal hierbei wie schon erwähnt, ein sehr willkommener, zusätzlich freier Parameter zur Verfügung steht, dessen sinnvolle Ausnutzung im folgenden gezeigt werden soll.

Nach Bild 4.20 wird angenommen, daß zwischen den vier Kurbellagen  $E_0E_1$ ,  $E_0E'_2$ ,  $E_0E'_3$ ,  $E_0E'_4$  mit dem Differenzwinkel  $\Delta\varphi$  der Abtriebsschieber um jeweils den gleichen Betrag  $\Delta s$  verschoben wird. Als zweckmäßig erweist sich das Achsenkreuz mit  $E_0$  als Ursprung und mit der Abszisse in Schubrichtung. Man läßt  $E_1$  als Bezugspunkt mit dem Anfangswinkel  $\varphi^*$  stehen und verschiebt  $E'_2$ ,  $E'_3$ ,  $E'_4$  im entgegengesetzten Sinne, wie sich der Schieber bewegen soll, um die Strecken  $\Delta s$ ,  $2\Delta s$ ,  $3\Delta s$ . Dabei erhält man die Punkte  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$ , die mit  $E_1$  die vier Genaupunkte für die Gelenkviereck-Berechnung ergeben. Für die Berechnung stehen die folgenden Gleichungen zur Verfügung:

$$r \cdot \cos \varphi^* = x_1 \qquad r \cdot \sin \varphi^* = y_1 \qquad (4.92/4.93)$$

$$r \cdot \cos (\varphi^* + \Delta\varphi) + \Delta s = x_2 \qquad r \cdot \sin (\varphi^* + \Delta\varphi) = y_2 \qquad (4.94/4.95)$$

$$r \cdot \cos (\varphi^* + 2\Delta\varphi) + 2\Delta s = x_3 \qquad r \cdot \sin (\varphi^* + 2\Delta\varphi) = y_3 \qquad (4.96/4.97)$$

$$r \cdot \cos (\varphi^* + 3\Delta\varphi) + 3\Delta s = x_4 = x_5 \qquad r \cdot \sin (\varphi^* + 3\Delta\varphi) = y_4 = y_5 \qquad (4.98/4.99)$$

41

Das Programm ist in **Tabelle 4.13/41** ausgedruckt, und die Ergebnisse sind mit dem Abruf XEQ 11 als die Koordinaten  $x_1$ ,  $y_1$  bis  $x_5$ ,  $y_5$  abzulesen, wobei, um die Benutzung des 5-Punkte-Programms für 4 Punkte zu ermöglichen, die Koordinaten  $x_4 = x_5$  und  $y_4 = y_5$  gleichzusetzen sind. Eingangswerte sind die Kurbellänge  $r$ , der Anfangswinkel  $\varphi^*$ , der Sprungwinkel  $\Delta\varphi$  und die Sprungverschiebung  $\Delta s$ .

Mit den so berechneten und gespeicherten E-Koordinaten geht man nun in das Vorprogramm „HN 13“. Da bei nur vier Genaupunkten nur die Mittelsenkrechten-Paarung MS: 14–23 in Frage kommt, beginnt man, **Tabelle 4.14/41**, zunächst noch einmal mit XEQ 36, um die auf  $E_0$  bezogenen Eingangswerte noch einmal zu erhalten. Dann kann man aber sofort mit XEQ 51 (für MS: 14–23 gültig!) auf das mit dem Ursprung  $B_0$  gültige und parallel verschobene Achsenkreuz übergehen, nachdem die Koordinaten  $x_{B0}$ ,  $y_{B0}$  und die Winkel  $\psi_{tw}$  und  $\psi_{uv}$  berechnet worden sind, um die Koordinaten  $x_{E1}$ ,  $y_{E1}$  bis  $x_{E4}$ ,  $y_{E4}$  ( $= x_{E5}$ ,  $= y_{E5}$ ) zur Verfügung zu haben. Diese Koordinaten werden mit „GV-Koppelk. 5 Genaupkte“ als Nachweis für den automatischen Übergang auf das Haupt-Synthese-Programm „HN 12“ noch einmal ausgedruckt.

Tabelle 4.13/41 Koordinatenberechnung für Zweistand-Schubgetriebe

XEQ 11	
↓	
ZWEIST.-SCHUB	
X1,Y1,X2,Y2	
-16.9706	x <sub>1</sub> = R <sub>11</sub>
16.9706	y <sub>1</sub> = R <sub>21</sub>
-15.1822	x <sub>2</sub> = R <sub>12</sub>
6.2117	y <sub>2</sub> = R <sub>22</sub>
X3,Y3,X4,Y4	
-7.1822	x <sub>3</sub> = R <sub>13</sub>
-6.2117	y <sub>3</sub> = R <sub>23</sub>
7.0294	x <sub>4</sub> = R <sub>14</sub>
-16.9706	y <sub>4</sub> = R <sub>24</sub>
X5,Y5	
7.0294	x <sub>5</sub> = R <sub>15</sub>
-16.9706	y <sub>5</sub> = R <sub>25</sub>
PHI*,R	
135.0000	φ* = R <sub>01</sub>
24.0000	r = R <sub>02</sub>
DELTA:PHI,S	
30.0000	Δφ = R <sub>04</sub>
8.0000	Δs = R <sub>03</sub>

Eingang

01+LBL 11	24 SIN	47 RCL 02	70 RCL 02	93 PRX
02 RCL 02	25 RCL 02	48 *	71 *	94 RCL 24
03 RCL 01	26 *	49 STO 23	72 STO 24	95 PRX
04 COS	27 STO 22	50 RCL 01	73 STO 25	96 "X5,Y5"
05 *	28 RCL 01	51 RCL 04	74 "ZWEIST.-SCHUB"	97 PRA
06 STO 11	29 RCL 04	52 3	75 PRA	98 RCL 15
07 RCL 02	30 2	53 *	76 "X1,Y1,X2,Y2"	99 PRX
08 RCL 01	31 *	54 +	77 PRA	100 RCL 25
09 SIN	32 +	55 COS	78 RCL 11	101 PRX
10 *	33 COS	56 RCL 02	79 PRX	102 "PHI*,R"
11 STO 21	34 RCL 02	57 *	80 RCL 21	103 PRA
12 RCL 01	35 *	58 RCL 03	81 PRX	104 RCL 01
13 RCL 04	36 RCL 03	59 3	82 RCL 12	105 PRX
14 +	37 2	60 *	83 PRX	106 RCL 02
15 COS	38 *	61 +	84 RCL 22	107 PRX
16 RCL 02	39 +	62 STO 14	85 PRX	108 "DELTA:PHI,S"
17 *	40 STO 13	63 STO 15	86 "X3,Y3,X4,Y4"	109 PRA
18 RCL 03	41 RCL 01	64 RCL 01	87 PRA	110 RCL 04
19 +	42 RCL 04	65 RCL 04	88 RCL 13	111 PRX
20 STO 12	43 2	66 3	89 PRX	112 RCL 03
21 RCL 01	44 *	67 *	90 RCL 23	113 PRX
22 RCL 04	45 +	68 +	91 PRX	114 ADV
23 +	46 SIN	69 SIN	92 RCL 14	115 STOP

Tabelle 4.14/41 Einzelberechnungen für Zweistand-Schubgetriebe

XEQ 36



=====

BO-EING.

X1, Y1, X2, Y2

-16.9706	X1
16.9706	Y1
-15.1822	X2
6.2117	Y2

X3, Y3, X4, Y4

-7.1822	X3
-6.2117	Y3
7.0294	X4
-16.9706	Y4

X5, Y5

7.0294	X5 = X4
-16.9706	Y5 = Y4

=====

M-S:14-23

XEQ 51

XB0, YB0

58.3605
44.7817

PSI-TW-UV

30.0018
10.2085

=====

K00.F.B0

X1, Y1, X2, Y2

-75.3311	XE1
-27.8111	YE1
-73.5427	XE2
-38.5700	YE2

X3, Y3, X4, Y4

-65.5427	XE3
-50.9934	YE3
-51.3311	XE4
-61.7523	YE4

X5, Y5

-51.3311	XE5 = XE4
-61.7523	YE5 = YE4

.....

A5 JENS.4

=====

GV-KOPPELK.

5 GENAUPKTE

KOORD. E-PKTE

X1, Y1, X2, Y2

-75.3311  
-27.8111  
-73.5427  
-38.5700

X3, Y3, X4, Y4

-65.5427  
-50.9934  
-51.3311  
-61.7523

X5, Y5

-51.3311  
-61.7523



Tabelle 4.14/41 (Fortsetzung)

Getriebe I XEQ 50	Getriebe II XEQ 50
..... ↓	..... ↓
GAMMA, F1, P	GAMMA, F1, P
195.0000	195.0000
55.0000	95.0000
-1.0000	1.0000
A, D	A, D
38.4762	33.1460
17.3800	69.5359
PHI*12, 13, 14	PHI*12, 13, 14
158.2849	132.1110
14.3077	32.0279
29.1226	63.7502
43.4303	95.7781
PHI-M	PHI-M
180.0000	180.0000
=====	=====
.....	.....
4 GENAUPKTE	4 GENAUPKTE
XB	XB
-35.0000	-100.0000
MUE-M-M*	MUE-M-M*
168.2243	61.6920
32.4436	
.....	NICHT
PSI-1	UMLAUFF.
156.2220	.....
A, B, C, D, S	PSI-1
38.4762	-164.1297
20.7171	A, B, C, D, S
35.4148	33.1460
17.3800	59.9886
1.0000	116.5051
EPS., E	69.5359
-141.2867	1.0000
34.4509	EPS., E
.....	40.0488
MUE-1, PSI-1	34.0648
-156.1028	.....
156.2220	MUE-1, PSI-1
MUE-2, PSI-2	54.3486
-166.2513	195.8703
169.8295	MUE-2, PSI-2
MUE-3, PSI-3	60.0717
-166.2513	205.8687
180.0380	MUE-3, PSI-3
MUE-4, PSI-4	60.0717
-156.1028	216.0772
186.2239	MUE-4, PSI-4
	54.3486

**85** Auch hier wird die E-Koordinaten-Berechnung mit Taste #6 (KOORD) veranlaßt. Tabelle 4.13/85 zeigt die dafür nötigen Schritte und die Ergebnisse. Die Eingangswerte Kurbellänge  $r$ , Anfangswinkel  $\varphi^*$ , Sprungwinkel  $\Delta\varphi$  und Sprungverschiebung  $\Delta s$  sind Tabelle 4.13/41 entnommen. Es schließt sich entsprechend dem HP-41-Programm (Tabelle 4.14/41) die 4-Punkte-Synthese mit der Mittelsenkrechten-Paarung 14–23 an (Tabelle 4.14/85).

**Tabelle 4.13/85 Koordinatenberechnung für Zweistand-Schubgetriebe**

```
**   BERECHNUNG DER EINGANGS- **
*   KOORDINATEN FÜR DIE       *
*   FOLGENDEN BEISPIELE      *
*****
```

Evolventen-Profil >>> [1]

Zweistand-Schubgetriebe >>> [2]

2 RETURN

?

W E R T E E I N G A B E :

```
Phi(*) = ?
135
r = ?
24
Delta Phi = ?
30
Delta s = ?
8
```

\*\*\*\*\*  
ZWEISTAND-EINGANGSWERTE:

```
Phi(*)    = 135
r          = 24
Delta Phi  = 30
Delta s    = 8
```

ZWEISTAND-KOORDINATEN:

```
X1/Y1 = -1.697E+001  1.697E+001
X2/Y2 = -1.518E+001  6.212E+000
X3/Y3 = -7.182E+000 -6.212E+000
X4/Y4 =  7.029E+000 -1.697E+001
X5/Y5 =  7.029E+000 -1.697E+001
```

Tabelle 4.13/85 (Fortsetzung)

=====

Mittelsenkrechte 14 - 23

-----

X(Bo) = 58.364

Y(Bo) = 44.785

PSI(tw) = 30.000

PSI(uv) = 10.208

=====

Koordinaten-Transformation  
auf den Ursprung Bo :

-----

X1/Y1 = -7.534E+001 -2.781E+001

X2/Y2 = -7.355E+001 -3.857E+001

X3/Y3 = -6.555E+001 -5.100E+001

X4/Y4 = -5.134E+001 -6.176E+001

X5/Y5 = -5.133E+001 -6.176E+001

=====

A(5) jenseits von A(4)

-----

Tabelle 4.14/85 Einzelberechnungen für Zweistand-Schubgetriebe

\*\*\*\*\*

WAHLEN SIE :

-----

Übergang

zum Hauptprogramm &gt;&gt;&gt; [ / ]

Neuanfang

&gt;&gt;&gt; [ - ]

andere Einzellage

&gt;&gt;&gt; [ + ]

?

\*\* !!!!! ACHTUNG !!!!! \*\*

\*\* Es muß erst die \*\*

\*\* 5-PUNKTE-SYNTHESE \*\*

\*\* ausgeführt werden !!! \*\*

\*\*\*\*\*

Tabelle 4.14/85 (Fortsetzung 1)

```
=====
KURBELLAGEN -
ÜBERSICHT
```

5

RETURN

```
-----
Parameter und Ergebnisse:
```

```
-----
Gamma      = 195.000
f1         = 55.000
P          = -1.000
a          = 38.466
d          = 17.391
Phi(*)     = 158.280
Phi(12)    = 14.311
Phi(13)    = 29.129
Phi(14)    = 43.440
Phi(m)     = 180.000
-----
```

```
*****
*
*4-PUNKTE-SYNTHES E*
*
*****
```

4

RETURN

Geben Sie einen Wert für  
die Koordinate x(B) ein:

x(B) = ?  
-35

```
***4*****
```

Gelenkviereck mit  
vier Genaupunkten

```
-----
x(B) = -35
```

```
=====
GELENKVIERECK -
ABMESSUNGEN
```

```
-----
MÜ(m)      = 168.203
MÜ(m*)     = 32.376
Psi(1)     = 156.216
-----
```

```
-----
a          = 38.466
b          = 20.718
c          = 35.415
d          = 17.391
s          = 1.000
-----
```

```
-----
Epsilon    = -141.302
e          = 34.455
-----
```

Tabelle 4.14/85 (Fortsetzung 2)

```
=====
      MÜ(i)    und    Psi(i)
```

```
-----
MÜ(1) -156.085  Psi(1) 156.216
MÜ(2) -166.232  Psi(2) 169.823
MÜ(3) -166.232  Psi(3) 180.030
MÜ(4) -156.060  Psi(4) 186.207
-----
```

```
=====
      K U R B E L L A G E N -
      Ü B E R S I C H T
```

```
-----
      Parameter und Ergebnisse:
```

```
-----
Gamma      = 195.000
f1         = 95.000
P          = 1.000
a          = 33.141
d          = 69.541
Phi(*)     = 132.106
Phi(12)    = 32.031
Phi(13)    = 63.757
Phi(14)    = 95.788
Phi(m)     = 180.000
-----
```

```
*****
```

```
      Gelenkviereck mit
      vier Genaupunkten
```

```
-----
      x(B) = -100
```

```
**  !!!!! ACHTUNG  !!!!!  **
```

```
**  Das Gelenkviereck ist  **
**      N I C H T      **
**  u m l a u f f ä h i g  **
```

```
*****
```

Tabelle 4.14/85 (Fortsetzung 3)

G E L E N K V I E R E C K - A B M E S S U N G E N			
MÜ(m)	=	61.693	
MÜ(m*)	=	32.376	
Psi(1)	=	-164.130	
a	=	33.141	
b	=	59.987	
c	=	116.505	
d	=	69.541	
s	=	1.000	
Epsilon	=	40.042	
e	=	34.064	
MÜ(i) und Psi(i)			
MÜ(1)	54.349	Psi(1)	195.870
MÜ(2)	60.873	Psi(2)	205.868
MÜ(3)	60.873	Psi(3)	216.076
MÜ(4)	54.354	Psi(4)	225.872

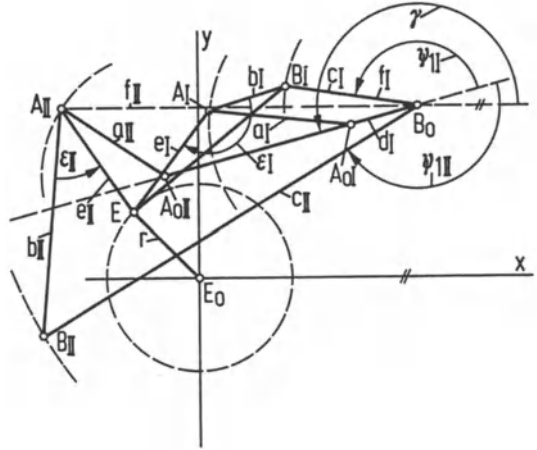
Und nun beginnt mit XEQ 50 (bzw. Anwahl der 4-Punkte-Synthese beim HP-85) das Programm für 4 Genaupunkte, Tabelle 4.14/41 bzw. Tabelle 4.14/85. Zwei Beispiel-Gelenkvierecke „Getriebe I“ und „Getriebe II“ mit demselben  $\gamma = 195^\circ$ , aber für I:  $f_1 = 55$ ,  $p = -1$  und II:  $f_1 = 95$ ,  $p = +1$  führen zu den Haupt-Getriebedaten. Und nun erweist sich die willkommene Freiheit in der freien Wahl von  $x_B$  als das besondere Merkmal dieser Konstruktion. Für Getriebe I wurden  $x_{BI} = -35$  und für Getriebe II  $x_{BII} = -100$  als die günstigsten Daten gefunden, um die Koppelkurve  $k_E$  so zu finden, daß sie jenseits von  $E_1$  und  $E_4$  die zur Schubrichtung parallelen Tangenten an den Kurbelkreis unter günstigem Winkel  $\eta$  schneiden. Die berechneten  $\mu$ -Winkel (Tabellen 4.14) haben hier nicht die Bedeutung als Übertragungswinkel, diese Rolle übernimmt der Winkel  $\eta$ !

In Bild 4.21 sind die beiden Gesamtgetriebe I und II dargestellt. Um sie zu vermaßen (bzw. aufzeichnen zu können), wird zuerst der Gelenkpunkt  $B_0$ , bezogen auf das  $E_0$ -Achsenkreuz, festgelegt, danach mit  $\gamma$  die Richtung der k-Geraden  $B_0A_0$ . Auf dieser Geraden findet man mit  $d$  den Punkt  $A_0$  und mit  $\varphi^*$  (PHI\*) und  $a(A)$  die Anfangslage  $A_0A$ . Nun kann man mit  $\psi_1$  (PSI-1) und  $c(C)$  die Gelenkpunktlage B finden. Als Kontrolle muß dann  $AB = b(B)$  aus Tabelle 4.14 für beide Getriebe genau übereinstimmen.

Beide Getriebe sind in Hebelform nochmals in den Bildern 4.22 und 4.23 in der Ausgangslage 1 dargestellt. Die Gelenkpunkte  $A_0$  und  $B_0$  sind am Abtriebsschieber befestigt. Wie man die eigentliche Schieberführung parallel zur x-Achse legt, hat auf die Bewegungsge-

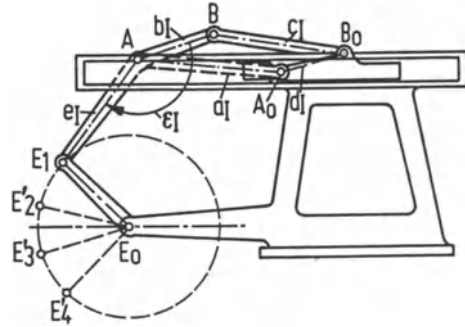
**Bild 4.21**

Gelenkvierecke I und II als Ersatzgetriebe für Kulisse des Getriebes nach Bild 3.19



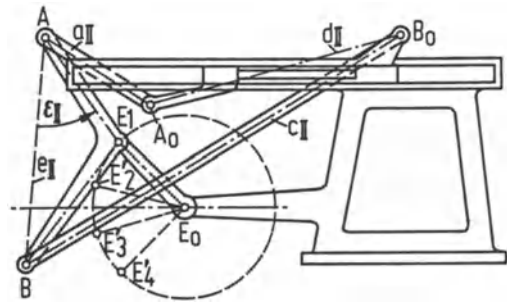
**Bild 4.22**

Zweistand-Schubgetriebe für zeitweise konstante Abtriebs-Geschwindigkeit mit Gelenkviereck I als Teilgetriebe



**Bild 4.23**

Zweistand-Schubgetriebe für zeitweise konstante Abtriebs-Geschwindigkeit mit Gelenkviereck II als Teilgetriebe



setze überhaupt keinen Einfluß, man muß nur für eine genügend große Verkantungs-sicherheit sorgen, die man erhält, wenn man diese Führung zwischen  $A_0$  und  $B_0$  legt, diese aber mit dem Gleitstein mit möglichst großer Länge ausbildet. Zu gesicherten Werten kommt man selbstverständlich nur dann, wenn man entsprechende Kräfteuntersuchungen mit den die Führung beanspruchenden Kräften anstellt.

