

Interner Bericht
DESY-F22/1
Februar 1969

DESY-Bibliothek
18. MRZ. 1969

Programmierte Steuerung und Überwachung
eines Zähler-Experimentes
mit einer Datenverarbeitungsanlage

von

Wolf-Rainer Dix

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung
2. Experimente
 - 2.1. Theoretische Grundlagen
 - 2.2. Durchgeführte Experimente
3. Experimenteller Aufbau
4. Bedienung des experimentellen Aufbaus
5. Das Steuerungs-System
 - 5.1. Definitionen
 - 5.2. Die Rechenmaschine PDP-8 und ihre Arbeitsweise
 - 5.2.1. Allgemeines
 - 5.2.2. Register
 - 5.2.3. Befehle der PDP-8
 - 5.2.4. Ansteuern von Geräten
 - 5.2.5. Rückmeldung der Geräte
 - 5.2.6. Unterbrechungs-Signal
 - 5.2.7. Unmittelbare Datenübertragung
 - 5.3. Aufbau des Steuerungs-Systems
 - 5.3.1. Geräte, die zur Ausführung der Programme und zur Kommunikation zwischen Experimentator und Steuerungs-System benötigt werden
 - 5.3.1.1. Zentrale Rechenmaschine IBM 360/75
 - 5.3.1.2. 4 Magnetband-Einheiten
 - 5.3.1.3. Schreibmaschine und Fernschreiber
 - 5.3.1.4. 1 Sichtanzeigergerät
 - 5.3.2. Geräte und Elektronik zur Steuerung und Überwachung des experimentellen Aufbaus
 - 5.3.2.1. Elektronische Zwischenstufe
 - 5.3.2.2. Logik zum Auslesen der Zähler
 - 5.3.2.3. 2 Integratoren

- 6. Das Programm 'EXSYS'
- 6.1. Anforderungen an ein Experimente-Programm
- 6.2. Verteilung des Programms 'EXSYS' im Kernspeicher
- 6.3. Das Hauptsegment
 - 6.3.1. Elektronik und externe Geräte
 - 6.3.2. Programm
 - 6.3.2.1. Kommunikation zwischen PDP und IBM
 - 6.3.2.2. Ergänzungen zu den Ein- und Ausgabe-Unterprogrammen des 'SUPERVISORS'
 - 6.3.2.3. Verarbeitung von Unterbrechungs-Signalen
 - 6.3.2.4. Organisation der Unterprogramme für 'DISPLAY'
 - 6.3.2.5. Unterprogramme für 'DISPLAY'
 - 6.3.2.6. Laden eines anderen Segmentes des 'EXSYS'
 - 6.3.2.7. Protokollieren des Experimente-Ablaufs
- 6.4. Segmente 1 und 31
 - 6.4.1. Elektronik und externe Geräte
 - 6.4.1.1. Quadropole
 - 6.4.1.2. Ablenkmagnete
 - 6.4.1.3. Genauigkeit der Magnetsteuerung
 - 6.4.1.4. Einzelheiten der Elektronik für die Magnetsteuerung
 - 6.4.2. Programm des Segmentes 1
 - 6.4.2.1. Starten des Programms 'EXSYS'
 - 6.4.2.2. Unterprogramm für die Parameter-Eingabe
 - 6.4.2.3. Steuerung des Transportsystems
 - 6.4.3. Programm des Segmentes 31
 - 6.4.3.1. Einstellen des Spektrometers
 - 6.4.3.2. Überprüfen des Spektrometers
- 6.5. Segmente 2 und 32
 - 6.5.1. Elektronik und externe Geräte
 - 6.5.1.1. Zähler
 - 6.5.1.2. Einzelheiten der Elektronik zum Auslesen der Zähler
 - 6.5.2. Programm des Segmentes 2

- 6.5.2.1. Zuordnen von Zähleradressen und Namen
- 6.5.2.2. Formatierung des Ausdrucks
- 6.5.3. Programm des Segmentes 32
 - 6.5.3.1. Organisation der Zählerauslese
 - 6.5.3.2. Auslesen der Zähler

- 6.6. Segment 4

- 6.7. IBM-Programm

- 7. Zusammenfassung und Ausblick

Literaturverzeichnis

Anhang 1: Das Programm 'SUPERVISOR'

Anhang 2: Bedienungsanweisung für das Steuerungs-System

1. EINLEITUNG

Das in diesem Bericht beschriebene System zur Steuerung und Überwachung von Experimenten wurde entwickelt, um eine möglichst optimale Ausnutzung der Meßzeit zu erreichen, die für die im Folgenden aufgeführten Zählerexperimente am Deutschen Elektronen-Synchrotron zur Verfügung stand. Aufgabe des Systems ist es,

- (1) durch schnelle Datenspeicherung und Steuerung den für die Datenauslese, Nachregelung bzw. Einstellung am experimentellen Aufbau benötigten Anteil der Meßzeit auf ein Minimum zu reduzieren,
- (2) eventuelle Fehler durch falsches Einstellen von Sollwerten am Experimente-Zubehör auszuschließen und
- (3) den Experimentator noch während seiner Messungen vorläufige Ergebnisse zu liefern, damit er daraus Schlüsse für die Fortsetzung und eventuelle Abänderung des Meßprogramms ziehen kann.