## 4.5 Literaturverzeichnis

- [1] *Beyer, R.*: Technische Kinematik, Leipzig: Verlag Johann Ambrosius Barth 1931
- [2] – – –: Ebene viergliedrige Getriebe mit Dreh- und Schubgelenken, Begriffserklärungen und Systematik, Richtlinie VDI 2145, Düsseldorf 1980
- [3] *Alt, H.*: Zur Synthese der ebenen Mechanismen, ZAMM 1 (1921), S. 373/398
- [4] *Hain, K.*: Punktlagenreduktion als getriebesynthetisches Hilfsmittel, Maschinenbau-Betrieb, Beilage Getriebetechnik 11 (1943), H. 1, S. 29/31
- [5] – – –: Ebene Kurbelgetriebe. Konstruktion von Gelenkvierecken zur Erzeugung gegebener Kurven. Verwendung symmetrischer Kurbellagen, Richtlinie VDI 2135, Düsseldorf 1959
- [6] *Hain, K.*: Optimierungsfelder für Kurvengetriebe mit besonderer Berücksichtigung der Übertragungsgüte und der Scheitelkrümmung, Feinwerktechnik und Meßtechnik 87 (1979), H. 6, S. 283/287
- [7] *Unterberger, R.*: Erzeugung von Profilen mit Koppelpunkten des symmetrischen Gelenkvierecks, Konstruktion 15 (1963), Nr. 10, S. 408/414
- [8] *Koller, R.*: Erzeugung von Kreis-Evolventen und Zykloiden mittels Koppelkurven von Viergelenkgetrieben, antriebstechnik 3 (1964), Nr. 9, S. 338/342
- [9] *Babo, St. und R. Talczynski*: Entstehen von Fehlern und Fehlerquellen im Evolventenprofil, Werkstatt und Betrieb 115 (1982), H. 2, S. 85/90
- [10] *Sulzer, G. und R. Holler*: Zahnradmessung mit numerisch geführter 3-Koordinaten-Meßmaschine, VDI-Z 116 (1974), Nr. 14, S. 1161/1166
- [11] *Loomann, J.*: Einsatz von Gelenkvierecken als Abrichtgerät für das Profilschleifen gerader Stirnräder, VDI-Z 111 (1969), Nr. 4, S. 227/229
- [12] *Fischer, H.*: Aufzeichnen von Zahnflankenformen, Werkstatt und Betrieb 99 (1966), H. 11, S. 793/796
- [13] *Hain, K. und M. Graef*: Computergestützte Getriebesynthese mit geometrischen Grundlagen für Gelenkviereck-Geradfürungen, Konstruktion 27 (1975), H. 3, S. 81/83 und H. 4, S. 125/131
- [14] *Hain, K.*: Angewandte Getriebelehre, 2. Auflage, Düsseldorf 1961, Engl. Übersetzung: Applied Kinematics, New York 1967



# 4.6 Tabellenteil HP-41C/CV

Tabelle 4.60 Registerbelegungen

	Kennwert	Speicher	Merkmal im Getriebe					
Eingangswerte	$x_1$	$R_{11}$	Koordinaten für 5 Punkte der zu erzeugenden Bahnkurve	Diese Speicher-Nummern gelten sowohl für das Ursprungs- als auch für das $B_0$ -Achsenkreuz				
	$y_1$	$R_{21}$						
	$x_2$	$R_{12}$						
	$y_2$	$R_{22}$						
	$x_3$	$R_{13}$						
	$y_3$	$R_{23}$						
Eingangswerte	$x_4$	$R_{14}$	-----					
	$y_4$	$R_{24}$						
	$x_5$	$R_{15}$						
	$y_5$	$R_{25}$						
	—	$R_{09}$					0,1 Steuerwert für Teil-(0) oder Vollausdruck der Punktpaarungen	
	p	$R_{19}$					$\pm 1$ Auswahl ( $F_2$ ) für Punktlage $A_2, A_2'$	
Eingangswerte	h	$R_{46}$	$\pm 1$ Auswahl für Punktlage $A_5, A_5'$					
	$\gamma$	$R_{10}$	Richtwinkel v. Gestell d					
Eingangswerte	$F_1$	$R_{20}$	Entfernung $A_1$ von $B_0$					
	wichtige Ergebniswerte	$\psi_1$	$R_{44}$	Winkellage v. Glied c				
$\varphi^*$		$R_{38}$	Anfangslage von a relativ z. Gestell d					
$\varphi_{12}$		$R_{39}$	$\left. \begin{matrix} a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} \right\}$	Gliedlagen von a relativ zur Lage $a_1$ ( $\varphi^*$ )				
$\varphi_{13}$		$R_{40}$						
$\varphi_{14}$		$R_{41}$						
$\varphi_{15}$		$R_{42}$						
a		$R_{02}$			$\left. \begin{matrix} \text{Kurbel a} \\ \text{Koppel b} \\ \text{Schwinge c} \\ \text{Gestell d} \\ \text{Bereichswert s} \\ \text{Koppelwinkel } \epsilon \\ \text{Koppelstrecke e} \end{matrix} \right\}$	Gelenkviereck-Abmessungen		
b		$R_{03}$						
c		$R_{04}$						
d		$R_{05}$						
s	$R_{06}$							
$\epsilon$	$R_{07}$							
e	$R_{08}$							
wichtige Ergebniswerte	$\mu_1$	—	Übertragungswinkel $\mu$ und c-Lagenwinkel $\psi$ in Getriebelegen 1 bis 5					
	$\psi_1$	—						
	$\mu_2$	—						
	$\psi_2$	—						
	$\mu_3$	—						
	$\psi_3$	—						
	$\mu_4$	—						
	$\psi_4$	—						
	$\mu_5$	—						
	$\psi_5$	—						

Tabelle 4.61 Ausdruck des Vorprogramms Koppelpunkt-Synthese

Size 055

01*LBL "HN13"	52 STO 29	103 RCL 26	154 STO 35	205 RCL 22
02*LBL 40	53 RCL 28	104 -	155 RCL 23	206 STO 36
03 RCL 30	54 RCL 38	105 R-P	156 STO 37	207 RCL 14
04 RCL 31	55 *	106 X<Y	157 XEQ 40	208 STO 35
05 +	56 RCL 29	107 STO 18	158 XEQ 39	209 RCL 24
06 2	57 RCL 40	108 RCL 36	159 RCL 09	210 STO 37
07 /	58 *	109 RCL 27	160 X=0?	211 XEQ 40
08 STO 38	59 -	110 -	161 RTN	212 XEQ 39
09 RCL 32	60 RCL 41	111 ENTER↑	162 XEQ 42	213 RCL 09
10 RCL 33	61 +	112 RCL 34	163*LBL 42	214 X=0?
11 +	62 RCL 39	113 RCL 26	164 "-----"	215 RTN
12 2	63 -	114 -	165 PRA	216 XEQ 44
13 /	64 RCL 28	115 R-P	166 "M-S:15-23"	217*LBL 44
14 STO 39	65 RCL 29	116 X<Y	167 PRA	218 "-----"
15 RCL 34	66 -	117 RCL 18	168 RCL 11	219 PRA
16 RCL 35	67 /	118 -	169 STO 30	220 "M-S:15-34"
17 +	68 STO 26	119 CHS	170 RCL 21	221 PRA
18 2	69 RCL 38	120 STO 18	171 STO 32	222 RCL 11
19 /	70 -	121 RTN	172 RCL 15	223 STO 30
20 STO 40	71 RCL 28	122*LBL 39	173 STO 31	224 RCL 21
21 RCL 36	72 *	123 "XBO,YBO"	174 RCL 25	225 STO 32
22 RCL 37	73 RCL 39	124 PRA	175 STO 33	226 RCL 13
23 +	74 +	125 RCL 26	176 RCL 12	227 STO 34
24 2	75 STO 27	126 PRX	177 STO 34	228 RCL 23
25 /	76 RCL 32	127 RCL 27	178 RCL 22	229 STO 36
26 STO 41	77 RCL 27	128 PRX	179 STO 36	230 RCL 15
27 RCL 33	78 -	129 "PSI-TW-UV"	180 RCL 13	231 STO 31
28 RCL 32	79 ENTER↑	130 PRA	181 STO 35	232 RCL 25
29 -	80 RCL 30	131 RCL 17	182 RCL 23	233 STO 33
30 ENTER↑	81 RCL 26	132 PRX	183 STO 37	234 RCL 14
31 RCL 31	82 -	133 RCL 18	184 XEQ 40	235 STO 35
32 RCL 30	83 R-P	134 PRX	185 XEQ 39	236 RCL 24
33 -	84 X<Y	135 RTN	186 RCL 09	237 STO 37
34 R-P	85 STO 17	136*LBL 41	187 X=0?	238 XEQ 40
35 X<Y	86 RCL 33	137 "-----"	188 RTN	239 XEQ 39
36 90	87 RCL 27	138 PRA	189 XEQ 43	240 RCL 09
37 +	88 -	139 "M-S:14-23"	190*LBL 43	241 X=0?
38 TAN	89 ENTER↑	140 PRA	191 "-----"	242 RTN
39 STO 28	90 RCL 31	141 RCL 11	192 PRA	243 XEQ 45
40 RCL 37	91 RCL 26	142 STO 30	193 "M-S:15-24"	244*LBL 45
41 RCL 36	92 -	143 RCL 21	194 PRA	245 "-----"
42 -	93 R-P	144 STO 32	195 RCL 11	246 PRA
43 ENTER↑	94 X<Y	145 RCL 14	196 STO 30	247 "M-S:25-34"
44 RCL 35	95 RCL 17	146 STO 31	197 RCL 21	248 PRA
45 RCL 34	96 -	147 RCL 24	198 STO 32	249 RCL 12
46 -	97 STO 17	148 STO 33	199 RCL 15	250 STO 30
47 R-P	98 RCL 37	149 RCL 12	200 STO 31	251 RCL 22
48 X<Y	99 RCL 27	150 STO 34	201 RCL 25	252 STO 32
49 90	100 -	151 RCL 22	202 STO 33	253 RCL 13
50 +	101 ENTER↑	152 STO 36	203 RCL 12	254 STO 34
51 TAN	102 RCL 35	153 RCL 13	204 STO 34	255 RCL 23

Tabelle 4.61 (Fortsetzung)

256 STO 36	308 RCL 26	361 +	413 RCL 23
257 RCL 15	309 -	362 STO 13	414 PRX
258 STO 31	310 STO 14	363 PRX	415 RCL 14
259 RCL 25	311 PRX	364 RCL 23	416 PRX
260 STO 33	312 RCL 24	365 RCL 27	417 RCL 24
261 RCL 14	313 RCL 27	366 +	418 PRX
262 STO 35	314 -	367 STO 23	419 *X5,Y5*
263 RCL 24	315 STO 24	368 PRX	420 PRA
264 STO 37	316 PRX	369 RCL 14	421 RCL 15
265 XEQ 40	317 *X5,Y5*	370 RCL 26	422 PRX
266 XEQ 39	318 PRA	371 +	423 RCL 25
267 STOP	319 RCL 15	372 STO 14	424 PRX
268*LBL 38	320 RCL 26	373 PRX	425 RTN
269 "*****"	321 -	374 RCL 24	426*LBL 51
270 PRA	322 STO 15	375 RCL 27	427 XEQ 36
271 *K00,F.80"	323 PRX	376 +	428 XEQ 41
272 PRA	324 RCL 25	377 STO 24	429 XEQ 38
273 *X1,Y1,X2,Y2"	325 RCL 27	378 PRX	430 "....."
274 PRA	326 -	379 *X5,Y5*	431 PRA
275 RCL 11	327 STO 25	380 PRA	432 *A5 JENS.4"
276 RCL 26	328 PRX	381 RCL 15	433 PRA
277 -	329 RTN	382 RCL 26	434 *12"
278 STO 11	330*LBL 37	383 +	435 XROM 28,07
279 PRX	331 "*****"	384 STO 15	436 STOP
280 RCL 21	332 PRA	385 PRX	437*LBL 52
281 RCL 27	333 *K00-RUECK"	386 RCL 25	438 XEQ 36
282 -	334 PRA	387 RCL 27	439 XEQ 42
283 STO 21	335 *X1,Y1,X2,Y2"	388 +	440 RCL 14
284 PRX	336 PRA	389 STO 25	441 STO 15
285 RCL 12	337 RCL 11	390 PRX	442 RCL 24
286 RCL 26	338 RCL 26	391 STOP	443 STO 25
287 -	339 +	392*LBL 36	444 RCL 31
288 STO 12	340 STO 11	393 SF 12	445 STO 14
289 PRX	341 PRX	394 "*****"	446 RCL 33
290 RCL 22	342 RCL 21	395 PRA	447 STO 24
291 RCL 27	343 RCL 27	396 *BO-EING.*	448 XEQ 38
292 -	344 +	397 PRA	449 "....."
293 STO 22	345 STO 21	398 CF 12	450 PRA
294 PRX	346 PRX	399 *X1,Y1,X2,Y2"	451 *A5 ZW.3/4"
295 *X3,Y3,X4,Y4"	347 RCL 12	400 PRA	452 PRA
296 PRA	348 RCL 26	401 RCL 11	453 *12"
297 RCL 13	349 +	402 PRX	454 XROM 28,07
298 RCL 26	350 STO 12	403 RCL 21	455 STOP
299 -	351 PRX	404 PRX	456*LBL 53
300 STO 13	352 RCL 22	405 RCL 12	457 XEQ 36
301 PRX	353 RCL 27	406 PRX	458 XEQ 43
302 RCL 23	354 +	407 RCL 22	459 RCL 13
303 RCL 27	355 STO 22	408 PRX	460 STO 15
304 -	356 PRX	409 *X3,Y3,X4,Y4"	461 RCL 23
305 STO 23	357 *X3,Y3,X4,Y4"	410 PRA	462 STO 25
306 PRX	358 PRA	411 RCL 13	463 RCL 31
307 RCL 14	359 RCL 13	412 PRX	464 STO 14
	360 RCL 26		465 RCL 33

466 STO 24	481 XEQ 44	496 RCL 33	511 RCL 21	526 STO 14
467 RCL 35	482 RCL 12	497 STO 24	512 STO 25	527 RCL 33
468 STO 13	483 STO 15	498 XEQ 38	513 RCL 30	528 STO 24
469 RCL 37	484 RCL 22	499 "....."	514 STO 11	529 XEQ 38
470 STO 23	485 STO 25	500 PRA	515 RCL 32	530 "....."
471 XEQ 38	486 RCL 34	501 "A5 ZW.1/2"	516 STO 21	531 PRA
472 "....."	487 STO 12	502 PRA	517 RCL 34	532 "A5 JENS.1"
473 PRA	488 RCL 36	503 "12"	518 STO 12	533 PRA
474 "A5 ZW.2/3"	489 STO 22	504 XROM 28,07	519 RCL 36	534 "12"
475 PRA	490 RCL 35	505 STOP	520 STO 22	535 XROM 28,07
476 "12"	491 STO 13	506*LBL 55	521 RCL 35	536 STOP
477 XROM 28,07	492 RCL 37	507 XEQ 36	522 STO 13	537 .END.
478 STOP	493 STO 23	508 XEQ 45	523 RCL 37	
479*LBL 54	494 RCL 31	509 RCL 11	524 STO 23	
480 XEQ 36	495 STO 14	510 STO 15	525 RCL 31	

Tabelle 4.62 Flußdiagramm Kurbellagen-Übersicht

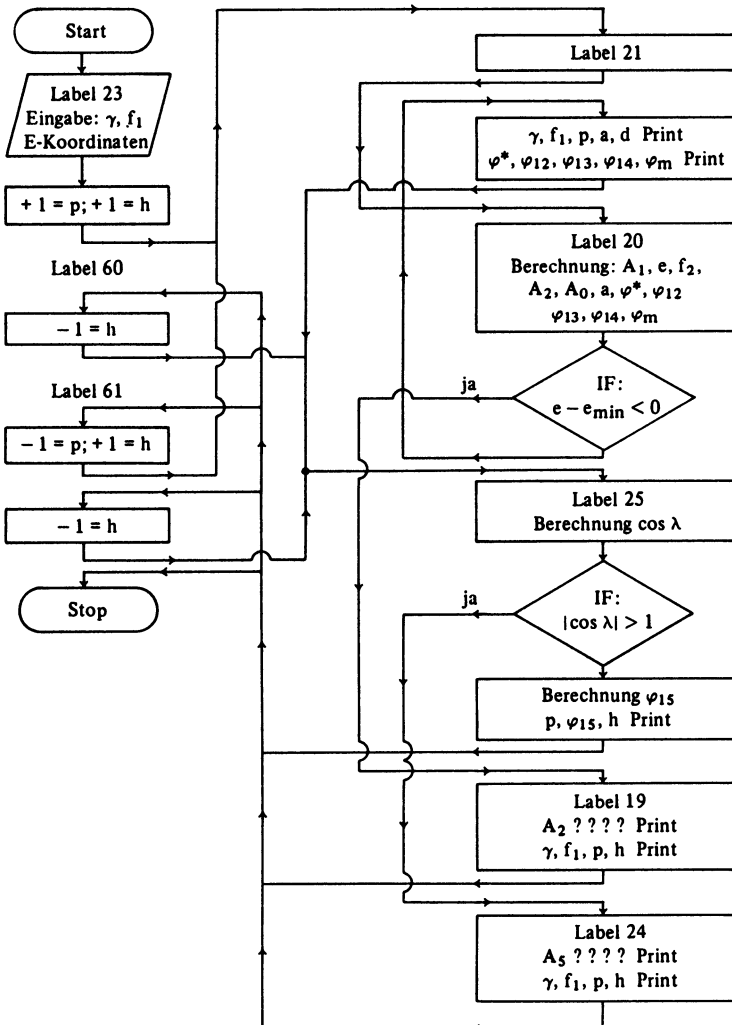


Tabelle 4.63 Flußdiagramm 5-Punkte-Synthese (I)

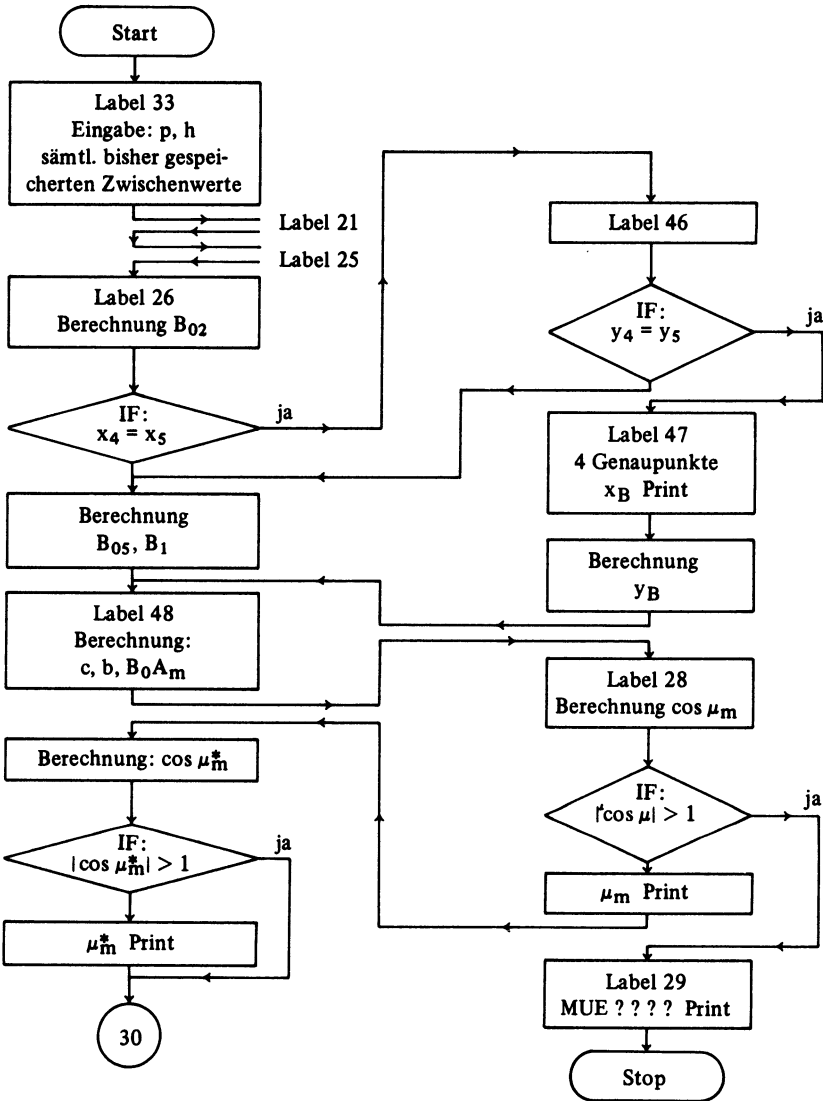


Tabelle 4.64 Flußdiagramm 5-Punkte-Synthese (II)

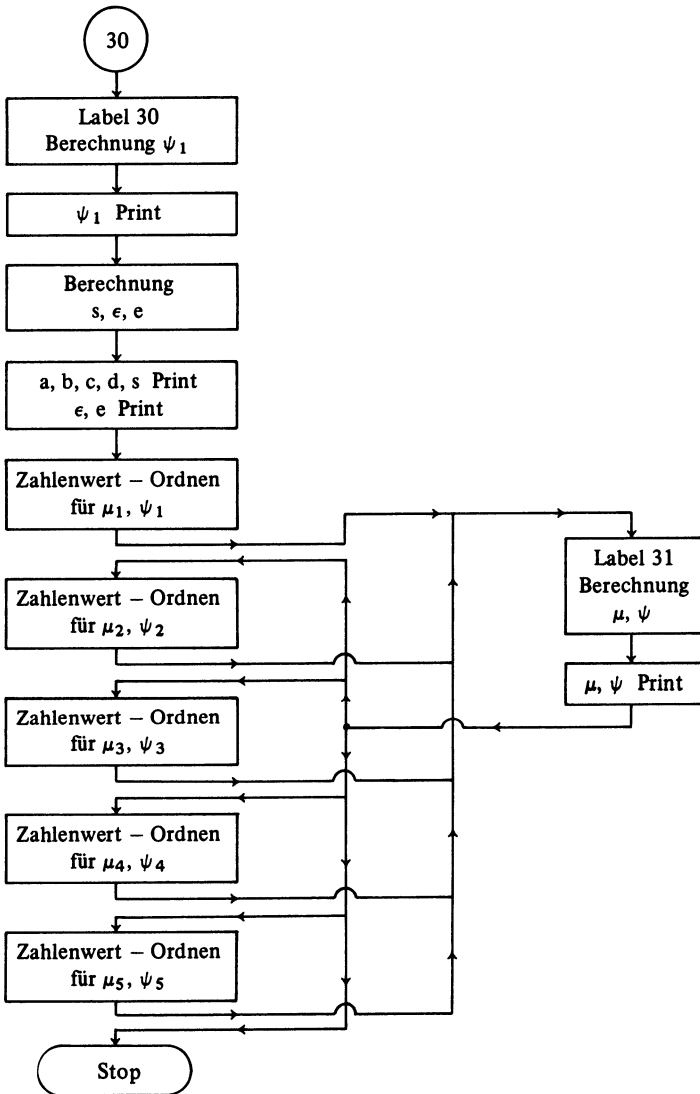


Tabelle 4.65 Ausdruck des Programms 5-Punkte-Synthese

01*LBL "HH12"	54 *	107 *	160 STO 40	213 PRX
02 XEQ 35	55 RCL 33	108 STO 37	161 RCL 10	214 *PHI*12,13,14*
03*LBL 20	56 COS	109 RCL 31	162 RCL 17	215 PRA
04 RCL 10	57 RCL 32	110 RCL 37	163 2	216 RCL 38
05 RCL 17	58 *	111 -	164 /	217 PRX
06 2	59 +	112 ENTER↑	165 +	218 RCL 39
07 /	60 STO 32	113 RCL 30	166 ENTER↑	219 PRX
08 -	61 RCL 10	114 RCL 36	167 RCL 20	220 RCL 40
09 ENTER↑	62 RCL 18	115 -	168 P-R	221 PRX
10 RCL 20	63 2	116 R-P	169 STO 41	222 RCL 41
11 P-R	64 /	117 STO 02	170 X<>Y	223 PRX
12 STO 30	65 -	118 X<>Y	171 RCL 37	224 *PHI-H*
13 X<>Y	66 ENTER↑	119 STO 28	172 -	225 PRA
14 STO 31	67 RCL 32	120 RCL 10	173 ENTER↑	226 RCL 43
15 RCL 21	68 P-R	121 -	174 RCL 41	227 PRX
16 -	69 STO 34	122 180	175 RCL 36	228 RTN
17 ENTER↑	70 X<>Y	123 +	176 -	229*LBL 19
18 RCL 30	71 STO 35	124 XEQ 18	177 R-P	230 "A2 ??????"
19 RCL 11	72 RCL 35	125 STO 38	178 X<>Y	231 PRA
20 -	73 RCL 31	126 RCL 35	179 RCL 28	232 *GAMMA,F1,P,H*
21 R-P	74 -	127 RCL 37	180 -	233 PRA
22 STO 00	75 ENTER↑	128 -	181 XEQ 18	234 RCL 10
23 RCL 22	76 RCL 34	129 ENTER↑	182 STO 41	235 PRX
24 ENTER↑	77 RCL 30	130 RCL 34	183 RCL 40	236 RCL 20
25 RCL 12	78 -	131 RCL 36	184 RCL 39	237 PRX
26 R-P	79 R-P	132 -	185 +	238 RCL 19
27 STO 32	80 X<>Y	133 R-P	186 2	239 PRX
28 X<>Y	81 90	134 X<>Y	187 /	240 XEQ 25
29 RCL 10	82 +	135 RCL 28	188 RCL 38	241*LBL 25
30 -	83 TAN	136 -	189 +	242 "....."
31 RCL 18	84 STO 33	137 XEQ 18	190 STO 43	243 PRA
32 2	85 RCL 30	138 STO 39	191 RTN	244 RCL 25
33 /	86 RCL 34	139 RCL 10	192*LBL 21	245 RCL 37
34 +	87 +	140 RCL 18	193 "....."	246 -
35 STO 33	88 2	141 2	194 PRA	247 ENTER↑
36 RCL 33	89 /	142 /	195 XEQ 20	248 RCL 15
37 SIN	90 RCL 33	143 +	196 *GAMMA,F1,P*	249 RCL 36
38 X12	91 *	144 ENTER↑	197 PRA	250 -
39 RCL 32	92 CHS	145 RCL 32	198 RCL 10	251 R-P
40 X12	93 RCL 31	146 P-R	199 PRX	252 STO 44
41 *	94 RCL 35	147 STO 40	200 RCL 20	253 X<>Y
42 CHS	95 +	148 X<>Y	201 PRX	254 ENTER↑
43 RCL 08	96 2	149 RCL 37	202 RCL 19	255 SIGN
44 X12	97 /	150 -	203 PRX	256 ACOS
45 +	98 +	151 ENTER↑	204 "A,D"	257 2
46 STO 44	99 RCL 10	152 RCL 40	205 PRA	258 *
47 0	100 TAN	153 RCL 36	206 RCL 02	259 +
48 RCL 44	101 RCL 33	154 -	207 PRX	260 STO 45
49 X=Y?	102 -	155 R-P	208 RCL 37	261 RCL 44
50 XEQ 19	103 /	156 X<>Y	209 ENTER↑	262 X12
51 RCL 44	104 STO 36	157 RCL 28	210 RCL 36	263 RCL 02
52 SORT	105 RCL 10	158 -	211 R-P	264 X12
53 RCL 19	106 TAN	159 XEQ 18	212 STO 05	

Tabelle 4.65 (Fortsetzung 1)

265 +	318 1	371 CHS	424 STO 32	477 /
266 RCL 08	319 STO 46	372 ENTER†	425 RCL 48	478 -
267 X↑2	320 XEQ 21	373 RCL 12	426 RCL 25	479 2
268 -	321 XEQ 25	374 CHS	427 -	480 *
269 2	322 -1	375 R-P	428 ENTER†	481 1/X
270 /	323 STO 46	376 STO 29	429 RCL 47	482 RCL 45
271 RCL 44	324 XEQ 25	377 X<Y	430 RCL 15	483 RCL 49
272 /	325 STOP	378 STO 28	431 -	484 -
273 RCL 02	326*LBL 24	379 RCL 35	432 R-P	485 *
274 /	327 "....."	380 RCL 22	433 X<Y	486 STO 49
275 STO 44	328 PRA	381 -	434 RCL 32	487 RCL 29
276 1	329 "A5 ?????"	382 ENTER†	435 -	488 *
277 RCL 44	330 PRA	383 RCL 34	436 STO 32	489 RCL 28
278 ABS	331 "GAMMA,F1,P,H"	384 RCL 12	437 RCL 31	490 /
279 X↑Y?	332 PRA	385 -	438 RCL 21	491 CHS
280 XEQ 24	333 RCL 10	386 R-P	439 -	492 RCL 45
281 SF 25	334 PRX	387 X<Y	440 ENTER†	493 2
282 RCL 44	335 RCL 20	388 RCL 28	441 RCL 30	494 /
283 ACOS	336 PRX	389 -	442 RCL 11	495 +
284 STO 44	337 RCL 19	390 STO 28	443 -	496 STO 45
285 "P,PHI-15,H"	338 PRX	391 RCL 31	444 R-P	497 XEQ 48
286 PRA	339 RCL 46	392 RCL 21	445 X<Y	498*LBL 48
287 RCL 19	340 PRX	393 -	446 RCL 32	499 RCL 45
288 PRX	341 "....."	394 ENTER†	447 -	500 ENTER†
289 RCL 45	342 PRA	395 RCL 30	448 ENTER†	501 RCL 49
290 RCL 46	343 RTN	396 RCL 11	449 RCL 33	502 R-P
291 RCL 44	344*LBL 18	397 -	450 P-R	503 STO 04
292 *	345 ENTER†	398 R-P	451 RCL 11	504 X<Y
293 +	346 SIGN	399 X<Y	452 +	505 STO 54
294 RCL 38	347 ACOS	400 RCL 28	453 STO 33	506 RCL 31
295 -	348 2	401 -	454 X<Y	507 RCL 45
296 RCL 10	349 *	402 ENTER†	455 RCL 21	508 -
297 -	350 +	403 RCL 29	456 +	509 ENTER†
298 180	351 RTN	404 P-R	457 STO 32	510 RCL 30
299 +	352*LBL 26	405 RCL 11	458 RCL 29	511 RCL 49
300 XEQ 18	353 "=====	406 +	459 X↑2	512 -
301 STO 42	354 PRA	407 STO 29	460 RCL 28	513 R-P
302 PRX	355 RCL 45	408 X<Y	461 /	514 STO 03
303 RCL 46	356 RCL 46	409 RCL 21	462 RCL 28	515 "MUE-M-M*"
304 PRX	357 RCL 44	410 +	463 +	516 PRA
305 RTN	358 *	411 STO 28	464 STO 45	517 RCL 43
306*LBL 23	359 +	412 RCL 14	465 RCL 33	518 COS
307 1	360 ENTER†	413 RCL 15	466 X↑2	519 RCL 02
308 STO 19	361 RCL 02	414 X=Y?	467 RCL 32	520 *
309 1	362 P-R	415 XEQ 46	468 /	521 CHS
310 STO 46	363 RCL 36	416 RCL 25	469 RCL 32	522 RCL 05
311 XEQ 21	364 +	417 CHS	470 +	523 +
312 XEQ 25	365 STO 47	418 ENTER†	471 STO 49	524 STO 51
313 -1	366 X<Y	419 RCL 15	472 RCL 29	525 XEQ 28
314 STO 46	367 RCL 37	420 CHS	473 RCL 28	526 RCL 43
315 XEQ 25	368 +	421 R-P	474 /	527 COS
316 -1	369 STO 48	422 STO 33	475 RCL 33	528 RCL 02
317 STO 19	370 RCL 22	423 X<Y	476 RCL 32	529 *



Tabelle 4.65 (Fortsetzung 2)

530 RCL 05	583 XEQ 29	635 CHS	688 RCL 03	741 STO 29
531 +	584 RCL 50	636 R-P	689 PRX	742 RCL 35
532 STO 51	585 ACOS	637 X<>Y	690 RCL 04	743 STO 51
533 RCL 03	586 STO 50	638 STO 32	691 PRX	744 RCL 34
534 X↑2	587 PRX	639 CHS	692 RCL 05	745 STO 52
535 RCL 04	588 RTN	640 RCL 54	693 PRX	746 XEQ 31
536 X↑2	589*LBL 29	641 +	694 RCL 06	747 *MUE-3,PSI-3*
537 +	590 *MUE ?????*	642 PRX	695 PRX	748 PRA
538 RCL 51	591 PRA	643 360	696 *EPS.,E*	749 RCL 35
539 X↑2	592 STOP	644 RCL 32	697 PRA	750 ENTER↑
540 -	593*LBL 46	645 +	698 RCL 45	751 RCL 34
541 2	594 RCL 24	646 RCL 10	699 RCL 31	752 R-P
542 /	595 RCL 25	647 -	700 -	753 X<>Y
543 RCL 03	596 X=Y?	648 PRX	701 ENTER↑	754 RCL 18
544 /	597 XEQ 47	649 RTN	702 RCL 49	755 +
545 RCL 04	598 RTN	650*LBL 30	703 RCL 30	756 X<>Y
546 /	599*LBL 31	651 *.....*	704 -	757 P-R
547 STO 50	600 RCL 28	652 PRA	705 R-P	758 STO 52
548 1	601 RCL 51	653 *PSI-1*	706 X<>Y	759 X<>Y
549 RCL 50	602 -	654 PRA	707 STO 07	760 STO 51
550 ABS	603 ENTER↑	655 RCL 31	708 RCL 21	761 RCL 23
551 X>Y?	604 RCL 29	656 ENTER↑	709 RCL 31	762 STO 28
552 XEQ 27	605 RCL 52	657 RCL 30	710 -	763 RCL 13
553 RCL 50	606 -	658 R-P	711 ENTER↑	764 STO 29
554 ACOS	607 R-P	659 STO 52	712 RCL 11	765 XEQ 31
555 PRX	608 X<>Y	660 X<>Y	713 RCL 30	766 *MUE-4,PSI-4*
556 GTO 30	609 RCL 07	661 ENTER↑	714 -	767 PRA
557*LBL 27	610 -	662 SIGN	715 R-P	768 RCL 10
558 *NICHT*	611 ENTER↑	663 ACOS	716 X<>Y	769 RCL 17
559 PRA	612 RCL 03	664 2	717 RCL 07	770 2
560 *UMLAUFF.*	613 P-R	665 *	718 -	771 /
561 PRA	614 RCL 52	666 +	719 STO 07	772 +
562 GTO 30	615 +	667 RCL 10	720 PRX	773 ENTER↑
563*LBL 28	616 STO 32	668 -	721 RCL 08	774 RCL 20
564 RCL 03	617 X<>Y	669 180	722 PRX	775 P-R
565 X↑2	618 RCL 51	670 +	723 *.....*	776 STO 52
566 RCL 04	619 +	671 STO 53	724 PRA	777 X<>Y
567 X↑2	620 STO 33	672 RCL 54	725 *MUE-1,PSI-1*	778 STO 51
568 +	621 RCL 51	673 RCL 10	726 PRA	779 RCL 24
569 RCL 51	622 RCL 33	674 -	727 RCL 21	780 STO 28
570 X↑2	623 -	675 180	728 STO 28	781 RCL 14
571 -	624 ENTER↑	676 +	729 RCL 11	782 STO 29
572 2	625 RCL 52	677 STO 44	730 STO 29	783 XEQ 31
573 /	626 RCL 32	678 PRX	731 RCL 31	784 *MUE-5,PSI-5*
574 RCL 03	627 -	679 RCL 53	732 STO 51	785 PRA
575 /	628 R-P	680 RCL 44	733 RCL 30	786 RCL 42
576 RCL 04	629 X<>Y	681 -	734 STO 52	787 RCL 10
577 /	630 STO 54	682 SIGN	735 XEQ 31	788 +
578 STO 50	631 RCL 33	683 STO 06	736 *MUE-2,PSI-2*	789 180
579 1	632 CHS	684 *A,B,C,D,S*	737 PRA	790 -
580 RCL 50	633 ENTER↑	685 PRA	738 RCL 22	791 RCL 38
581 ABS	634 RCL 32	686 RCL 02	739 STO 28	792 +
582 X>Y?		687 PRX	740 RCL 12	793 ENTER↑

Tabelle 4.65 (Fortsetzung 3)

794 RCL 02	813 STOP	833 RCL 22	853*LBL 47	873 90
795 P-R	814*LBL 35	834 PRX	854 ".....	874 +
796 RCL 36	815 SF 12	835 "X3,Y3,X4,Y4"	855 PRA	875 TAN
797 +	816 "=====	836 PRA	856 SF 12	876 RCL 49
798 STO 52	817 PRA	837 RCL 13	857 "4 GENAUP!	877 RCL 29
799 X<>Y	818 "GV-KOPPELK."	838 PRX	858 PRA	878 2
800 RCL 37	819 PRA	839 RCL 23	859 CF 12	879 /
801 +	820 "5 GENAUPKTE"	840 PRX	860 "XB"	880 -
802 STO 51	821 PRA	841 RCL 14	861 PRA	881 *
803 RCL 25	822 CF 12	842 PRX	862 RCL 49	882 RCL 28
804 STO 28	823 "KOORD.E-PKTE"	843 RCL 24	863 PRX	883 2
805 RCL 15	824 PRA	844 PRX	864 RCL 28	884 /
806 STO 29	825 "X1,Y1,X2,Y2"	845 "X5,Y5"	865 2	885 +
807 XEQ 31	826 PRA	846 PRA	866 /	886 STO 45
808 STOP	827 RCL 11	847 RCL 15	867 ENTER↑	887 XEQ 48
809*LBL 33	828 PRX	848 PRX	868 RCL 29	888 STOP
810 XEQ 21	829 RCL 21	849 RCL 25	869 2	889*LBL 50
811 XEQ 25	830 PRX	850 PRX	870 /	890 XEQ 21
812 XEQ 26	831 RCL 12	851 ADV	871 R-P	891 XEQ 26
	832 PRX	852 STOP	872 X<>Y	892 STOP
				893 .END.