Grundsätzlich läßt sich ein Experiment auf zwei Arten überwachen und steuern:

- (1) Man baut spezielles elektronisches Zubehör, das diese Aufgaben übernimmt.
- (2) Man setzt eine Rechenmaschine ein, die in Verknüpfung mit sehr viel weniger elektronischem Zubehör durch entsprechende Programme die gleichen Aufgaben erledigt.

Die zweite Art, solche Steuerungs-Systeme aufzubauen, hat gegenüber der ersten große Vorteile, vor allem dadurch, daß das System sehr schnell durch Änderung oder Erweiterung des Programms und der Programm-Parameter an alle Änderungen im experimentellen Aufbau angepaßt werden kann.

Deshalb wurde zur Überwachung und Steuerung der genannten Experimente sowie für die Datenverarbeitung eine Klein-Rechenmaschine PDP-8 (im Folgenden als PDP abgekürzt) beschafft und in den bestehenden experimentellen Aufbau eingefügt. Die Anwendungsmöglichkeiten der PDP wurden wesentlich erweitert durch eine Direktverbindung zur zentralen Rechenanlage,

einer IBM 360/75 (IBM), und durch ein Sichtanzeigegerät und Magnetbandeinheiten, die von der PDP gesteuert werden.

Das hier beschriebene Programm ist eine der verschiedenen Versionen, die im letzten Jahr benutzt wurden. Im Prinzip ist das Programm trotz zweimaligen Umbaus des Spektrometers und mehrfacher Änderung der Zähler-Logik gleich geblieben, weil es von vornherein so angelegt wurde, daß es sich einfach ändern und erweitern läßt, wobei die Programm-Struktur erhalten bleibt. Das Programm hat sich in Zusammenhang mit der entwickelten Elektronik und den benutzten Ein- und Ausgabe-Geräten als wertvolle Unterstützung des Experimentators erwiesen. Obwohl eine günstige Ausnutzung der PDP für die durchgeführten Experimente erreicht wurde, wird das System sicher laufend neu durchdacht werden, da gerade die verhältnismäßig leicht auszuführende Weiterentwicklung und Verbesserung des Systems sein großer Vorteil sind.

Besonders auffällig bei einem solchen System ist die enge Verknüpfung von Programm und Elektronik. In diesem Bericht spiegelt sich das darin wider, daß Programm und Elektronik nicht in völlig getrennten Abschnitten beschrieben wurden. Eine solche strikte Trennung hätte die Zusammenhänge unklar werden lassen.

Die Beschreibung vermittelt nur einen Überblick über das System und soll die verschiedenen Ideen und Erfahrungen wiedergeben. Ein parallel zu diesem Bericht geschriebenes "Handbuch" enthält die Details des Programms und der Elektronik. Es wird als Unterlage bei der Wartung, bei Änderungen und Erweiterungen benutzt. Da die PDP und auch der größte Teil der in den Zwischenstufen verwendeten Elektronik bei amerikanischen und englischen Firmen gekauft wurde, werden in dem Handbuch die von den verschiedenen Firmen eingeführten oder allgemein üblichen englischen Ausdrücke gebraucht. Damit eine Verbindung mit dem Handbuch hergestellt werden kann, wurde auch in diesem Bericht nicht vollständig auf englische Ausdrücke verzichtet.

2. EXPERIMENTE

Bei den folgenden Zählerexperimenten handelt es sich um Experimente zur Untersuchung der Elektron-Nukleon-Streuung bei kleinen Streuwinkeln (1)-(7), (20)-(21).