4.7 Tabellenteil HP-85 und andere

Tabelle 4.70a Variablennamen-Referenzliste, nach mathematischen Namen sortiert

a	A	p	P
A	A1	r	R
A5, A5'	A5	r0	R0
b	B	s	S
B	B1	x0, xB0	X0
B0Am	M6	xK	X(K), K = 1 ... 5
B0Am*	M5	xA	A7
c	C	xA0	X7
cos λ	C1	xA1	X1
cos μm*	M4	xA2	X2
d	D	xA3	X3
e	E	xA4	X4
emin	E9	xA5	X5
E2B0	E2	xB	B7
E5B0	E5	xB02	Q2
f1	F1	xB05	Q5
f2	F2	xB1	X6
gs	G5	xE	E7
h	H	xE2	X(2)
m	M1	xE5	X(5)
m2	M2	xt	T1
mtw	M8	xtw	X8
muv	M9	xu	U1
		xuv	X9
		xv	V1
		xw	W1

Tabelle 4.70a (Fortsetzung)

$y_0, y_{B0}$	Y0	$\alpha$	A3
$y_K$	Y(K), K = 1 ... 5	$\gamma$	G
$y_A$	A8	$\delta$	D1
$y_{A0}$	Y7	$\Delta s$	D0
$y_{A1}$	Y1	$\Delta \varphi$	D6
$y_{A2}$	Y2	$\epsilon$	E1
$y_{A3}$	Y3	$\eta$	E0
$y_{A4}$	Y4	$\eta_2$	E4
$y_{A5}$	Y5	$\lambda$	L
$y_B$	B8	$\mu$	M7
$y_{B02}$	R2	$\mu_m$	M
$y_{B05}$	R5	$\mu_m^*$	M3
$y_{B1}$	Y6	$\nu_2$	N2
$y_E$	E8	$\nu_3$	N3
$y_{E2}$	Y(2)	$\varphi$	F9
$x_{E5}$	Y(5)	$\varphi_k$	F(K), K = 1 ... 5
$y_t$	T2	$\varphi_{12}$	P2
$y_{tw}$	Y8	$\varphi_{13}$	P3
$y_u$	U2	$\varphi_{14}$	P4
$y_{uv}$	Y9	$\varphi_{15}$	P5
$y_v$	V2	$\varphi_m$	P6
$y_w$	W2	$\varphi^*$	F0
$\times x_{AE}$	A6	$\psi$	P7
$\times x_{A0E5}$	W5	$\psi_1$	S1
$\times x_{A1B1}$	A0	$\psi_m$	S9
$\times x_{BA}$	B6	$\psi_{tw}$	P8
$\times x_{BB0}$	B3	$\psi_{uv}$	P9
$\times x_{B0B1}$	W		
$\times x_{B0t}$	W6		
$\times x_{B0u}$	W7		
$\times x_{B0v}$	W8		
$\times x_{B0w}$	W9		
$\times x_{E1B02}$	B2		
$\times x_{E1B05}$	B5		
$\times x_{E2A2}$	A2		
$\times x_{E2B0}$	W0		
$\times x_{E5A5}$	A9		
$\times x_{E5B0}$	B0		
$\times x_{E5B05}$	B9		

Tabelle 4.70b Variablenamen-Referenzliste, nach Rechnernamen sortiert

A	a	H	h
A(K)	a(K)	H1	ATN2( $y_{A1}, x_{A1}$ )
A0	$\propto x_{A1}B_1$	H9	$e^2 - e_{\min}^2$
A1	A	I	Laufindex
A2	$\propto xE_2A_2$	J, J1	Flaggen
A3	$\alpha$	K	Laufindex
A5	A5, A5'	L	$\lambda$
A6	$\propto xAE$	M	$\mu_m$
A7	$x_A$	M(i)	$\mu_m(i), i = 1 \dots 5$
A8	$y_A$	M0	$\cos \mu_m$
A9	$\propto xE_5A_5$	M1	m
A§	MS-Paarung	M2	$m_2$
B	b	M3	$\mu_m^*$
B0	$\propto xE_5B_0$	M4	$\cos \mu_m^*$
B1	B	M5	$B_0A_m^*$
B2	$\propto xE_1B_{02}$	M6	$B_0A_m$
B3	$\propto xBB_0$	M7	$\mu$
B5	$\propto xE_1B_{05}$	M8	$m_{tw}$
B6	$\propto xBA$	M9	$m_{uv}$
B7	$x_B$	N2	$\nu_2$
B8	$y_B$	N3	$\nu_3$
B9	$\propto xE_5B_{05}$	O	Flagge
C	c	P	p
C1	$\cos \lambda$	P(i)	$p(i), i = 1 \dots 5$
D	d	P2	$\varphi_{12}$
D0	$\Delta s$	P3	$\varphi_{13}$
D1	$\delta$	P4	$\varphi_{14}$
D2	ATN2( $y_{A2} - y_{A0}, x_{A2} - x_{A0}$ )	P5	$\varphi_{15}$
D3	ATN2( $y_{A3} - y_{A0}, x_{A3} - x_{A0}$ )	P6	$\varphi_m$
D4	ATN2( $y_{A4} - y_{A0}, x_{A4} - x_{A0}$ )	P7	$\psi$
D5	ATN2( $y_5 - y_{A0}, x_5 - x_{A0}$ )	P8	$\psi_{tw}$
D6	$\Delta \varphi$	P8(i)	$\psi_{tw}(i), i = 1 \dots 5$
E	e	P9	$\psi_{uv}$
E0	$\eta$	P9(i)	$\psi_{uv}(i), i = 1 \dots 5$
E1	$\epsilon$	Q	Flagge
E2	$E_2B_0$	Q2	$x_{B02}$
E4	$\eta_2$	Q5	$x_{B05}$
E5	$E_5B_0$	R	r
E7	$x_E$	R0	$r_0$
E8	$y_E$	R2	$y_{B02}$
E9	$e_{\min}$	R5	$y_{B05}$
F	Flagge	S	s
F(K)	$\varphi_K, K = 1 \dots 5$	S1	$\psi_1$
F0	$\varphi^*$	S9	$\psi_m$
F1	$f_1$	S§	bei INPUT
F2	$f_2$	T1	$x_t$
F9	$\varphi$	T2	$y_t$
G	$\gamma$		
G5	$g_s$		

Tabelle 4.70b (Fortsetzung)

U1	x <sub>u</sub>	X6	x <sub>B1</sub>
U2	y <sub>u</sub>	X7	x <sub>A0</sub>
V1	x <sub>v</sub>	X8	x <sub>tw</sub>
V2	y <sub>v</sub>	X9	x <sub>uv</sub>
W	x x <sub>B0</sub> B <sub>1</sub>	X(k)	x <sub>k</sub> , k = 1 ... 5
W0	x x <sub>E2</sub> B <sub>0</sub>	X(2)	x <sub>E2</sub>
W1	x <sub>w</sub>	X(5)	x <sub>E5</sub>
W2	y <sub>w</sub>	Y0	y <sub>0</sub> , y <sub>B0</sub>
W5	x x <sub>A0</sub> E <sub>5</sub>	Y0(i)	y <sub>0</sub> (i), y <sub>B0</sub> (i), i = 1 ... 5
W6	x x <sub>B0</sub> t	Y1	y <sub>A1</sub>
W7	x x <sub>B0</sub> u	Y2	y <sub>A2</sub>
W8	x x <sub>B0</sub> v	Y3	y <sub>A3</sub>
W9	x x <sub>B0</sub> w	Y4	y <sub>A4</sub>
X0	x <sub>0</sub> , x <sub>B0</sub>	Y5	y <sub>A5</sub>
X0(i)	x <sub>0</sub> (i), x <sub>B0</sub> (i), i = 1 ... 5	Y6	y <sub>B1</sub>
X1	x <sub>A1</sub>	Y7	y <sub>A0</sub>
X2	x <sub>A2</sub>	Y8	y <sub>tw</sub>
X3	x <sub>A3</sub>	Y9	y <sub>uv</sub>
X4	x <sub>A4</sub>	Y(k)	y <sub>k</sub> , k = 1 ... 5
X5	x <sub>A5</sub>	Y(2)	y <sub>E2</sub>
		Y(5)	y <sub>E5</sub>

Tabelle 4.71 Vollständige Anweisungsliste

```

1 F=0 ! >>> PROGR. GETRBE ****
! >>> OKTOBER 1983 <<<
2 !
3 DEG
4 IMAGE 6A,M3D.3D,2X,7A,M3D.3D
5 IMAGE 7A,X,MD.3DE,X,MD.3DE
6 IMAGE A,D,2A,D,2X,A,X,MD.3DE
,X,MD.3DE
8 IMAGE 13A,M4D.3D
10 J,J1,0,Q=0
12 CLEAR @ DISP
16 DISP "***** GETRIEBE-ENTWU
RF "*****" @ DISP
22 DISP "*" zur Erzeugung
g "*"
26 DISP "*" gegebener Bahnku
rven "*"
30 DISP "*****
*****"
32 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200 @
BEEP 10,200
40 DISP @ DISP
42 DISP " Informationen zum g
esantem "
44 DISP " Programmpaket könne
n über "
46 DISP " FUNKTIONSTASTE
#1"
48 DISP " abgerufen werden
!!!!!"
50 ON KEY# 1,"INFO" GOTO 80
52 ON KEY# 2,"WERTE" GOSUB 1000
54 ON KEY# 3," 1LAGE" GOTO 900
56 ON KEY# 4," HAUPT" GOTO 12
80
58 ON KEY# 5,"TEST" GOTO 400
60 ON KEY# 6,"KOORD" GOTO 500
62 ON KEY# 7," VORPR" GOSUB 800
64 ON KEY# 8," CHECK" GOSUB 3
600
68 KEY LABEL
70 GOTO 50
80 CLEAR
82 DISP
84 DISP "** INFORMATIONEN ZUM P
ROGRAMM *" @ DISP
90 DISP "** Es folgt eine Besch
reibung *"
92 DISP "*" der Funktionstasten
-Aufrufe *"
94 DISP "*" und der Möglichkeit
en "*"
98 DISP "*****
*****"
100 ON KEY# 1,"ZUROCK" GOTO 300
102 ON KEY# 2,"WERTE" GOSUB 130
104 ON KEY# 3," 1LAGE" GOSUB 154
106 ON KEY# 4," HAUPT" GOSUB 1
76
108 ON KEY# 5,"TEST" GOSUB 210
110 ON KEY# 6,"KOORD" GOSUB 234
112 ON KEY# 7," VORPR" GOSUB 260
114 ON KEY# 8," CHECK" GOSUB 2
64
116 KEY LABEL
118 GOTO 100

```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 1)

```

130 CLEAR @ BEEP @ DISP
132 DISP " FUNKTIONSTASTE #2 '
WERTE'"
134 DISP "-----"
138 DISP " @ DISP
138 DISP " Diese Taste muß immer zuerst"
140 DISP " gedrückt werden, um die"
142 DISP " Eingangswerte einzugeben."
144 RETURN
154 CLEAR @ BEEP @ DISP
156 DISP " FUNKTIONSTASTE #3 '
ILAGE'"
158 DISP "-----"
160 DISP " @ DISP
160 DISP " Mit Hilfe dieser Taste ist"
162 DISP " die Auswahl verschiedener"
164 DISP " Einzellagen möglich"
166 RETURN
176 CLEAR @ BEEP @ DISP
178 DISP " FUNKTIONSTASTE #4 '
HAUPT'"
180 DISP "-----"
182 DISP "Mit dieser Taste wird das Haupt-"
184 DISP "programm aufgerufen."
186 DISP "Es wird das Hauptmenü auf dem"
188 DISP "Bildschirm dargestellt, aus dem"
190 DISP " - Kurbellagen-Übersicht"
192 DISP " - 5-Punkte-Synthese"
194 DISP " - 4-Punkte-Synthese"
196 DISP " - Andere Einzellage"
198 DISP " auswählbar ist."
200 RETURN
210 CLEAR @ BEEP @ DISP
212 DISP " FUNKTIONSTASTE #5 '
TEST'"
214 DISP "-----"
216 DISP " @ DISP
216 DISP " Mit Hilfe dieser Taste kann"
218 DISP " mit fest vorgegebene n Ein-"
220 DISP " gangswerten das Programm"
222 DISP " vollständig ausgeführt werden."
224 RETURN
234 CLEAR @ BEEP @ DISP
236 DISP " FUNKTIONSTASTE #6 '
KOORD'"
238 DISP "-----"
240 DISP " @ DISP
240 DISP " Hiermit können die Eingangswerte"
242 DISP " Koordinaten berechnet werden"
244 DISP " für die Beispiele:"
246 DISP " - Evolventen-Profil"
248 DISP " - Zweistand-Schubgetriebe"
250 RETURN
260 CLEAR @ BEEP @ DISP

262 DISP " FUNKTIONSTASTE #7 '
VORPR'"
264 DISP "-----"
266 DISP " @ DISP
266 DISP " Mit dieser Taste wird die"
268 DISP " Berechnung aller"
270 DISP " Bo-Reduktionen"
272 DISP " veranlaßt"
274 RETURN
284 CLEAR @ BEEP @ DISP
286 DISP " FUNKTIONSTASTE #8 '
CHECK'"
288 DISP "-----"
290 DISP " @ DISP
290 DISP " Mit Hilfe dieser Taste werden"
292 DISP " die derzeit gültigen"
294 DISP " Eingangswerte angezeigt."
296 RETURN
298 !
300 CLEAR @ GOTO 10
400 !
402 CLEAR @ BEEP @ DISP
406 DISP "***** T E S T L A U
F *****"
408 DISP "*****"
410 DISP "*****"
412 DISP "***** mit fest vorgegebenen"
414 DISP "***** Eingangswerten"
416 DISP "*****"
420 RESTORE
422 DATA .00000001, .00001, 1.1, -6
.9, 22, -13.7, 34.6, -9.3, 47.2, 0
424 FOR K=1 TO 5
426 READ X(K), Y(K)
428 NEXT K
430 F=1
432 GOSUB 3600
434 GOSUB 4100
436 GOSUB 4200
438 GOSUB 4300
440 GOSUB 4400
442 GOSUB 4500
444 GOTO 900
500 CLEAR @ BEEP @ DISP
506 DISP "***** BERECHNUNG DER EIN-
GANGS-*****"
508 DISP "***** KOORDINATEN FÜR D
IE *****"
510 DISP "***** FOLGENDEN BEISPIE
LE *****"
512 DISP "*****"
514 DISP "Evolventen-Profil"
516 DISP "Zweistand-Schubgetriebe"
518 INPUT S$
520 IF S$="1" AND S$="2" THEN 518
522 IF S$="1" THEN 530
524 IF S$="2" THEN 600

```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 2)

```

530 ! EVOLVENTEN-PROFIL
534 F=1 @ CLEAR @ DISP
536 DISP " W E R T E E I N G A
    B E : "
538 DISP "-----"
540 FOR K=1 TO 5
542 DISP "Phi";K;" = ";
544 BEEP
546 INPUT F(K)
548 NEXT K
550 DISP "Alpha = ";
552 BEEP
554 INPUT A3
556 DISP "r(o) = ";
558 BEEP
560 INPUT R0
562 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200
564 PRINT "*****"
566 PRINT " EVOLVENTEN-EINGANGS
    WERTE:" @ PRINT
568 FOR K=1 TO 5
570 PRINT " Phi";K;" = ";F(K)
572 NEXT K
574 PRINT " Alpha = ";A3
576 PRINT " r(o) = ";R0 @ PRI
    NT
578 PRINT " EVOLVENTEN-KOORDINA
    TEN:" @ PRINT
580 FOR K=1 TO 5
582 F9=F(K)
584 GOSUB 1100
586 X(K)=E7 @ Y(K)=E8
588 PRINT USING 6 ; "X",K,"/Y",K
    , "=" ,X(K),Y(K)
590 NEXT K
592 GOTO 10
600 ! ZWEISTAND-SCHUBGETRIEBE
602 F=1 @ CLEAR @ DISP
604 DISP " W E R T E E I N G A
    B E : "
606 DISP "-----"
608 DISP "Phi(*) = ";
610 BEEP
612 INPUT F0
614 DISP "r = ";
616 BEEP
618 INPUT R
620 DISP "Delta Phi = ";
622 BEEP
624 INPUT D6
626 DISP "Delta s = ";
628 BEEP
630 INPUT D0
632 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200
634 PRINT "*****"
636 PRINT " ZWEISTAND-EINGANGSW
    ERTE:" @ PRINT
638 PRINT " Phi(*) = ";F0
640 PRINT " r = ";R
642 PRINT " Delta Phi = ";D6
644 PRINT " Delta s = ";D0 @
    PRINT
646 PRINT " ZWEISTAND-KOORDINAT
    EN:" @ PRINT
648 X(1)=R*COS(F0)
650 Y(1)=R*SIN(F0)
651 PRINT USING 5 ; "X1/Y1 =",X(
    1),Y(1)
652 X(2)=R*COS(F0+D6)+D0
654 Y(2)=R*SIN(F0+D6)
655 PRINT USING 5 ; "X2/Y2 =",X(
    2),Y(2)
656 X(3)=R*COS(F0+2*D6)+2*D0
658 Y(3)=R*SIN(F0+2*D6)
659 PRINT USING 5 ; "X3/Y3 =",X(
    3),Y(3)
660 X(4)=R*COS(F0+3*D6)+3*D0
662 Y(4)=R*SIN(F0+3*D6)
664 PRINT USING 5 ; "X4/Y4 =",X(
    4),Y(4)
666 PRINT USING 5 ; "X5/Y5 =",X(
    4),Y(4)
668 X(5)=X(4)+.01 @ Y(5)=Y(4)
670 GOTO 10
800 CLEAR @ BEEP 10,200 @ BEEP 2
    0,200 @ DISP
804 DISP "*** V O R P R O G R A
    M M ***"
806 DISP " * "
810 DISP " * mit Berechnung a
    ller * "
812 DISP " * 5 Bo-Reduktion
    en * "
814 DISP "*****"
816 IF F=0 THEN GOSUB 1000 ELSE
    818
817 GOTO 800
818 GOSUB 4100
820 GOSUB 4200
822 GOSUB 4300
824 GOSUB 4400
826 GOSUB 4500
830 CLEAR @ BEEP
832 DISP "*****"
834 DISP " Die 5 Bo-Reduktion
    e n sind "
836 DISP " berechnet." @ DISP
838 DISP " Durch Drücken der T
    aste [ + ] "
840 DISP " Fortsetzung der Bea
    reitung "
844 INPUT S$
846 IF S$="" THEN 844
848 RETURN
900 CLEAR @ BEEP @ DISP
904 DISP "*** E I N Z E L L A G
    E N ***"
906 DISP " * "
910 DISP " * mit Übergang zu
    m * "
912 DISP " * Hauptprogramm
    * "
914 DISP "*****"
916 IF F=0 THEN GOSUB 1000 ELSE
    918
917 GOTO 900
918 DISP "Wählen Sie die Einzell
    age:"
920 DISP "-----"
922 DISP " 14 - 23 >>> [1]"
924 DISP " 15 - 23 >>> [2]"
926 DISP " 15 - 24 >>> [3]"
928 DISP " 15 - 34 >>> [4]"

```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 3)

```

930 DISP " 25 - 34 >>> [5]"
932 BEEP
934 INPUT S$
936 IF S$="1" AND S$="2" AND S$="
    "3" AND S$="4" AND S$="5" TH
    EN 934
938 IF S$="1" THEN GOSUB 5100 EL
    SE 942
940 GOTO 960
942 IF S$="2" THEN GOSUB 5200 EL
    SE 946
944 GOTO 960
946 IF S$="3" THEN GOSUB 5300 EL
    SE 950
948 GOTO 960
950 IF S$="4" THEN GOSUB 5400 EL
    SE 954
952 GOTO 960
954 IF S$="5" THEN GOSUB 5500
960 CLEAR @ BEEP 10,200 @ BEEP 2
    0,200
962 DISP "*****"
    ***** @ DISP
964 DISP "WAHLEN SIE : "
966 DISP "-----"
    ----- @ DISP
968 DISP "Obergang"
970 DISP "zum Hauptprogramm
    >>> [1] @ DISP
972 DISP "Neuanfang"
    >>> [-] @ DISP
974 DISP "andere Einzellage
    >>> [+]"
978 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200
980 INPUT S$
982 IF S$="/" AND S$="-" AND S$=
    "+" THEN 980
984 IF S$="/" THEN 1200
986 IF S$="-" THEN 10
988 IF S$="+" THEN GOSUB 3700
992 GOTO 900
1000 CLEAR @ DISP
1002 DISP "*** WERTEEINGAB
    E ***"
1004 DISP "*****"
    ***** @ DISP @ BEEP
    10,200 @ BEEP 20,200
1008 DISP "Eingabe der Eingangswe
    rte : " @ DISP
1010 FOR K=1 TO 5
1012 DISP "X";K;"/ Y";K; " = ";
1014 BEEP
1016 INPUT X(K),Y(K)
1018 NEXT K
1020 BEEP @ WAIT 2000
1024 F=1 ! Flagge fuer: "Werte s
    ind eingesegeben"
1026 RETURN
1100 ! EVOLVENTEN-UNTERPROGRAMM
1104 E7=R0*((SIN(A3)+COS(A3))*F9*
    PI/180)*COS(F9)-COS(A3)*SIN
    (F9)
1106 E8=R0*((SIN(A3)+COS(A3))*F9*
    PI/180)*SIN(F9)+COS(A3)*CO
    S(F9)-1))
1108 RETURN
1200 CLEAR @ BEEP @ DISP
1202 J1=0
1206 DISP "*" H A U P T P R O G
    R A M M "*"
1208 DISP "*" -----
    -----
    "*"
1212 DISP "****mit Berechnung der K
    urbellagen*"
1214 DISP "*" und des
    "*"
1216 DISP "*" Gesamt-Gelenkvie
    recks "*"
1220 DISP "*****"
    ***** @ DISP @ WAIT
    2000
1222 IF F=0 THEN GOSUB 1000 ELSE
    1224
1223 GOTO 1200
1224 DISP "Zur Wahl stehen:" @ D
    ISP
1226 DISP "Kurbellagen-Obersicht
    >>> [0]"
1228 DISP "5-Punkte-Synthese
    >>> [5]"
1230 DISP "4-Punkte-Synthese
    >>> [4]"
1232 DISP "Neuanfang
    >>> [-]"
1234 BEEP
1236 INPUT S$
1238 IF S$="0" AND S$="5" AND S$=
    # "4" AND S$="-" THEN 1236
1240 IF S$="0" THEN 3500
1242 IF S$="5" THEN 3300
1244 IF S$="4" THEN 5000
1246 IF S$="-" THEN 10
1800 DISP
1804 DISP "Wählen Sie die freien
    Parameter"
1806 DISP "=====
    ===== @ DISP
1808 DISP " **Gamma** **
    f(1)**"
1810 DISP "-----"
    ----- @ DISP
1812 DISP "Gamma = ";
1814 BEEP
1816 INPUT G @ BEEP
1818 DISP
1820 DISP "f(1) = ";
1822 BEEP
1824 INPUT F1 @ BEEP
1830 RETURN
1900 J=1
1904 CLEAR @ DISP @ DISP
1908 DISP "*** A C H T U N G :
    ***"
1910 DISP "****-----
    -----**" @ DISP
1912 DISP " Es ist kein A2-Sch
    nittpunkt"
1914 DISP " möglich mit:" @ D I
    SP
1916 DISP USING 8 ; " Gamma =
    ";G
1918 DISP USING 8 ; " f1 =
    ";F1
1920 DISP USING 8 ; " p =
    ";P
1922 DISP USING 8 ; " h =
    ";H
1924 DISP "-----"
    ----- @ DISP
1926 DISP "Ausdrucken mit Taste
    >>> [X]"
1928 DISP "Weiterarbeiten durch
    >>> [+]"

```



Tabelle 4.71 (Fortsetzung 4)

```

1930 BEEP
1932 INPUT S$
1934 IF S$="*" AND S$="+" THEN 1
    934
1936 IF S$="+" THEN 1960
1938 PRINT "*****"
1940 PRINT "Es ist kein A2-Schni
    ttpunkt"
1942 PRINT "mögllich mit:" @ PRIN
    T
1944 PRINT USING 8 ; "    Gamma =
    ";G
1946 PRINT USING 8 ; "    f1    =
    ";F1
1948 PRINT USING 8 ; "    P      =
    ";P
1950 PRINT USING 8 ; "    h      =
    ";H
1952 PRINT "-----" @ PRINT @ PRI
    NT
1960 RETURN
2000 ! SYMMETRIELAGEN-BERECHNUNG
2036 X1=F1*COS(G-P8/2) ! x(A1)
2038 Y1=F1*SIN(G-P8/2) ! y(A1)
2042 E=SQR((T2-Y1)^2+(T1-X1)^2)
2046 E0=ATN2(U2,U1)-G+P9/2 ! ETA
2048 E9=SQR(U1^2+U2^2)*SIN(E0) !
    e(min)
2050 H9=E^2-E9^2
2054 IF H9<=0 THEN 1900
2058 F2=SQR(U1^2+U2^2)*COS(E0)+P
    *SQR(H9) ! f(2)
2060 X2=F2*COS(G-P9/2) ! x(A2)
2062 Y2=F2*SIN(G-P9/2) ! y(A2)
2064 M2=TAN(ATN2(Y2-Y1,X2-X1)+90
    ) ! m(2)
2066 X7=(-(M2*(X1+X2)/2)+(Y1+Y2)
    /2)/(TAN(G)-M2) ! x(Ao)
2068 Y7=X7*TAN(G) ! y(Ao)
2070 A=SQR((Y1-Y7)^2+(X1-X7)^2)
2072 D1=ATN2(Y1-Y7,X1-X7) ! DELT
    A
2074 F0=D1+ACS(SGN(D1))*2-G+180
    ! PHI(*)
2075 IF SGN(F0)-1 THEN F0=F0+360
2076 IF F0>360 THEN F0=F0-360
2077 D2=ATN2(Y2-Y7,X2-X7)
2078 P2=D2+ACS(SGN(D2))*2-D1 ! P
    HI(12)
2079 IF SGN(P2)-1 THEN P2=P2+360
2080 IF P2>360 THEN P2=P2-360
2081 X3=F2*COS(G+P9/2)
2082 Y3=F2*SIN(G+P9/2)
2084 D3=ATN2(Y3-Y7,X3-X7)
2086 P3=D3+ACS(SGN(D3))*2-D1 ! P
    HI(13)
2087 IF SGN(P3)-1 THEN P3=P3+360
2088 IF P3>360 THEN P3=P3-360
2089 X4=F1*COS(G+P8/2)
2090 Y4=F1*SIN(G+P8/2)
2092 D4=ATN2(Y4-Y7,X4-X7)
2093 P4=D4+ACS(SGN(D4))*2-D1 ! P
    HI(14)
2094 IF SGN(P4)-1 THEN P4=P4+360
2095 IF P4>360 THEN P4=P4-360
2096 P6=(P3+P2)/2+F0 ! PHI(m)
2097 IF SGN(P6)-1 THEN P6=P6+360
2098 IF P6>360 THEN P6=P6-360
2099 RETURN

2100 DISP
2106 DISP "*** SYMMETRIELAGEN-BE
    RECHNUNG ***"
2107 DISP
2108 GOSUB 2000
2109 IF J=1 THEN 2184
2110 CLEAR @ BEEP
2111 DISP "=====
    ====="
2112 DISP "    Parameter und Erge
    bnisse:"
2114 DISP "-----"
2116 DISP USING 8 ; "    Gamma
    = ";G
2118 DISP USING 8 ; "    f1
    = ";F1
2120 DISP USING 8 ; "    P
    = ";P
2122 DISP USING 8 ; "    a
    = ";A
2123 D=SQR(X7^2+Y7^2)
2124 DISP USING 8 ; "    d
    = ";D
2126 DISP USING 8 ; "    Phi(*)
    = ";F0
2128 DISP USING 8 ; "    Phi(12)
    = ";P2
2130 DISP USING 8 ; "    Phi(13)
    = ";P3
2132 DISP USING 8 ; "    Phi(14)
    = ";P4
2134 DISP USING 8 ; "    Phi(m)
    = ";P6
2136 DISP "-----" @ WAIT 2000
2138 DISP "Ausdrucken mit Taste
    >>> [F1]"
2140 DISP "Weiterarbeiten durch
    >>> [F2]"
2142 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200
2144 INPUT S$
2146 IF S$="*" AND S$="+" THEN 2
    146
2148 IF S$="+" THEN 2184
2150 PRINT "=====
    ====="
2152 PRINT "    K U R B E L L A G
    E N -"
2154 PRINT "    O B E R S I C H
    T"
2156 PRINT "-----"
2158 PRINT "    Parameter ud Erge
    bnisse:"
2160 PRINT "-----"
2162 PRINT USING 8 ; "    Gamma
    = ";G
2164 PRINT USING 8 ; "    f1
    = ";F1
2166 PRINT USING 8 ; "    P
    = ";P
2168 PRINT USING 8 ; "    a
    = ";A
2170 PRINT USING 8 ; "    d
    = ";SQR(X7^2+Y7^2)
2172 PRINT USING 8 ; "    Phi(*)
    = ";F0
2174 PRINT USING 8 ; "    Phi(12)
    = ";P2

```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 5)

```

2176 PRINT USING 8 ; "    Phi(13)
      = ";P3
2178 PRINT USING 8 ; "    Phi(14)
      = ";P4
2180 PRINT USING 8 ; "    Phi(m)
      = ";P6
2182 PRINT "-----"
2184 RETURN
2300 CLEAR @ BEEP @ DISP
2308 DISP "**    K U R B E L L A
      G E N - **"
2310 DISP "*    O B E R S I C
      H T      *"
2314 DISP "*****"
      ***** @ DISP @ WAIT
      1000
2316 GOSUB 1800
2318 P=1 @ H=1
2322 GOSUB 2100
2323 IF J=0 THEN 2326
2324 J=0 @ Y7=Y2 @ X7=X2
2325 A=SQR((Y1-Y7)^2+(X1-X7)^2)
2326 GOSUB 2500
2328 H=-1
2332 GOSUB 2500
2336 P=-1 @ H=1
2340 GOSUB 2100
2341 IF J=0 THEN 2344
2342 J=0 @ Y7=Y2 @ X7=X2
2343 A=SQR((Y1-Y7)^2+(X1-X7)^2)
2344 GOSUB 2500
2346 H=-1
2350 GOSUB 2500
2354 GOTO 1200
2400 ! =====
2402 CLEAR @ DISP
2404 DISP "*****"
      ***** @ DISP
2406 DISP "**    A C H T U N G :
      **"
2408 DISP "**-----"
      ** @ DISP
2410 DISP "    Es ist kein A5-Sch
      nittpunkt"
2412 DISP "    möglich mit:" @ DI
      SP
2414 DISP USING 8 ; "    Gamma
      = ";G
2416 DISP USING 8 ; "    f1
      = ";F1
2418 DISP USING 8 ; "    P
      = ";P
2420 DISP USING 8 ; "    h
      = ";H
2422 DISP "-----"
      ----- @ DISP
2424 DISP "Ausdrucken mit Taste
      >>> [X]"
2426 DISP "Weiterarbeiten durch
      >>> [X]"
2428 BEEP
2430 INPUT S$
2432 IF S$="X" AND S$="+" THEN 2
      432
2434 IF S$="+" THEN 2460
2436 PRINT "*****"
      ***** @ PRINT
2438 PRINT "Es ist kein A5-Schni
      ttpunkt"
2440 PRINT "möglich mit:" @ PRIN
      T
2442 PRINT USING 8 ; "    Gamma
      = ";G
2444 PRINT USING 8 ; "    f1
      = ";F1
2446 PRINT USING 8 ; "    P
      = ";P
2448 PRINT USING 8 ; "    h
      = ";H
2450 PRINT "-----"
      ----- @ PRINT @ PRI
      NT
2460 RETURN
2500 ! A5-BERECHNUNG
2504 G5=SQR((Y(5)-Y7)^2+(X(5)-X7
      )^2) ! g(5)
2506 D5=ATN2(Y(5)-Y7,X(5)-X7)
2508 W5=D5+ACS(SGN(D5))*2
2510 C1=(G5^2+A^2-E^2)/2/G5/A !
      cos(LAMBDA)
2512 IF ABS(C1)>1 THEN 2400
2514 L=ACS(C1) ! LAMBDA
2516 P5=W5+H*L-F0-G+180
2518 P5=P5+ACS(SGN(P5))*2 ! PHI(
      15)
2520 CLEAR @ BEEP
2522 DISP "*****"
      *****
2524 DISP "* Ergebnisse der A5-B
      erechnung:"
2526 DISP "-----"
      ----- @ DISP
2528 DISP USING 8 ; "    P
      = ";P
2530 DISP USING 8 ; "    Phi(15)
      = ";P5
2532 DISP USING 8 ; "    h
      = ";H @ DISP
2534 DISP "-----"
      ----- @ DISP
2536 DISP "Ausdrucken mit Taste
      >>> [X]"
2538 DISP "Weiterarbeiten durch
      >>> [X]"
2540 BEEP
2542 INPUT S$
2544 IF S$="X" AND S$="+" THEN 2
      544
2546 IF S$="+" THEN 2560
2548 PRINT
2550 PRINT "    Ergebnisse der A5-
      Berechnung:"
2552 PRINT "-----"
      -----
2554 PRINT USING 8 ; "    P
      = ";P
2556 PRINT USING 8 ; "    Phi(15)
      = ";P5
2558 PRINT USING 8 ; "    h
      = ";H
2560 RETURN
2600 CLEAR @ BEEP 10,200 @ BEEP
      20,200 @ DISP
2606 DISP "****
      **** Berechnung v
      on ****"
2608 DISP "* Gelenkviereck-Glie
      dlängen *" @ DISP
2612 X5=A*COS(W5+H*L)+X7 ! x(A5)
2614 Y5=A*SIN(W5+H*L)+Y7 ! y(A5)
2616 E2=SQR(X(2)^2+Y(2)^2)
2618 W0=ATN2(-Y(2),-X(2))
2620 A2=ATN2(Y2-Y(2),X2-X(2))

```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 6)

```

2622 N2=A2-W0 ! NÜ(2)
2626 B2=ATN2(Y1-Y(1),X1-X(1))-N2
2628 Q2=E2*COS(B2)+X(1) ! x(Bo2)
2630 R2=E2*SIN(B2)+Y(1) ! y(Bo2)
2632 IF X(5)*X(4) THEN 2638
2634 IF Y(5)=Y(4) THEN 4700
2638 E5=SQR(X(5)^2+Y(5)^2)
2640 B0=ATN2(-Y(5),-X(5))
2642 A9=ATN2(Y5-Y(5),X5-X(5))
2644 N3=A9-B0 ! NÜ(3)
2648 B5=ATN2(Y1-Y(1),X1-X(1))-N3
2650 Q5=E5*COS(B5)+X(1) ! x(Bo5)
LIST5000
2652 R5=E5*SIN(B5)+Y(1) ! y(Bo5)
2656 A1=Q2^2/R2+R2 ! A
2658 B1=Q5^2/R5+R5 ! B
2660 X6=(A1-B1)/2/(Q2/R2-Q5/R5)
! x(B1)
2662 Y6=A1/2-X6*Q2/R2 ! y(B1)
2666 GOTO 4800
2700 CLEAR
2704 FOR I=1 TO 3
2705 DISP @ DISP @ DISP
2706 DISP "** !!!!!! ACHTUNG
!!!!!! **" @ DISP
2708 DISP "** Das Gelenkvierec
k ist **"
2710 DISP "** N I C H T
**"
2712 DISP "** u m l a u f f ä
h i g **" @ DISP
2714 DISP "*****"
*****"
2716 WAIT 3000
2718 CLEAR
2720 NEXT I
2724 GOTO 3000
2800 ! BERECHNUNG VON MÜ
2804 M0=(B^2+C^2-M6^2)/2/B/C !
cos(MÜ)
2808 IF ABS(M0)>1 THEN 2900
2810 M=ACS(M0) ! MÜ(m)
2812 DISP USING 8 ; " MÜ(m) =
";M
2816 RETURN
2900 CLEAR
2904 FOR I=1 TO 3
2905 DISP @ DISP @ DISP @ DISP
2906 DISP "** !!!!!! ACHTUNG
!!!!!! **" @ DISP
2908 DISP "** Mit den gegebenen
Werten **"
2910 DISP "** ist die Getrieb
elase **"
2912 DISP "** nicht erreich
bar **" @ DISP
2914 DISP "*****"
*****"
2916 WAIT 3000
2918 CLEAR
2920 NEXT I
2922 J1=1
2924 RETURN
3000 ! GELENKV.-ABMESSUNGEN
3004 H1=ATN2(Y1,X1)
3006 S9=H1+ACS(SGN(H1))*2-G+180
! Psi(m)
3008 S1=W-G+180 ! Psi(1)
3010 S=SGN(S9-S1) ! s
3014 DISP USING 8 ; " Psi(1) =
";S1
3016 DISP USING 8 ; " a =
";A
3018 DISP USING 8 ; " b =
";B
3020 DISP USING 8 ; " c =
";C
3022 DISP USING 8 ; " d =
";D
3024 DISP USING 8 ; " s =
";S
3026 DISP "-----"
3030 A0=ATN2(Y6-Y1,X6-X1)
3032 E1=ATN2(Y(1)-Y1,X(1)-X1)-A0
! Epsilon
3034 DISP USING 8 ; " Epsilon=
";E1
3036 DISP USING 8 ; " e =
";E
3038 DISP "-----"
" @ WAIT 2000
3040 DISP "Ausdrucken mit Taste
>>> [+]"
3042 DISP "Weiterarbeiten durch
>>> [+]"
3044 BEEP
3046 INPUT S$
3048 IF S$="#*" AND S$="#+" THEN 3
048
3050 IF S$="+" THEN 3090
3051 PRINT @ PRINT
3052 PRINT "=====
=====
3054 PRINT " G E L E N K V I E
R E C K -
3056 PRINT " A B M E S S U N
G E N"
3058 PRINT "-----"
3060 PRINT USING 8 ; " MÜ(m)
=";M
3062 PRINT USING 8 ; " MÜ(m*)
=";M3
3064 PRINT USING 8 ; " Psi(1)
=";S1
3065 PRINT "-----"
3066 PRINT USING 8 ; " a
=";A
3068 PRINT USING 8 ; " b
=";B
3070 PRINT USING 8 ; " c
=";C
3072 PRINT USING 8 ; " d
=";D
3074 PRINT USING 8 ; " s
=";S
3076 PRINT "-----"
3078 PRINT USING 8 ; " Epsilo
n=";E1
3080 PRINT USING 8 ; " e
=";E
3082 PRINT "-----"
3090 GOTO 3200
3100 ! BERECHNUNG VON MÜ u. PSI
3104 A6=ATN2(E8-A8,E7-A7) ! xAE
3106 B7=B*COS(A6-E1)+A7 ! x(B)
3108 B8=B*SIN(A6-E1)+A8 ! y(B)
3110 B6=ATN2(A8-B8,A7-B7) ! xBA
3112 B3=ATN2(-B8,-B7) ! xBB(0)
3114 M7=B6-B3 ! Mu
3116 P7=360+B3-G ! Psi