2.1. Theoretische Grundlagen

Für die im Folgenden benutzten Vierervektoren wird die Metrik definiert durch

$$g_{00}=1, g_{11}=g_{22}=g_{33}=-1, g_{\mu\nu}=0 \text{ für } \mu \neq \nu.$$

Dabei sind die kontra- und kovarianten Vierervektoren durch

$$\begin{aligned} x^\mu &= (x^0, \vec{x}) \\ x_\mu &= g_{\mu\nu} x^\nu = (x^0, -\vec{x}) \end{aligned} \quad \text{gegeben.}$$

Allgemein gilt daher für das Skalarprodukt:

$$a_\mu b^\mu = a_0 b^0 - \vec{a} \cdot \vec{b}.$$

Der Energie-Impuls-Vierervektor ist damit als

$$p^\mu = (E, \vec{p}) \quad \text{definiert.}$$

Unter der Annahme, daß ein Proton eine punktförmige Ladung besitzt, kann die Elektron-Proton-Streuung als Streuung von Elektronen an einem Coulombfeld unter Berücksichtigung des Protonen-Rückstoßes beschrieben werden. Der differentielle Wirkungsquerschnitt für relativistische Elektronen lautet dann:

$$(d\sigma/d\Omega)_M = (\alpha^2 / -q^2) (E'/E_0)^2 (1/\tan^2 \frac{\Theta}{2}).$$

Er wird Mott-Wirkungsquerschnitt¹ genannt und ist die relativistische Verallgemeinerung des Rutherford-Wirkungsquerschnitts. E_0 ist die Energie der einfallenden Elektronen, E' ist die Energie der gestreuten Elektronen. $-q^2$ ist der Impulsübertrag, und es gilt im Laborsystem

$$-q^2 = 4E_0 E' \sin^2 \frac{\Theta}{2}.$$

Dabei ist Θ der Winkel zwischen der Richtung der gestreuten und

der Richtung der einfallenden Elektronen im Laborsystem. Da für den Impuls p' der gestreuten relativistischen Elektronen $p' \approx E'$ gilt, genügt es also bei bekannter Energie und Richtung der einfallenden Elektronen zur Bestimmung des differentiellen Wirkungsquerschnittes den Winkel Θ und den Impuls p' der gestreuten Elektronen zu messen.

Die Gleichung für den Mott-Wirkungsquerschnitt gilt allerdings nur bei Streuung an einem Zentrum mit Spin 0. Für Streuung an Dirac-Teilchen gilt für den Wirkungsquerschnitt

$$(d\sigma/d\Omega) = (d\sigma/d\Omega)_M (1 + 2\tau \text{tg}^2 \frac{\Theta}{2})$$

Dabei ist $\tau = -q^2/4M_p^2$, wo M_p = Masse des Protons.

Da das Proton ein anomales Moment $\mu_p = 2.79$ Kernmagnetonen hat, ist es kein reines Dirac-Teilchen. Daher ist eine weitere Modifikation des Wirkungsquerschnittes notwendig. Man erhält bei Berücksichtigung des anomalen Momentes des Protons für den Wirkungsquerschnitt:

$$(d\sigma/d\Omega) = (d\sigma/d\Omega)_M \left(\frac{(1 + 2\mu_p^2)}{(1 + \tau) + 2\tau\mu_p^2 \text{tg}^2 \frac{\Theta}{2}} \right).$$

Der experimentelle Wirkungsquerschnitt ist kleiner als der durch diese Gleichung theoretisch vorgegebene. Das liegt daran, daß die Annahme, das Proton besitze eine punktförmige Ladung, eine grobe Näherung ist. Ladung und magnetisches Moment sind vielmehr über einen endlichen räumlichen Bereich verteilt, weshalb die Gleichung für den Wirkungsquerschnitt mit weiteren Faktoren versehen werden muß, die diese Verteilung beschreiben. Diese Faktoren sind vom Impulsübertrag $-q^2$ abhängig. Es ergibt sich dann für den differentiellen Wirkungsquerschnitt der elastischen e-p-Streuung die Rosenbluth-Formel:

$$\begin{aligned} (d\sigma/d\Omega) &= (d\sigma/d\Omega)_M \left(\frac{(G_E^2(q^2) + \tau G_M^2(q^2))}{(1 + \tau) + 2\tau G_M^2(q^2) \text{tg}^2 \frac{\Theta}{2}} \right) \\ &= (d\sigma/d\Omega)_M (A(q^2) + B(q^2) \text{tg}^2 \frac{\Theta}{2}), \end{aligned}$$

wo $G_E(q^2)$ und $G_M(q^2)$ der elektrische bzw. magnetische Formfaktor des Protons sind.

Bei der Ableitung der Rosenbluth-Formel sind folgende Annahmen

gemacht worden:

1. Bei der elastischen e-p-Streuung wird nur ein einziges virtuelles Photon ausgetauscht.
2. Die Quantenelektrodynamik ist gültig, d.h. die Ladungsverteilung des Elektrons ist punktförmig, und das Coulomb-Gesetz ist für beliebig kleine Entfernungen gültig.
3. Der Elektron-Proton-Streuprozess wird durch reine elektromagnetische Wechselwirkung beschrieben.

Die beiden Formfaktoren $G_E(q^2)$ und $G_M(q^2)$ sind ein Maß für die Verteilung der Ladung bzw. des magnetischen Momentes des Protons (8).