```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 7)

```

3120 RETURN
3200 ! FORTSETZUNG VON 3000
3204 CLEAR @ DISP
3208 DISP "****" BERECHNUNG V
ON "****"
3210 DISP "*"
3212 DISP "*" MÜ(i) und P
si(i) "*"
3214 DISP "-----" @ DISP
3216 E8=Y(1) ! >(E)
3218 E7=X(1) ! <(E)
3220 A8=Y1 ! >(A)
3222 A7=X1 ! <(A)
3224 GOSUB 3100
3226 DISP USING 4 ; "MÜ(1)=",M7,
"Psi(1)=",P7
3228 M(1)=M7 @ P(1)=P7
3230 E8=Y(2) ! >(E)
3232 E7=X(2) ! <(E)
3234 A8=Y2 ! >(A)
3236 A7=X2 ! <(A)
3238 GOSUB 3100
3242 DISP USING 4 ; "MÜ(2)=",M7,
"Psi(2)=",P7
3243 M(2)=M7 @ P(2)=P7
3246 F2=SQR(X2^2+Y2^2) ! f(2)
3248 E4=ATN2(Y2,X2) ! Eta(2)
3250 X3=F2*COS(E4+P9) ! x(A3)
3252 Y3=F2*SIN(E4+P9) ! y(A3)
3254 E8=Y(3) @ E7=X(3)
3256 A8=Y3 @ A7=X3
3258 GOSUB 3100
3262 DISP USING 4 ; "MÜ(3)=",M7,
"Psi(3)=",P7
3263 M(3)=M7 @ P(3)=P7
3266 X4=F1*COS(G+P8/2) ! x(A4)
3268 Y4=F1*SIN(G+P8/2) ! y(A4)
3270 E8=Y(4) @ E7=X(4)
3272 A8=Y4 @ A7=X4
3274 GOSUB 3100
3278 DISP USING 4 ; "MÜ(4)=",M7,
"Psi(4)=",P7
3279 M(4)=M7 @ P(4)=P7
3280 IF 0=1 THEN 3296
3282 X5=A*COS(P5+G-180+F0)+X7 !
x(A5)
3284 Y5=A*SIN(P5+G-180+F0)+Y7 !
y(A5)
3286 E8=Y(5) @ E7=X(5)
3288 A8=Y5 @ A7=X5
3290 GOSUB 3100
3294 DISP USING 4 ; "MÜ(5)=",M7,
"Psi(5)=",P7
3295 M(5)=M7 @ P(5)=P7
3296 DISP "-----"
3298 GOTO 3400
3300 ! =====
3302 CLEAR @ BEEP @ DISP
3306 DISP "*"
3308 DISP "*"5-P U N K T E-S Y N
T H E S E "*"
3310 DISP "*"
3312 DISP "*****"
3314 Q=1
3316 DISP
3318 DISP "Werte eingeben : "

3320 DISP "-----" @ D
ISP
3322 DISP "P = ";
3324 BEEP
3326 INPUT P @ BEEP
3328 DISP "h = ";
3330 BEEP
3332 INPUT H @ BEEP
3336 GOSUB 1800
3338 GOSUB 2100
3340 GOSUB 2500
3342 GOSUB 2600
3346 GOTO 1200
3400 ! FORTSETZUNG VON 3200
3406 DISP "Ausdrucken mit Taste
>>> [x]"
3408 DISP "Weiterarbeiten durch
>>> [+]"
3410 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200
3412 INPUT S$
3414 IF S$="x" AND S$="+" THEN 3
414
3416 IF S$="+" THEN 3440
3418 PRINT @ PRINT
3420 PRINT "=====
-----"
3422 PRINT " MÜ(i) und
Psi(i) @ PRINT
3424 PRINT "-----"
3426 PRINT USING 4 ; "MÜ(1)=",M
(1),"Psi(1)=",P(1)
3428 PRINT USING 4 ; "MÜ(2)=",M
(2),"Psi(2)=",P(2)
3430 PRINT USING 4 ; "MÜ(3)=",M
(3),"Psi(3)=",P(3)
3432 PRINT USING 4 ; "MÜ(4)=",M
(4),"Psi(4)=",P(4)
3433 IF 0=1 THEN 3436
3434 PRINT USING 4 ; "MÜ(5)=",M
(5),"Psi(5)=",P(5)
3436 PRINT "-----"
T
3438 0=0
3440 RETURN
3500 CLEAR @ BEEP @ DISP
3506 DISP "*" G E L E N K V I E
R E C K - "*"
3508 DISP "*" K O P P E L K U
R V E "*"
3510 DISP "*" mit 5 Genaupunk
ten "*"
3512 DISP "*"-----
-----*"
3514 GOSUB 3608
3518 GOTO 2300
3600 !
3601 IF F=0 THEN 3680
3602 CLEAR @ DISP
3603 DISP "*** Die derzeit 901
tigen ***"
3604 DISP "*" Eingangswerte
sind: "*"
3606 DISP
3608 FOR K=1 TO 5
3610 DISP USING 6 ; "X",K,"/Y",K
,"=",X(K),Y(K)
3612 NEXT K
3616 DISP "-----"
-----" @ DISP

```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 8)

```

3617 DISP "Ausdrucken mit Taste
>>> [*]"
3618 DISP "Andern der Eingangswe
rte >>> [-]"
3620 DISP "Weiterarbeiten durch
>>> [+]"
3624 BEEP
3626 INPUT S$
3628 IF S$# "+" AND S$# "-" AND S$
# "*" THEN 3626
3630 IF S$# "+" THEN 3656
3632 IF S$# "-" THEN 1000
3634 IF S$# "*" THEN 3640
3640 PRINT "*****"
3642 PRINT "*" Die derzeit ge
ltigen "*"
3644 PRINT "*" Eingangswerte
sind: "*"
3646 PRINT
3648 FOR K=1 TO 5
3650 PRINT USING 6 ; "X",K,"/Y",
K,"=",X(K),Y(K)
3652 NEXT K
3656 RETURN
3680 CLEAR @ DISP "*****"
***** @ DISP
3682 DISP "ACHTUNG:" @ DISP
3684 DISP "Es sind noch keine Ei
ngangswerte"
3686 DISP "eingegeben !!!!!!"
3688 WAIT 2000
3690 GOTO 1000
3700 !
3702 CLEAR @ BEEP 10,200 @ BEEP
20,200
3704 DISP "=====
===== @ DISP
3706 DISP "Koordinaten-Rücktrans
formation"
3708 DISP "auf das Eingangs-Achs
enkreuz : "
3710 DISP "-----
----- @ DISP
3712 FOR K=1 TO 5
3714 X(K)=X(K)+X0
3716 Y(K)=Y(K)+Y0
3718 DISP USING 6 ; "X",K,"/Y",K
,"=",X(K),Y(K)
3720 NEXT K
3722 T1=T1+X0 @ T2=T2+Y0
3723 U1=U1+X0 @ U2=U2+Y0
3724 DISP "-----
-----"
3726 DISP "Ausdrucken mit Taste
>>> [*]"
3728 DISP "Weiterarbeiten durch
>>> [+]"
3730 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200
3732 INPUT S$
3734 IF S$# "+" AND S$# "-" THEN 3
732
3736 IF S$# "+" THEN 3756
3740 PRINT "=====
===== @ PRINT
3742 PRINT "Koordinaten-Rücktran
sformation"
3744 PRINT "auf das Eingangs-Ach
senkreuz : "
3746 PRINT "-----
----- @ PRINT
3748 FOR K=1 TO 5
3750 PRINT USING 6 ; "X",K,"/Y",
K,"=",X(K),Y(K)
3752 NEXT K
3756 RETURN
3800 !
3802 CLEAR @ BEEP
3804 DISP "=====
===== @ DISP
3806 DISP "Koordinaten-Transform
ation"
3808 DISP "auf den Ursprung Bo
:"
3810 DISP "-----
----- @ DISP
3812 FOR K=1 TO 5
3814 X(K)=X(K)-X0
3816 Y(K)=Y(K)-Y0
3818 DISP USING 6 ; "X",K,"/Y",K
,"=",X(K),Y(K)
3820 NEXT K
3822 T1=T1-X0 @ T2=T2-Y0
3823 U1=U1-X0 @ U2=U2-Y0
3824 DISP "-----
-----"
3826 DISP "Ausdrucken mit Taste
>>> [*]"
3828 DISP "Weiterarbeiten durch
>>> [+]"
3830 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200
3832 INPUT S$
3834 IF S$# "+" AND S$# "-" THEN 3
832
3836 IF S$# "+" THEN 3856
3840 PRINT "=====
===== @ PRINT
3842 PRINT "Koordinaten-Transfor
mation"
3844 PRINT "auf den Ursprung Bo
:"
3846 PRINT "-----
----- @ PRINT
3848 FOR K=1 TO 5
3850 PRINT USING 6 ; "X",K,"/Y",
K,"=",X(K),Y(K)
3852 NEXT K
3856 RETURN
3900 !
3901 DISP USING 8 ; " X(Bo)
=";X0
3902 DISP USING 8 ; " Y(Bo)
=";Y0 @ DISP
3904 DISP USING 8 ; " PSI(tw)
=";P8
3906 DISP USING 8 ; " PSI(uv)
=";P9 @ DISP
3908 DISP "-----
-----"
3910 DISP "Ausdrucken mit >>>
[*]"
3920 DISP "Weiter mit >>>
[+]"
3925 BEEP
3930 INPUT S$
3932 IF S$# "+" AND S$# "*" THEN 3
930
3934 IF S$# "+" THEN 3950
3936 PRINT "=====
===== @ PRINT
3938 PRINT "Mittelsenkrechte "
;A$
3940 PRINT "-----
----- @ PRINT

```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 9)

```

3942 PRINT USING 8 ; "      X(Bo)
      = ",X0
3944 PRINT USING 8 ; "      Y(Bo)
      = ",Y0 @ PRINT
3946 PRINT USING 8 ; "      PSI(tw)
      = ",P8
3948 PRINT USING 8 ; "      PSI(uv)
      = ",P9
3950 RETURN
4000 !
4004 X8=(T1+W1)/2 ! XtW
4006 Y8=(T2+W2)/2 ! YtW
4008 X9=(U1+V1)/2 ! XuV
4010 Y9=(U2+V2)/2 ! YuV
4018 DEG
4020 M8=TAN(ATN2(W2-T2,W1-T1))+90
      ) ! mtW
4022 M9=TAN(ATN2(V2-U2,V1-U1))+90
      ) ! muV
4026 X0=(M8*X8-M9*X9+Y9-Y8)/(M8-
      M9)
4028 Y0=M8*(X0-X8)+Y8
4032 P8=ATN2(W2-Y0,W1-X0)-ATN2(T
      2-Y0,T1-X0) ! PSI tW
4034 P9=ATN2(V2-Y0,V1-X0)-ATN2(U
      2-Y0,U1-X0) ! PSI uV
4038 RETURN
4100 !
4101 CLEAR @ BEEP
4102 DISP "=====
      =====" @ DISP
4104 DISP " Mittelsenkrechte 14
      - 23"
4105 A$="14 - 23"
4106 DISP " -----
      -----" @ DISP
4110 T1=X(1) @ T2=Y(1) ! T1/2=Xt
      /Yt
4112 U1=X(2) @ U2=Y(2) ! U1/2=Xu
      /Yu
4114 V1=X(3) @ V2=Y(3) ! V1/2=Xv
      /Yv
4116 W1=X(4) @ W2=Y(4) ! W1/2=Xw
      /Yw
4120 GOSUB 4000
4124 X0(1)=X0 @ Y0(1)=Y0
4126 P8(1)=P8 @ P9(1)=P9
4130 GOSUB 3900
4134 RETURN
4200 !
4201 CLEAR @ BEEP
4202 DISP "=====
      =====" @ DISP
4204 DISP " Mittelsenkrechte 15
      - 23"
4205 A$="15 - 23"
4206 DISP " -----
      -----" @ DISP
4210 T1=X(1) @ T2=Y(1) ! T1/2=Xt
      /Yt
4212 U1=X(2) @ U2=Y(2) ! U1/2=Xu
      /Yu
4214 V1=X(3) @ V2=Y(3) ! V1/2=Xv
      /Yv
4216 W1=X(5) @ W2=Y(5) ! W1/2=Xw
      /Yw
4220 GOSUB 4000
4222 !
4224 X0(2)=X0 @ Y0(2)=Y0
4226 P8(2)=P8 @ P9(2)=P9
4230 GOSUB 3900
4234 RETURN
4300 !
4301 CLEAR @ BEEP
4302 DISP "=====
      =====" @ DISP
4304 DISP " Mittelsenkrechte 15
      - 24"
4305 A$="15 - 24"
4306 DISP " -----
      -----" @ DISP
4310 T1=X(1) @ T2=Y(1) ! T1/2=Xt
      /Yt
4312 U1=X(2) @ U2=Y(2) ! U1/2=Xu
      /Yu
4314 V1=X(4) @ V2=Y(4) ! V1/2=Xv
      /Yv
4316 W1=X(5) @ W2=Y(5) ! W1/2=Xw
      /Yw
4320 GOSUB 4000
4322 !
4324 X0(3)=X0 @ Y0(3)=Y0
4326 P8(3)=P8 @ P9(3)=P9
4330 GOSUB 3900
4334 RETURN
4400 !
4401 CLEAR @ BEEP
4402 DISP "=====
      =====" @ DISP
4404 DISP " Mittelsenkrechte 15
      - 34"
4405 A$="15 - 34"
4406 DISP " -----
      -----" @ DISP
4410 T1=X(1) @ T2=Y(1) ! T1/2=Xt
      /Yt
4412 U1=X(3) @ U2=Y(3) ! U1/2=Xu
      /Yu
4414 V1=X(4) @ V2=Y(4) ! V1/2=Xv
      /Yv
4416 W1=X(5) @ W2=Y(5) ! W1/2=Xw
      /Yw
4420 GOSUB 4000
4422 !
4424 X0(4)=X0 @ Y0(4)=Y0
4426 P8(4)=P8 @ P9(4)=P9
4430 GOSUB 3900
4434 RETURN
4500 !
4501 CLEAR @ BEEP
4502 DISP "=====
      =====" @ DISP
4504 DISP " Mittelsenkrechte 25
      - 34"
4505 A$="25 - 34"
4506 DISP " -----
      -----" @ DISP
4510 T1=X(2) @ T2=Y(2) ! T1/2=Xt
      /Yt
4512 U1=X(3) @ U2=Y(3) ! U1/2=Xu
      /Yu
4514 V1=X(4) @ V2=Y(4) ! V1/2=Xv
      /Yv
4516 W1=X(5) @ W2=Y(5) ! W1/2=Xw
      /Yw
4520 GOSUB 4000
4524 X0(5)=X0 @ Y0(5)=Y0
4526 P8(5)=P8 @ P9(5)=P9
4530 GOSUB 3900
4534 RETURN
4700 !
4701 CLEAR @ BEEP
4702 DISP "*****
      *****"

```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 10)

```

4703 DISP "*"
4704 DISP "4-P U N K T E-S Y N
      T H E S E*"
4705 DISP "*"
4706 DISP "*****"
      *****" @ DISP
4708 !
4709 DISP "Geben Sie einen Wert
      für"
4710 DISP "die Koordinate x(B) e
      in:" @ DISP
4712 DISP "x(B) = ";
4714 BEEP
4716 INPUT B7@ BEEP
4718 !
4719 DISP "-----"
      -----" @ DISP
4720 DISP "Ausdrucken mit Taste
      >>> [*)"
4722 DISP "Weiterarbeiten durch
      >>> [*)"
4724 BEEP 10,200 @ BEEP 20,200
4726 INPUT S$
4728 IF S$="*" AND S$="+" THEN 4
      728
4730 IF S$="+" THEN 4750
4732 PRINT "*****"
      *****" @ PRINT
4734 PRINT "Gelenkvierec
      k mit"
4736 PRINT "vier Genauig
      keiten"
4738 PRINT "-----"
      -----"
4740 PRINT "x(B) = ";B7
4742 PRINT
4750 M1=TAN(ATN2(R2,Q2)+90) !
4752 B8=M1*(B7-Q2/2)+R2/2 !
      *(B)
4754 X6=B7 @ Y6=B8
4800 !
4802 ! FORTSETZUNG VON 2600
4804 W=ATN2(Y6,X6)
4806 C=SQR(X6^2+Y6^2) ! c
4808 B=SQR((Y1-Y6)^2+(X1-X6)^2)
      ! b
4810 M6=D-COS(P6)*A ! BoAm
4812 GOSUB 2800
4814 IF J1=1 THEN RETURN
4816 M5=D+COS(P6)*A ! BoAm*
4818 M4=(B^2+C^2-M5^2)/2/B/C !
      cos(Mü(m*))
4822 IF ABS(M4)>1 THEN 4850
4824 M3=ACS(M4) ! Mü(m*)
4826 DISP USING 8 ; " Mü(m*) =
      ";M3
4830 GOTO 3000
4850 WAIT 3000 @ GOTO 2700
5000 !
5002 CLEAR @ BEEP
5004 DISP "*****"
      *****"
5006 DISP "*"
5008 DISP "4-P U N K T E-S Y N
      T H E S E*"
5010 DISP "*"
5012 DISP "*****"
      *****"
5013 IF Q=0 THEN 6000
5014 Q=1
5016 X(5)=X(4)
5018 Y(5)=Y(4)
5022 DISP
5024 DISP "Werte eingeben : "
5026 DISP "-----" @ D
      IS
5028 DISP "P = ";
5030 BEEP
5032 INPUT P@ BEEP
5040 !
5042 GOSUB 1800
5044 GOSUB 2100
5046 GOSUB 2600
5048 Q=0
5050 GOTO 10
5100 !
5102 GOSUB 3600 ! EINGANGSWERTE
5104 GOSUB 4100
5106 GOSUB 3800
5110 PRINT
5112 PRINT "=====
      ====="
5114 PRINT "A(5) jenseits von A(
      4)"
5116 PRINT "-----"
      -----" @ PRINT
5120 RETURN
5200 !
5202 GOSUB 3600
5204 GOSUB 4200
5208 X(5)=X(4) @ X(4)=W1
5210 Y(5)=Y(4) @ Y(4)=W2
5214 GOSUB 3800
5218 PRINT
5220 PRINT "=====
      ====="
5222 PRINT "A(5) zwischen A(3) u
      nd A(4)"
5224 PRINT "-----"
      -----" @ PRINT
5228 RETURN
5300 !
5302 GOSUB 3600
5304 GOSUB 4300
5308 X(5)=X(3) @ X(4)=W1 @ X(3)=
      V1
5310 Y(5)=Y(3) @ Y(4)=W2 @ Y(3)=
      V2
5314 GOSUB 3800
5318 PRINT
5320 PRINT "=====
      ====="
5322 PRINT "A(5) zwischen A(2) u
      nd A(3)"
5324 PRINT "-----"
      -----" @ PRINT
5328 RETURN
5400 !
5402 GOSUB 3600
5404 GOSUB 4400
5408 X(5)=X(2) @ Y(5)=Y(2)
5410 X(2)=U1 @ Y(2)=U2
5412 X(3)=V1 @ Y(3)=V2
5414 X(4)=W1 @ Y(4)=W2
5418 GOSUB 3800
5422 PRINT
5424 PRINT "=====
      ====="
5426 PRINT "A(5) zwischen A(1) u
      nd A(2)"

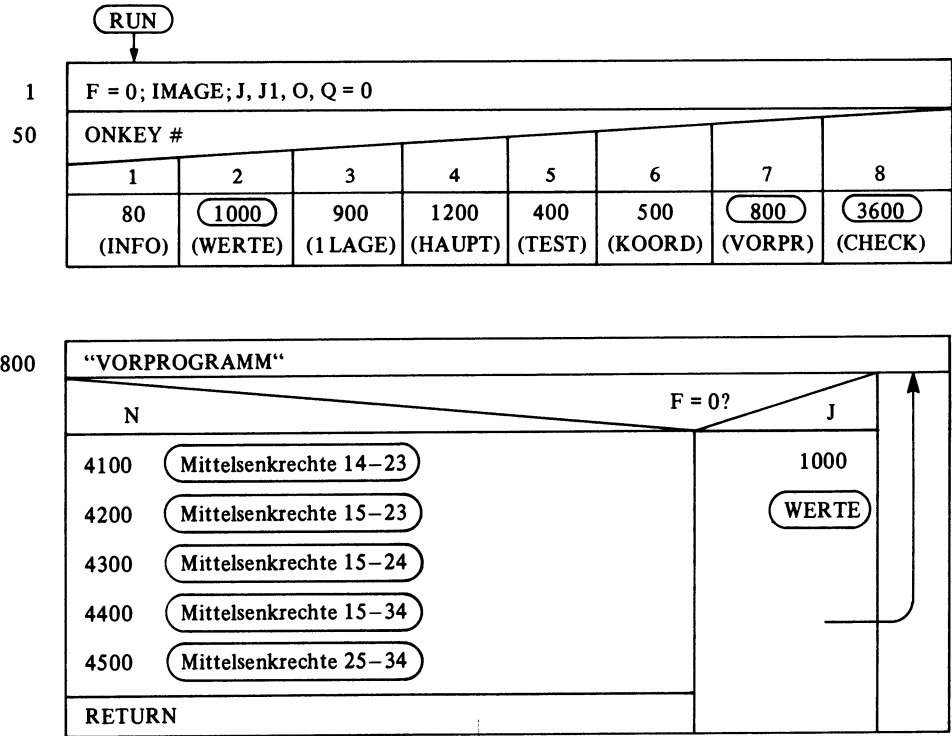
```

Tabelle 4.71 (Fortsetzung 11)

5428 PRINT "-----"  
-----" @ PRINT  
5432 RETURN  
5500 !  
5502 GOSUB 3600  
5504 GOSUB 4500  
5508 X(5)=X(1) @ Y(5)=Y(1)  
5510 X(1)=T1 @ Y(1)=T2  
5512 X(2)=U1 @ Y(2)=U2  
5514 X(3)=V1 @ Y(3)=V2  
5518 GOSUB 3800  
5522 PRINT  
5524 PRINT "===== "  
===== "  
5526 PRINT "A(5) jenseits von A(  
1)"  
5528 PRINT "-----"  
-----" @ PRINT  
5532 RETURN

6000 !  
6002 CLEAR  
6004 FOR I=1 TO 3  
6006 DISP @ DISP @ DISP  
6008 DISP "\*\* !!!!!! ACHTUNG  
!!!!!! \*\*" @ DISP @ DISP  
6010 DISP "\*\* Es muß erst d  
ie \*\*"  
6012 DISP "\*\* 5-PUNKTE-SYNTH  
ESE \*\*"  
6014 DISP "\*\* ausgeführt werde  
n !!! \*\*"  
6016 DISP "\*\*\*\*\*"  
\*\*\*\*\*"  
6018 WAIT 3000  
6020 CLEAR  
6022 NEXT I  
6026 GOTO 1200

Tabelle 4.72 Struktogramme zum Vorprogramm





**Tabelle 4.72 (Fortsetzung)**

900					"Einzellagen"									
N					F = 0?					J				
Welche?														
14-23		15-23		15-24		15-34		25-34		1000				
5100		5200		5300		5400		5500		WERTE				
Auswahl:														
"/"		"+"		"-"										
1200		3700												
(HAUPT)		900 (1 LAGE)								(Neuanfang)				

1000	“WERTEEINGABE“	
	K = 1 bis 5	
		INPUT X(K), Y(K)
	F = 1	
	RETURN	

3600				"EINGANGSWERTE"			
N			F = 0?			J	
Werte anzeigen						noch nicht definiert	
Auswahl:							
" * "		" + "		" _ "			
Ausdrucken		Weiter		Ändern			
RETURN				1000 <span>WERTE</span>			

Tabelle 4.72 (Fortsetzung)

3700	"Koordinaten-Rücktransformation"	
	Transformationen	
	J	N
	PRINT	
	RETURN	

3800	"Koordinaten-Transformation auf den Ursprung $B_0$ "	
	Transformationen:	
	J	N
	PRINT	
	RETURN	

3900	"Ergebnisse"	
	DISP bzw. PRINT:	
	$X(B_0) = X_0; Y(B_0) = Y_0$	
	$PSI(tw) = P_1; PSI(uv) = P_0$	

4000	"Berechnungen"	
	$X_0 = X(B_0); Y_0 = y(B_0)$	
	$P_1 = \psi_{tw}; P_0 = \psi_{uv}$	
	RETURN	

Tabelle 4.72 (Fortsetzung)

4100	"Mittelsenkrechte 14–23"	
	Koordinatenzuordnung	
	4000	Berechnungen
	Ergebniszuordnung	
	3900	Ergebnisse
	RETURN	

4200	"Mittelsenkrechte 15–23"	
	.	
	.	
	.	