Es gilt

$$G_E(q^2) = \int \rho(\vec{r}) e^{i\vec{q}\vec{r}} d^3\vec{r},$$

wo $\rho(\vec{r})$ die Ladungsdichte mit der Normierung $\int \rho(\vec{r}) d^3\vec{r} = 1$ ist.

Für rotationssymmetrisches $\rho(r)$ erhält man nach Integration über die Winkel

$$G_E = \int \rho(r) \frac{\sin qr}{qr} 4\pi r^2 dr$$

und nach Entwicklung des Sinus ergibt sich für kleine q^2

$$G_E \approx 1 - \frac{q^2}{6} \langle r_E^2 \rangle,$$

wobei $\langle r_E^2 \rangle = \int \rho(r) r^2 d^3\vec{r}$ der mittlere quadratische Radius der Ladungsverteilung ist.

In gleicher Weise hat man näherungsweise:

$$\frac{G_M}{\mu_P} \approx 1 - \frac{q^2}{6} \langle r_M^2 \rangle.$$

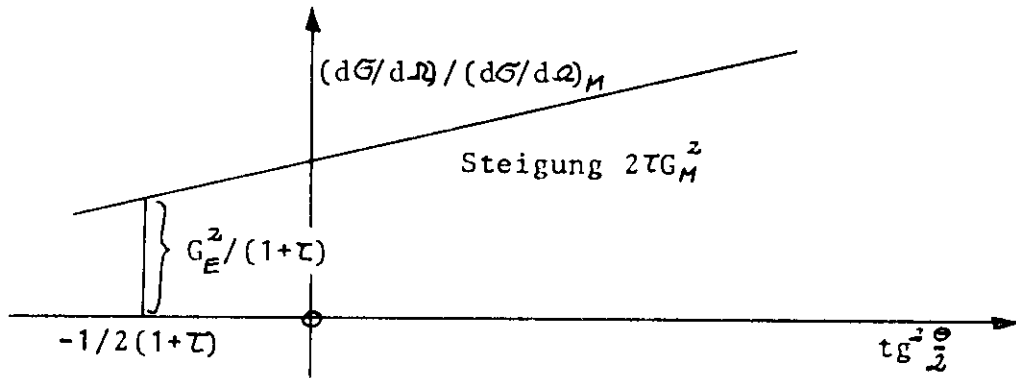
Die Abhängigkeit der Formfaktoren vom Impulsübertrag wird durch die sogenannte "Dipol-Formel"

$$G_E = 1 / (1 - q^2 / 0.71)^2, \quad -q^2 \text{ in } (\text{GeV}/c)^2$$

gut beschrieben. Diese Näherungsformel wurde empirisch gefunden. Dasselbe gilt für das sogenannte "Proportionalitäts-Gesetz" für den Zusammenhang zwischen $G_E(q^2)$ und $G_M(q^2)$. Es lautet

$$G_E = G_M / \mu_P.$$

Als Folge der Rosenbluthgleichung erwartet man, daß die experimentell gemessenen Punkte in einem Diagramm mit den Achsen $\text{tg}^2 \frac{\Theta}{2}$ und $(d\sigma/d\Omega) / (d\sigma/d\Omega)_M$ eine Gerade ergeben:

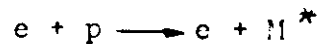


Falls bei elastischer e^-p - bzw. e^+p -Streuung der Zweiphotonenaustausch ebenfalls Beiträge zum Wirkungsquerschnitt liefert, müßte die Rosenbluth-Formel erweitert werden. Legt man ein spezielles Modell (Gourdin) zugrunde, so erhält man für den Wirkungsquerschnitt:

$$dG(e^\pm p)/d\sigma_M = A(q^2) + B(q^2) \operatorname{tg}^2 \frac{\Theta}{2} + C(q^2) \operatorname{tg}^2 \frac{\Theta}{2} \left(1 + \frac{1}{1+\tau} \operatorname{ctg}^2 \frac{\Theta}{2}\right)^{1/2}$$

Für festes q^2 müßte also mit steigendem Θ der Unterschied im Wirkungsquerschnitt der elastischen e^-p - und e^+p -Streuung wachsen.

Neben der elastischen $e-p$ -Streuung können auch inelastische Prozesse der Form



auftreten. M^* nennt man die "missing mass". Für bestimmte Massen, die sogenannten Nukleonisobare, findet man Resonanzen bei der Streuung. Die erste Resonanz liegt bei $M^* = 1236 \text{ MeV}$. Das ist die sogenannte $3/2-3/2$ -Resonanz (Isospin $3/2$, Spin $3/2$).