4300	"Mittelsenkrechte 15–24"	
	.	
	.	
	.	

4400	"Mittelsenkrechte 15–34"	
	.	
	.	
	.	

4500	"Mittelsenkrechte 25–34"	
	.	
	.	
	.	
	RETURN	

5100	"Übergangsroutine 1"	
	3600	Eingangswerte
	4100	Mittelsenkrechte 14–23
	3800	Koordinaten-Transformation auf $B_0$
	PRINT "A (5) jenseits von A (4)"	
	RETURN	

Tabelle 4.72 (Fortsetzung)

5200	“Übergangsroutine 2“
3600	Eingangswerte
4200	Mittelsenkrechte 15–23
3800	Koordinaten-Transformation auf $B_0$
	PRINT “A (5) zwischen A (3) und A (4)“
	RETURN

5300	“Übergangsroutine 3“
3600	Eingangswerte
4300	Mittelsenkrechte 15–24
3800	Koordinaten-Transformation auf $B_0$
	PRINT “A (5) zwischen A (2) und A (3)“
	RETURN

5400	“Übergangsroutine 4“
3600	Eingangswerte
4400	Mittelsenkrechte 15–34
3800	Koordinaten-Transformation auf $B_0$
	PRINT “A (5) zwischen A (1) und A (2)“
	RETURN

5500	“Übergangsroutine 5“
3600	Eingangswerte
4500	Mittelsenkrechte 25–34
3800	Koordinaten-Transformation auf $B_0$
	PRINT “A (5) jenseits von A (1)“
	RETURN

Tabelle 4.73 Gesamttablauf im Vorprogramm

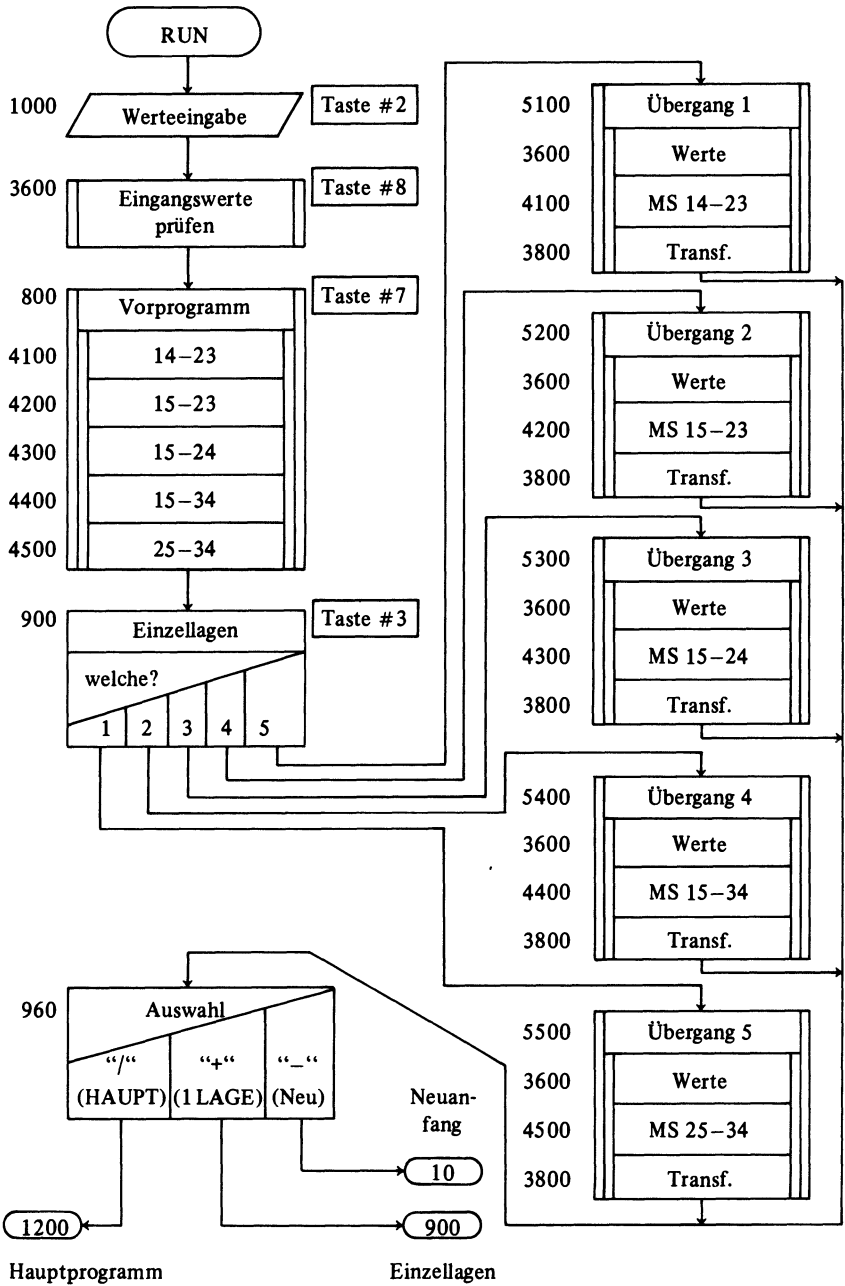


Tabelle 4.74 Struktogramme zum Hauptprogramm

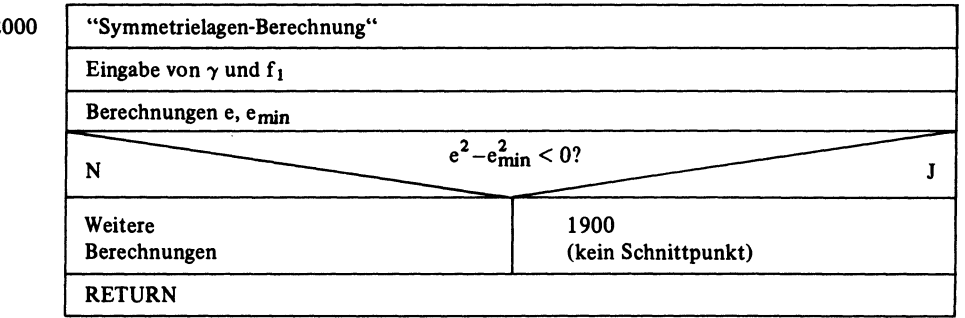
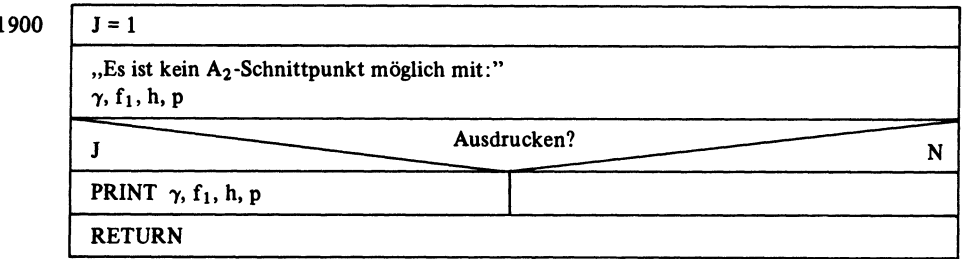
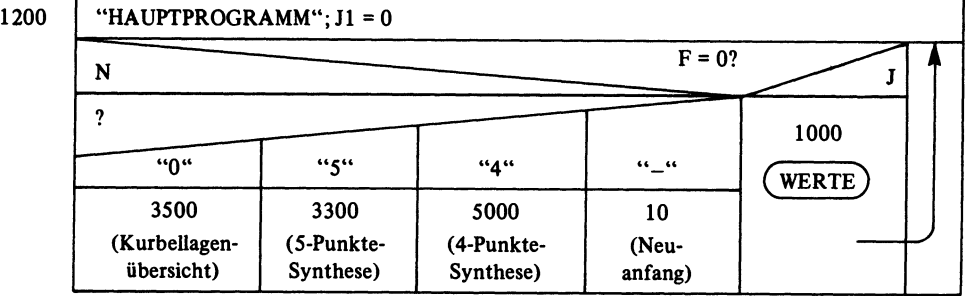


Tabelle 4.74 (Fortsetzung)

2100	“Berechnungen und Ergebnisausgabe“	
2000	Symmetrielagen-Berechnung	
N	J = 1? J	
Werte anzeigen: γ, f <sub>1</sub> , p, a, d, φ*, φ <sub>12</sub> , φ <sub>13</sub> , φ <sub>14</sub> , φ <sub>m</sub>		
Auswahl		
++ ++	== ==	
	Ausdrucken	
RETURN		

2300	"Kurbellagen-Übersicht"	
P = 1; H = 1		
2100	Berechnung der Symmetriellagen	
N	<div>J = 1?<div>J</div></div>	
2500	Berechnung von A <sub>5</sub>	
J = 0; H = -1	<div></div>	
2500	Berechnungen von A <sub>5</sub>	
P = -1; H = 1		
2100	Berechnung der Symmetriellagen	
N	<div>J = 1?<div>J</div></div>	
2500	Berechnung von A <sub>5</sub>	
J = 0; H = -1	<div></div>	
2500	Berechnung von A <sub>5</sub>	
GOTO 1200 (HAUPTPROGRAMM)		

Tabelle 4.74 (Fortsetzung)

2400	"Kein A <sub>5</sub> -Schnittpunkt"	
	"Es ist kein A <sub>5</sub> -Schnittpunkt möglich mit:" $\gamma, f_1, h, p$	
	Ausdrucken?	
	J	N
	PRINT $\gamma, f_1, h, p$	
RETURN		

2500	"Berechnung von A <sub>5</sub> "		
	g <sub>5</sub> , x A <sub>0</sub> E <sub>5</sub> , cos λ		
	cos λ  > 1?		
	N		J
	λ, φ <sub>15</sub>	Ausdrucken?	
	J		
	PRINT p, φ <sub>15</sub> , h	2400 (kein Schnittpunkt)	
	RETURN		

3500	"Anzeige der aktuellen E-Koordinaten"	
	3608	Eingangswerte
	GOTO 2300 (Kurbellagen-Übersicht)	



Tabelle 4.75 Gesamttablauf im Hauptprogramm

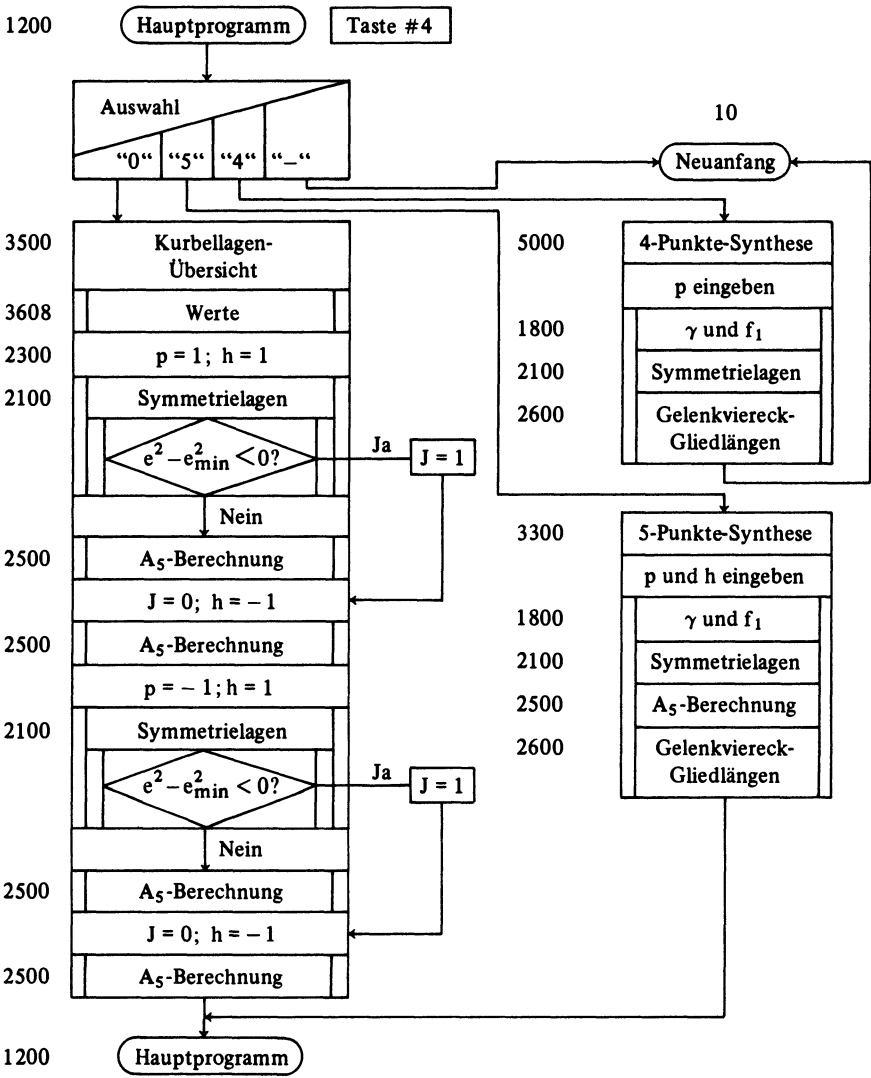


Tabelle 4.76 Struktogramme zur 5-Punkte-Synthese

3300	"5-Punkte-Synthese"	
	Eingabe von p und h	
1800	Eingabe von $\gamma$ und $f_1$	
2100	Symmetrielagen-Berechnung	
2500	Berechnung von $A_5$	
2600	Gelenkviereck-Gliedlängen	
	GOTO 1200 (HAUPTPROGRAMM)	
2600	"Gelenkviereck-Gliedlängen"	
	Berechnung von $B_{02}$	
	<div> <div>N</div> <div><math>x_4 = x_5 ?</math></div> <div>J</div> </div>	
	<div> <div></div> <div>N</div> <div><math>y_4 = y_5 ?</math></div> <div>J</div> </div>	
	Berechnung von $B_{05}, B_1$	4700 (4-Punkte-Synthese)
	GOTO 4800 (Fortsetzung von 2600)	
2700	"FEHLANZEIGE"	
	DISP "Nicht umlauffähig"	
	<div> <div>J</div> <div>Ausdrucken?</div> <div>N</div> </div>	
	PRINT	
	GOTO 3000 (Gelenkviereck-Abmessungen)	
2800	"Berechnung von $\mu_m$ "	
	Berechnung von $\cos \mu_m$	
	<div> <div>N</div> <div><math> \cos \mu_m  &gt; 1 ?</math></div> <div>J</div> </div>	
	Ausgabe	2900 (Getriebe­lage ist nicht erreichbar) $J1 = 1$
	RETURN	

Tabelle 4.76 (Fortsetzung)

3000	"Gelenkviereck-Abmessungen"	
	Berechnen von $\mu_1, \epsilon$	
3200	FOR i = 1 TO 5	
	Sortieren, Anzeigen, $\mu_i/\psi_i$	
	3100	Berechnung von $\mu$ und $\psi$
3400	J	N
	Ausdrucken?	
	PRINT $\mu_i/\psi_i$	
	GOTO 1200 (HAUPTPROGRAMM)	

4800	"Fortsetzung von 2600"	
	Berechnungen	
	2800	Berechnung von $\mu_m$
	N	J
	J1 = 1?	
	Berechnungen	
	J	N
	$ \cos \mu_m^*  > 1?$	
	2700 (Fehlanzeige)	
	GOTO 3000 (Abmessungen)	
		1200