2.2. Durchgeführte Experimente

Das Steuerungs-System wurde bei folgenden Experimenten benutzt:

2.2.1. elastische $e-p$ -Streuung (2), (4)

für Impulsüberträge von $-q^2 \leq 4.09 \text{ (GeV/c)}^2$ und kleine Streuwinkel. Es wurde zunächst der Ladungsformfaktor $G_E(q^2)$ des Protons bestimmt. Dabei ergaben die Messungen innerhalb der Fehlergrenzen bis $-q^2 = 2.921 \text{ (GeV/c)}^2$ Übereinstimmung mit der Dipol-Formel und dem Proportionalitäts-Gesetz. Mit den gemessenen Wirkungs-

querschnitten wurde die Rosenbluth-Formel überprüft. Innerhalb der Fehlergrenzen ergaben sich geradlinige Rosenbluth-Diagramme im Einklang mit der Einphotonenaustausch-Hypothese. Ein weiteres Experiment zur Prüfung dieser Hypothese war der

2.2.2. Vergleich zwischen elastischer e^- -p-Streuung
und e^+ -p-Streuung (5)

bei $-q^2=0.454 \text{ (GeV/c)}^2$ und $-q^2=1.367 \text{ (GeV/c)}^2$.

Die Messungen waren verträglich mit $C(q^2)=0$, geben also keinen Hinweis auf einen Beitrag des Zweiphotonenaustausches zum Wirkungsquerschnitt.

2.2.3. inelastische e-p-Streuung

für Impulsüberträge von $0.2 \leq -q^2 \leq 1.6 \text{ (GeV/c)}^2$ und $10^\circ \leq \theta \leq 35^\circ$. Aus den gemessenen Spektren sollte zunächst ermittelt werden, in welchem Maße die Nukleonisobare bis $M^*=2.1 \text{ GeV}$ in diesem Winkel- und Impulsübertrags-Bereich angeregt werden.

Anschließend wurden in diesem Bereich systematisch Wirkungsquerschnitte zur Berechnung der Formfaktoren der 3/2-3/2-Resonanz gemessen (20)-(21).

3. EXPERIMENTELLER AUFBAU

Diese Experimente wurden am externen Elektronenstrahl 20 des Synchrotrons mit einem experimentellen Aufbau ausgeführt, der hier beschrieben werden soll:

Der Elektronenstrahl wird durch gepulste Magnete aus dem Führungsfeld des Synchrotrons ausgelenkt. Bei den oben erwähnten Experimenten 2.2.1. und 2.2.3. wurde dieser Strahl durch ein Transportsystem (siehe Abb. 1) auf das 5 bis 24 cm lange mit flüssigem Wasserstoff gefüllte Target gelenkt. Beim Experiment 2.2.2. traf der ausgelenkte Strahl zunächst auf einen Cu-Konverter, und die durch die aufeinanderfolgenden Prozesse der Bremsstrahlung und Paarbildung entstandenen Elektronen und Positronen wurden durch das Transportsystem geführt.

Das rund 44 m lange Transportsystem besteht aus 2 Ablenkmagneten und 6 Quadrupolen. Es wirkt als Impulsfilter und ist ein achromatisches System, d.h. für alle vom Transportsystem akzeptierten Elektronen mit verschiedener Energie liegt der Impulsfokus am gleichen Ort. Dort ist das Target aufgestellt. Hinter dem Target tritt der externe Strahl durch einen Sekundär-Elektronen-Monitor (SEM) und wird dann durch ein weiteres Quadrupol-Paar in einen Faraday-Käfig (FK) fokussiert. Mit dem FK wird die Ladung des aus dem Synchrotron ausgelenkten Elektronenstrahls gemessen. So erhält man die Anzahl der durch das Target getretenen Elektronen zur Berechnung der Wirkungsquerschnitte. Für den FK läßt sich eine Ladung vorwählen, nach deren Erreichen die jeweilige Messung durch Stoppen der Zähler beendet wird. Durch Vergleich der gemessenen Ladungen im FK und SEM kann man ermitteln, ob irgendwo zwischen Target und FK Elektronen verlorengehen.

Zur Messung des Winkels Θ und des Impulses p' der am Target gestreuten Elektronen (bzw. Positronen) dient ein Spektrometer (siehe Abb. 2), bestehend aus 6 Quadrupolen und 3 Ablenkmagneten. Für alle genannten Experimente wurde das hier beschriebene oder ein prinzipiell ähnliches Spektrometer benutzt (9).

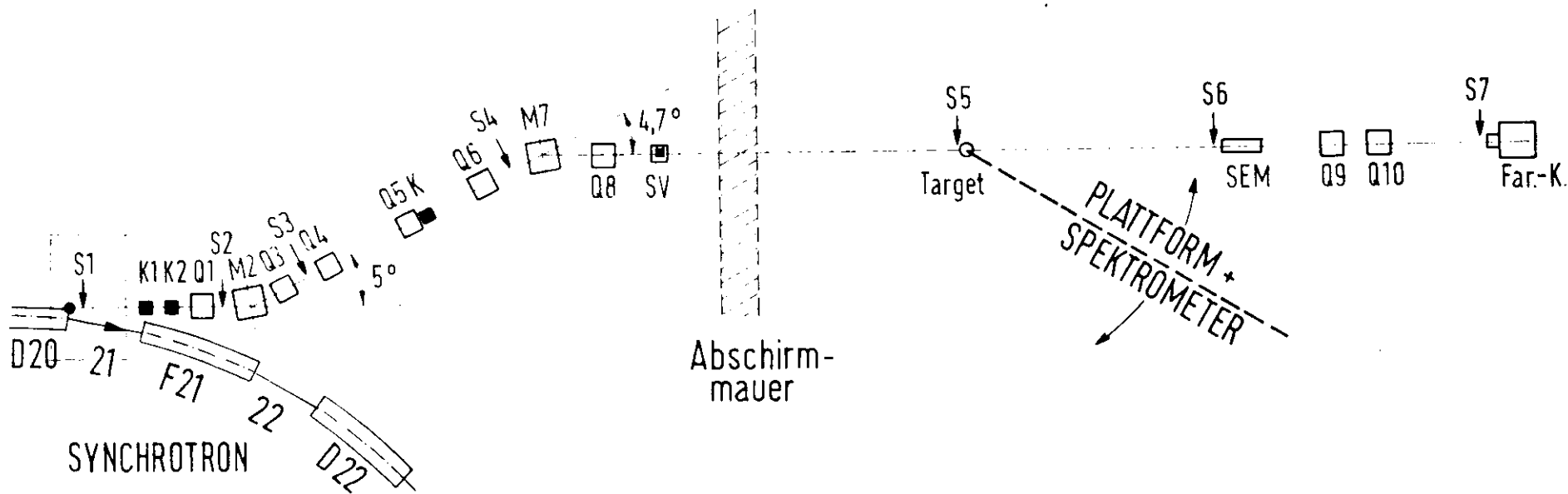


Abb.1 Schematischer Aufbau des Transportsystems

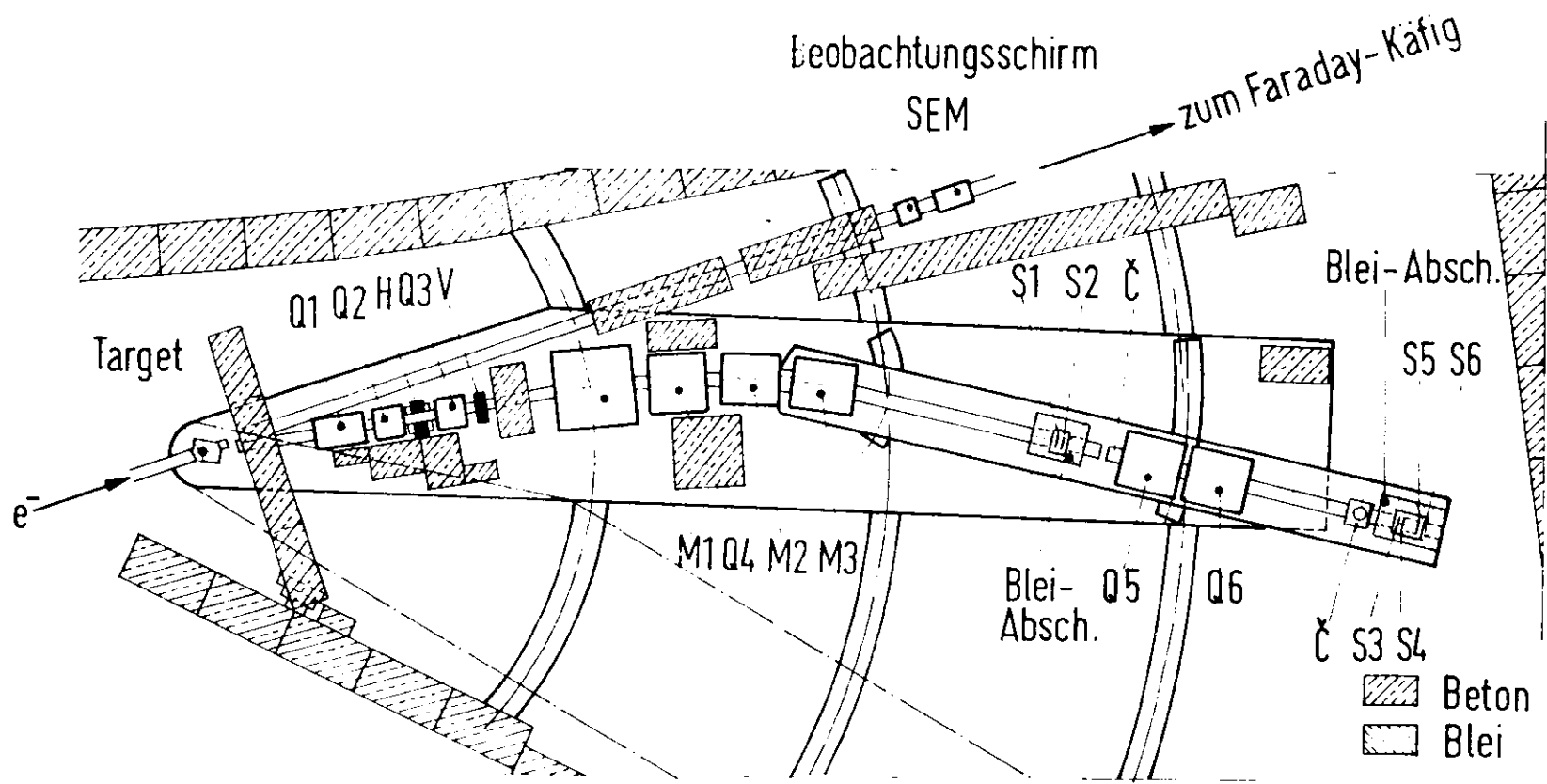


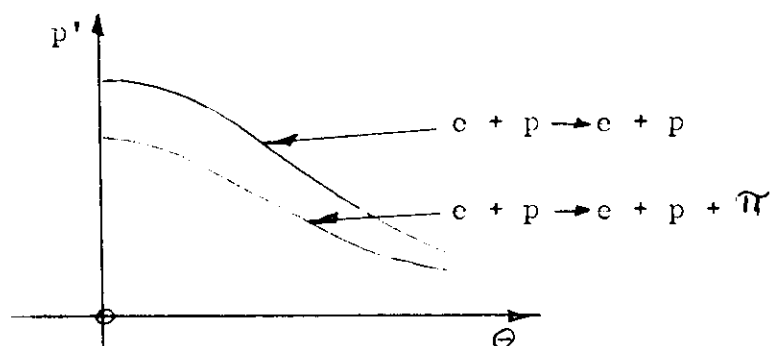
Abb.2 Aufbau des Spektrometers

Das Spektrometer steht auf einer 28 m langen, um das Target drehbaren Plattform. Es können Elektronen (bzw. Positronen) in einem Winkelbereich zwischen $\Theta=9.6^\circ$ und $\Theta=35^\circ$ identifiziert werden. Dabei hat das Spektrometer eine horizontale Akzeptanz von 24 mrad, die durch den Kollimator H hinter dem Quadrupol Q2 bestimmt wird. Die vertikale Akzeptanz beträgt 18.22 mrad, definiert durch den Kollimator V hinter dem Quadrupol Q3. Dadurch erhält man einen Raumwinkel von $\Delta\Omega=0.4373$ msterad. (Das Spektrometer für Experiment 2.2.2. hatte einen Raumwinkel von $\Delta\Omega=1.52$ msterad (5))

Mit den drei Ablenkmagneten und einem Hodoskop (S1) wird die Impulsverteilung der gestreuten Elektronen analysiert. Das Hodoskop bestand bei den genannten Experimenten aus 10 bzw. 15 Elementen von 0.8 cm Breite. Die Breite des Hodoskops definiert das vom Spektrometer akzeptierte Impulsband. Die Auflösung liegt je nach Produktionswinkel zwischen $\Delta p/p=0.2\%$ und 0.7% .

Um eine möglichst gute Auflösung zwischen den verschiedenen Kanälen der Elektron-Streuung (missing-mass-Auflösung) zu bekommen, war es notwendig, das Spektrometer als Schrägfenster-Spektrometer zu bauen.

Bei den genannten Experimenten besteht für einen bestimmten Impulsübertrag folgender Zusammenhang zwischen dem Winkel Θ und dem Impuls p' der gestreuten Elektronen:



Für die Steigung S der Kurven im (p', Θ) -Diagramm gilt:

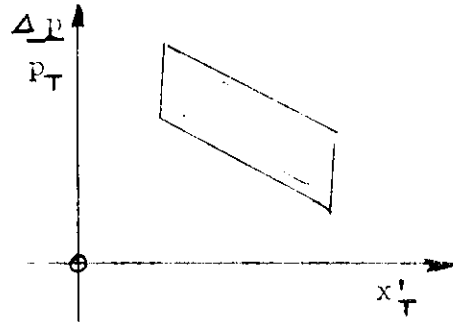
$$S = - \frac{\frac{E_0}{M} \sin \Theta}{1 + \frac{2E_0}{M} \sin^2 \frac{\Theta}{2}}$$

S liegt etwa zwischen 0 und 2.

Will man, ohne die Akzeptanz des Spektrometers zu verringern, zwischen den Kanälen der Streuung unterscheiden, so muß man den

vom Hodoskop akzeptierten Impuls-Winkel-Bereich der Steigung im (p', θ) -Diagramm anpassen.

Stellt man einen Zähler am Ort des Impulsfokus des Spektrometers auf, so besteht für alle Teilchen, die durch einen Punkt des Zählers treten, derselbe lineare Zusammenhang zwischen der Winkelabweichung x'_T vom Sollwinkel am Targetort und der Impulsabweichung $\Delta p/p_T$ (18). Alle durch einen Punkt im Zähler tretenden Teilchen liegen also in der $(x'_T, \Delta p/p_T)$ -Ebene auf einer schrägen Linie. Wegen der endlichen Größe des Zählers ergibt sich für alle Teilchen, die durch den Zähler treten, ein "schräges Fenster" in dieser Ebene:



Paßt man die Steigung dieses Fensters der Steigung der kinematischen Kurven in (p', θ) -Diagramm an, so hat man die bestmögliche missing-mass-Auflösung des Spektrometers.

Zur Anpassung muß die Steigung des "Fensters" veränderlich sein. Eine Möglichkeit, die auch in den hier beschriebenen Spektrometer benutzt wird, ist die Anpassung durch Veränderung der Ablenkwinkel der Ablenkmagnete.

Deshalb sind nur die Magnete Q1 bis M2 auf der um das Target schwenkbaren Plattform montiert. Die Magnete M3 bis Q6 sind auf einer weiteren auf dieser drehbaren Plattform aufgestellt. Diese Plattform überstreicht einen Winkel von $\beta=4^\circ$ bis $\beta=16^\circ$, wo $\beta = \phi_1 + \phi_2$ und $\phi_1 = \phi_2$ die Ablenkwinkel der Magnete M2 und M3 sind. Auf diese Weise ist es möglich, durch Änderung von β die kinematische Steigung in (p', θ) -Diagramm auszugleichen.

Die Quadrupole Q1 und Q2 geben einen horizontalen Fokus beim Kollimator II.

Der Kollimator H wird durch die Quadrupole Q3 und Q4 in der horizontalen Ebene auf das Hodoskop S1 abgebildet.

Die Quadrupole Q5 und Q6 fokussieren den Strahl für die Zähler S3 bis S6 und halten den Elektronenstrahl im Gas-Schwellen-

Cerenkov-Zähler C hinreichend klein, sodaß keine Elektronen auf dessen Wand treffen und verlorengehen.

Mit Koinzidenzschaltungen der Zähler S1 bis S6 und dem Gas-Schwellen-Cerenkov-Zähler, der gegen schwerere Teilchen diskriminiert, werden die Elektronen im Spektrometer identifiziert und vom Untergrund getrennt.

4. BEDIENUNG DES EXPERIMENTELLEN AUFBAUS

Während eines Experimentes sind bei dem beschriebenen Aufbau vor der ersten Messung oder bei Änderung der Energie der einfallenden bzw. gestreuten Elektronen folgende Arbeiten zu erledigen:

(1) Die Magnete des Transportsystems sind auf die für die Energie E_0 der einfallenden Elektronen berechneten Werte einzustellen.

(2) Die Magnete des Spektrometers sind auf die für die Energie E' der gestreuten Elektronen berechneten Werte einzustellen. Die Werte der Ablenkmagnete M2 und M3 hängen dabei außerdem vom gewünschten Winkel β ab.

Bevor die PDP eingesetzt wurde, wurden die Strom- und Spannungs-Sollwerte der Magnete aus Tabellen durch Interpolation entnommen und von Hand eingestellt.

Beim Transportsystem wurden diese eingestellten Werte dann so lange geändert, bis der Elektronenstrahl am Target hinreichend kleinen Querschnitt hatte, dort dispersionsfrei war und im ganzen Transportsystem auf dessen Achse lag. Das läßt sich auf 6 Leuchtschirmen überprüfen, die in den Strahl hineingefahren und über Fernsehkameras betrachtet werden können.

Die Einstellung der Magnete des Transportsystems hängt empfindlich von den Strahleigenschaften an der Auslaßkammer (hier verläßt der Strahl das Synchrotron) ab. Diese Eigenschaften sind aber fast nie gleich. Deshalb müssen die Magneteinstellungen praktisch jedesmal zu Beginn der Messungen experimentell neu ermittelt werden. Wenn diese experimentellen Werte auch nur