Tabelle 4.77 Gelenkviereck-Gliedlängen

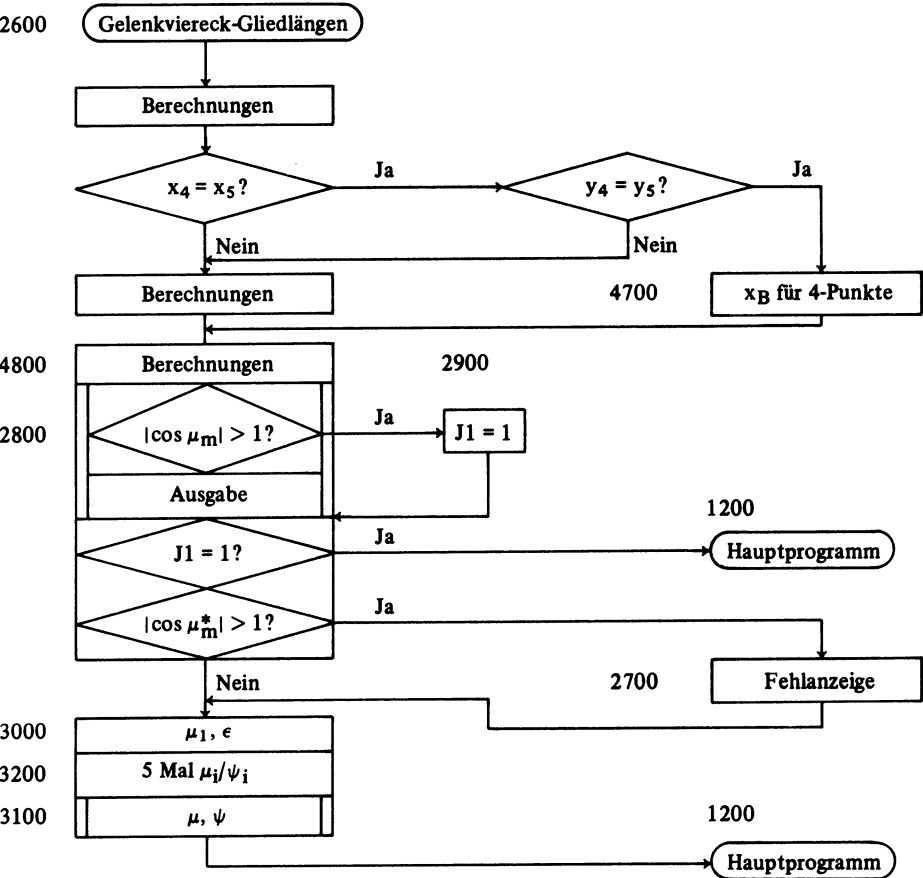


Tabelle 4.78 Struktogramm zur 4-Punkte-Synthese

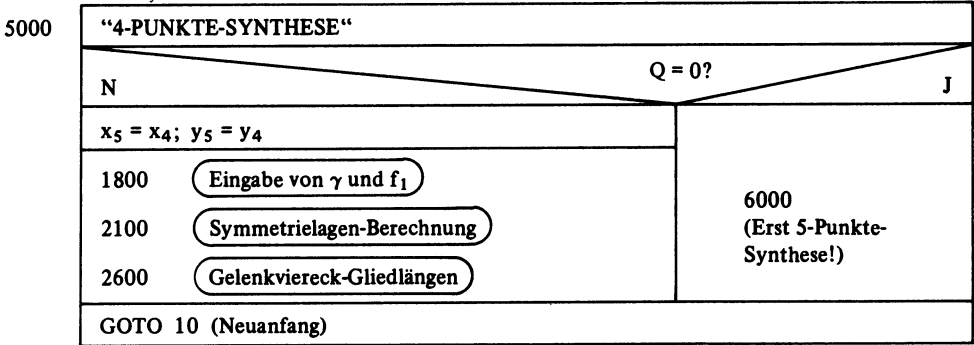
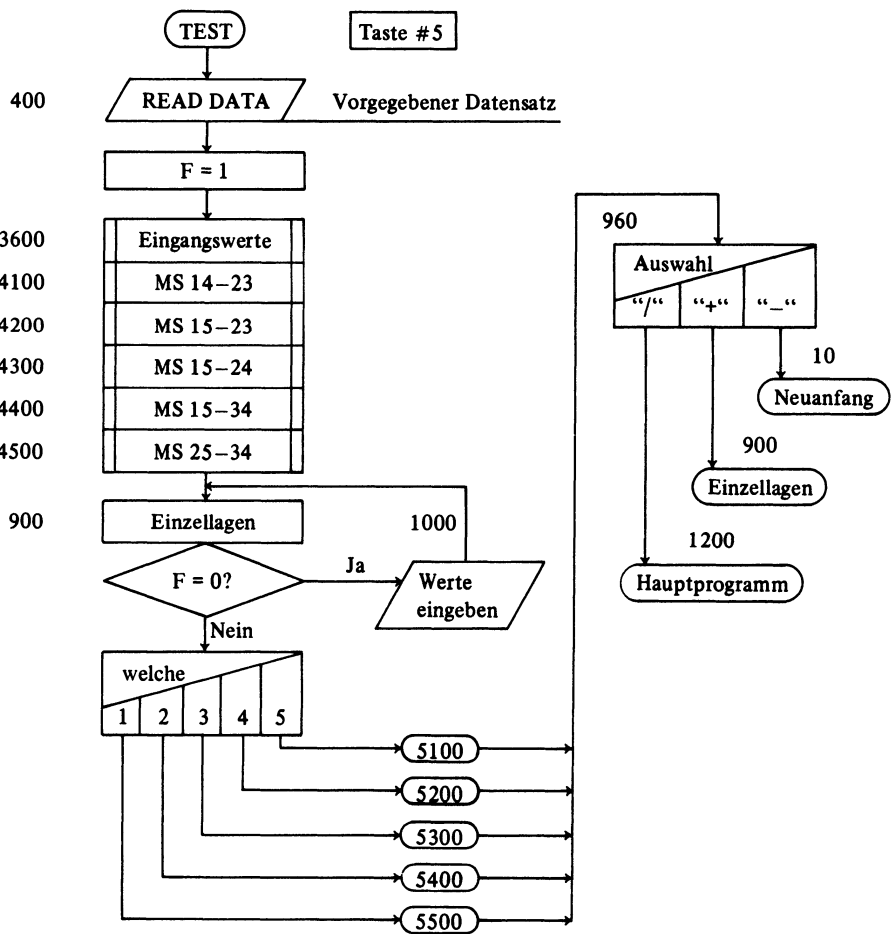


Tabelle 4.78 (Fortsetzung)

4700	"Koordinate x <sub>B</sub> "	
	x <sub>B</sub> eingeben	
	J	Ausdrucken? N
	PRINT	
	Berechnung von m, y <sub>B</sub>	
	GOTO 4800	

Tabelle 4.79 Testlauf-Übersicht



## Sachwortverzeichnis

- Abrichtgerät 178  
 Abrichtmechanismus 152 ff.  
 Abtriebs-Geschwindigkeit, konstant 167 ff.  
 Achsschenkelenkung 57  
 ACS (SGN(W)) 11  
 akustisches Zeichen 26, 55  
 Algorithmen 1  
 analytische Geometrie 1  
 Annäherungspunkte 14  
 Anweisungsliste zum Getriebeentwurf (HP-85) 191 ff.  
 Arbeitsgeschwindigkeit der Rechner 57  
 ATN2 (X, Y) 11  
  
 BASIC 3  
 Bedienungsanweisungen (HP-41) 50  
 Bedienungsanweisungen (HP-85) 51 ff.  
 BEEP 26  
 Bereichsfaktor 28, 74  
 Beschleunigungen, Reduzierung 61  
 Beschleunigungsgrad 66  
 beschleunigungsgünstige Getriebe 61 ff.  
 Beschleunigungstrapez 67  
 Besonderheiten der verwendeten Rechner 5 ff.  
 Bewegungsmaßstab 14  
 Bildschirmausgaben 11  
 Bildschirmmenü 84, 125, 130  
 Burmestersche Punkte 14  
 B<sub>0</sub>-Auswahl 85 ff.  
 B<sub>0</sub>-Koordinaten 79 ff.  
 B<sub>0</sub>-Reduktionen 76 ff.  
  
 Decklage 116  
 DEG 11  
 Dialog (HP-85) 94  
 DISP USING 11  
 Doppelkurbel 73, 105  
 Drehung eines Punktes (HP-41) 6  
 Drehung eines Punktes (HP-85) 12  
 3-Koordinaten-Meßmaschine 178  
 Dreipunkte-Kreis 115  
 durchlaufähige Getriebe 109  
  
 einfache Sinoide 66  
 Einführungsprogramme 29 ff.  
 Eingangsgrößen 50  
 Eingangswerte 53  
 Eingriffsgerade 152  
  
 ENTER (HP-41) 6  
 Error 21  
 Ersatzgetriebe 167  
 Erzeugung gegebener Bahnkurven 73 ff.  
 Evolventen-Gelenkviereck (HP-41) 155  
 Evolventen-Gelenkviereck (HP-85) 157  
 Evolventenprofil, Berechnung 152  
 Evolventen-Zahnflanken 152  
 Extremwerte von  $\mu$  17  
  
 Fehlermeldung 21  
 File 83  
 Flag 20  
 Flagge 36  
 Fördergetriebe 63, 134 ff.  
 Fünf-Lagenzuordnungen 15  
 5-Punkte-Potenzkurve 67  
 Fünf-Punkte-Synthese 123  
 5-Punkte-Synthese, Flußdiagramm HP-41 183 ff.  
 5-Punkte-Synthese, Programm-Ausdruck HP-41 185 ff.  
 5-Punkte-Synthese, Struktogramme HP-85 212 ff.  
 5-Punkte-Synthese, Zahlenbeispiel HP-41 124  
 5-Punkte-Synthese, Zahlenbeispiel HP-85 125  
 Funktionstasten (HP-85) 80, 84, 91, 156  
  
 Gelenkvierecke für gegebene Winkelbewegungen 14 ff.  
 Gelenkgetriebe 73  
 Gelenkviereck-Abmessungen 179  
 Gelenkviereck-Geradföhrungen 178  
 Gelenkviereck-Gliedlängen 112  
 Gelenkviereck-Gliedlängen (HP-85) 214  
 Gelenkviereck-Kennwerte 27 f.  
 Gelenkviereck-Koppelkurve 74  
 Genaupunkte 14, 16, 73, 74  
 Geneigte Sinoide 66  
 Gerade mit Steigungswinkel 8  
 Geradenschnittpunkte 7  
 Geradföhrungs-Hub 67  
 Gesamt-Gelenkviereck 111 ff.  
 Gesamt-Syntheseprogramm 123  
 Gestell 73  
 Getriebe-Analyse 2  
 Getriebe-Synthese 2  
 Globale Variable 10

- Graphische Verfahren 1  
Grashof'scher Satz 73
- harmonische Bewegung 66  
Hauptfile (HP-41) 86  
Hauptprogramm HP-85, Gesamtablauf 211  
Haupt-Synthese-Programm 83 ff.  
Hebebühne 67 ff.  
HP-41-Besonderheiten 5 ff.  
HP-85-Besonderheiten 10 ff.  
Hubgetriebe 142 ff.
- IF-Schranke 5, 23, 24, 25, 26, 31, 55, 98 f.,  
102 f., 117 f.  
IMAGE 11  
Iterationen 3, 55
- Kennwertprogramme 27  
kinematische Umkehrung 15  
kinematisch-geometrische Grundgesetze 1  
kompakter Prozeß-Controller 3  
Koordinaten-Transformation 3  
Koordinaten-Transformation (HP-41) 6  
Koordinaten-Transformation (HP-85) 10  
Koordinaten-Transformation mit nur posi-  
tiven Winkeln 5  
Koppel 73  
Koppelkurven 73  
Koppelkurven des Gelenkvierecks 73 ff.  
Koppelkurven-Synthese 74 ff.  
Koppelkurven-Synthese, Praxisbeispiele 134 ff.  
Koppelpunkt-Synthese, Vorprogramm HP-41  
180 ff.  
Kratzboden 135  
Kreis durch drei Punkte 17  
Kreis-Evolventen 178  
Kreismittelpunkt-Koordinaten 18  
Kreispunktkurve 14, 74  
Kurbel 73  
Kurbellagenberechnung 97 ff.  
Kurbellagenberechnung, Zahlenbeispiel 105 ff.  
Kurbellagen-Übersicht, Flußdiagramm HP-41  
182  
Kurbelschwinge 73, 105  
Kurbel-Steglagen 116  
Kurbel-Symmetrielagen 75  
Kurbelwinkel 16  
Kurven-Schubgetriebe 167
- Ladewagen 134  
Ladewagen-Fördergetriebe, Rechenablauf  
137 f.  
Lagenwinkel 120  
Laufprogramm 23 ff.  
Laufqualität 17
- Leitprogramme 80  
Lenkgestänge 57  
Lenktrapez 57  
Lösungsfeld 2  
Lüftungsfenster 71
- Magnet-Speicherkarten 86  
Massenkräfte 61  
Massenspeicher 3, 83  
mathematische Funktionen 14  
Mikrometergeräte z. Abtasten 152  
Mittelpunktkurve 14, 74  
Mittelsenkrechten-Paarung 83  
Mittelsenkrechten-Schnittpunkt 78, 79  
Mittenzentrierung 68 ff.
- numerische Verfahren 1
- ON KEY # 80  
Optimierung 26  
Optimierungsfelder für Kurvengetriebe 178  
Optimierungs-Vorgang 27
- Paarung der Mittelsenkrechten 80 ff.  
Papierschneide-Maschine 71  
Parametereingabe 133  
Pausenzeichen 24  
PC 3  
Personal-Computer 3  
Pick-up-Trommel 134  
Polar-Koordinaten 5  
Potenzkurve (5. Grades) 67  
Praxisbeispiele Vierwinkel-Zuordnungen 57 ff.  
Praxisbeispiele Koppelkurven-Synthese 134 ff.  
Preßkanal 135  
PRINTER IS 53  
Profil-Nachmessung 152  
Profilschleifen 152, 178  
programmierte Entscheidungen 15  
Programmschleifen 3  
Prozeß-Controller 3  
PR-Taste (HP-41) 5  
Prüfmechanismus 152 ff.  
PSE 24  
Punktlagenreduktionen 74 ff., 178
- quadratische Parabel 62, 66
- RAD 11  
RAM 3  
READ DATA 36  
Rechenzeit 57  
Rechtwinkel-Bewegung 142 ff.  
Rechtwinkel-Koordinaten 5  
Reduzierung der Beschleunigungen 61

- Registerbelegungen (HP-41) 179
- Regula falsi 19 f.
- Richtungstangenten 12
- Richtungstangenten von Mittelsenkrechten 78
- Rollboden 135
- RP-Taste (HP-41) 5
- Rück-Transformationsprogramm 82
- Scheitelkrümmung 178
- Schnittpunkt von zwei Geraden (HP-41) 7
- Schnittpunkt von zwei Geraden (HP-85) 12
- Schnittstellenstruktur 3
- Schreib-/Lesespeicher (RAM) 3
- Schrittbewegungen 167
- Schubführungen 71
- Schubkolbenzylinder, Anlenkung 152
- Schwinge 73
- Sign (x) 4
- Sinoide 66
- Size-Anweisung 51
- Software 4
- Spannvorrichtung 68 ff.
- Speicherbelegung (HP-41) 50
- Sprungweite 27, 29
- Spulgetriebe 167
- Stackregister 3
- Startmenü 36, 51
- Steuerprogramme 21 ff.
- Strecklage 116
- Struktogramme 36
- Struktogramme z. Hauptprogramm (HP-85) 208 ff.
- Struktogramme 2. Vorprogramm (HP-85) 202 ff.
- Strukturauswahl 2
- Stufensprünge 32
- Stützpunkte 14
- Such-Vorgang 26
- Symmetrie-Kurbellagen 100
- Synthese-Programm 123
- Testlauf 91
- Testlauf-Übersicht (HP-85) 215
- Tone 26
- totalschwingende Gelenkvierecke 73, 109
- Übergangs-Label 83
- Übergangsroutinen 84
- Übertragungsgüte 16, 17
- Übertragungswinkel 17, 20, 120
- Übertragungswinkel-Bestwerte 128
- Umgekehrte Polnische Notationen (UPN) 3
- Umlauffähigkeit 17
- Umrechnung von Koordinaten 5
- Unterprogramme 3
- UPN 3
- Variablennamen 10
- Variablennamen-Referenzlisten 11
- Variablennamen-Referenzliste, Gelenkviereck (HP-85) 37 f.
- Variablennamen-Referenzliste, Getriebeentwurf (HP-85) 188 ff.
- Verklemmungsfreie Schubführungen 71
- Verzahnungsprofil 152
- vier Genauigkeitspunkte 114, 127
- 4-Punkte-Synthese (HP-41) 127
- 4-Punkte-Synthese (HP-85) 130
- 4-Punkte-Synthese, Struktogramm HP-85 214 ff.
- Vierwinkel-Zuordnung 14, 15 ff., 61
- Vierwinkel-Zuordnungen, Praxisbeispiele 57 ff.
- vollautomatischer Getriebe-Entwurf 2
- Vorprogramm HP-85, Gesamtablauf 207
- WAIT 24
- Wenderadius 57
- Werteingabe 52
- Winkelbewegungen 34
- Winkelzuordnungen 2
- Wurfbewegung, Fördergut 134
- Zahnflankenformen 178
- Zahnradmessung 178
- Zeichnungsfolge-Rechenmethode 1, 2, 74
- Zeitaufwand 57
- zulässige Toleranzen 68
- Zweischlag 74
- Zweistand-Schubgetriebe 167 ff.
- Zweistand-Schubgetriebe, Koordinatenberechnung 169
- Zykloiden 178



## **Anwendung programmierbarer Taschenrechner**

**Band 10:**

Kurt Hain

### **Getriebetechnik – Kinematik für AOS- und UPN-Rechner**

1981. VIII, 102 S. mit 11 vollst. Progr., 28 Abb. und 66 Tab. 16,2 X 22,9 cm. Br.

Inhalt: Kinematik der Gelenkgetriebe: Schubkurbelgetriebe – Gelenkviereckgetriebe – sechsgliedriges Koppelgetriebe – Schubkurvengetriebe – Schwinghebel – Kurvengetriebe.

Dieses Buch zeigt an 11 vollständigen Programmen für AOS- und UPN-Rechner den Einsatz des programmierbaren Taschenrechners in der Konstruktion und Berechnung ungleichförmig übersetzender Getriebe. 28 Abbildungen erleichtern das Verständnis im Text und in den Bedienungsanleitungen für die Rechner HP-97 und TI-59. Zwei getrennte Tabellenwerke enthalten die für jeden Rechner typischen Ausdrücke und die Bedienungsanleitungen.

Die vorgestellten Beispiele wenden sich an jene Getriebekonstrukteure, denen das Einarbeiten in getriebetechnische Probleme geläufig ist. Angesprochen sind aber auch Konstrukteure, denen wegen anderer Belastungen immer die Übernahme eines fertigen Programmes willkommen ist.

## **Anwendung programmierbarer Taschenrechner**

### **Band 13:**

Hanfried Kerle

### **Getriebetechnik – Dynamik für UPN- und AOS-Rechner**

1982. VIII, 117 S. mit 8 vollst. Progr. und 31 Abb. 16,2 X 22,9 cm.  
Br.

Inhalt: Grundlagen der Getriebetechnik – Dynamische Analyse der Viergelenkgetriebe – Dynamische Analyse dreigliedriger Kurvengetriebe.

Zusammen mit Band 10 (Getriebetechnik – Kinematik für AOS- und UPN-Rechner von Kurt Hain) dieser Reihe stellt dieses Buch eine umfassende Hilfe für den Getriebekonstrukteur im Verarbeitungsmaschinenbau dar. Entwurf, Berechnung und Optimierung sind nun zeitsparend durch Berechnung am Arbeitsplatz möglich. Jedes Programm wird zuerst mit den theoretisch-mechanischen Grundlagen erläutert und anschließend für UPN- und AOS-Rechner aufbereitet.



Kurt Hain und Harald Schumny

### **Gelenkgetriebe-Konstruktion**

mit Kleinrechnern HP Serie 40 (HP-41C/CV)  
und HP Serie 80 (HP-83, HP-85, HP-86, HP-87)

In diesem Buch werden zwei wichtige Grundprobleme der Getriebesynthese behandelt. Im ersten Falle geht es um die Verwendung ungleichmäßig übersetzender Getriebe als Funktionsmechanismen, indem für gegebene, einander zuzuordnende Winkellagen zweier Getriebeglieder zwangsläufige Getriebe zu entwerfen sind. Im zweiten Falle werden Führungsgetriebe vorgestellt, von denen ein Koppelpunkt eine gegebene Bahnkurve durchlaufen soll. In beiden Fällen wird versucht, eine möglichst gute Annäherung an die exakten Bedingungen zu erreichen, und deshalb wurden, über die „klassischen“ Verfahren hinausgehend, zum einen Mittelwerte aus einer höheren als normal erreichbaren Zahl der Zuordnungen und zum anderen Punktlagenreduktionen verwendet, die mit Hilfe von Reduktionen ebenfalls über das Normalmaß hinauszugehen ermöglichen.

Die beiden hier vorgestellten Groß-Programme sind für das automatische Abtasten eines gesamten gegebenen Lösungsfeldes mit entsprechenden Zwischen- und Fehlermeldungen eingerichtet.

Die Programmierunterlagen werden in allgemeiner Form dargestellt, gleichzeitig aber auch für die Rechner HP-41C und HP-85 aufbereitet, um so weit gestreuten Erwartungen hinsichtlich der Übertragbarkeit auf beliebige andere Rechnerarten entgegenzukommen. Die praktischen Beispiele aus verschiedenen technischen Bereichen sollen Einblicke in Getriebekonstruktionen mit Rechnerunterstützung, gleichzeitig aber auch Anregungen für weitere Einsatzgebiete geben.

Dr.-Ing. E.h. *Kurt Hain*, vor dem Ruhestand: Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig.

Dr.-Ing. *Harald Schumny*, Laboratorium Meßtechnik und Prozeßdatenerfassung an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig.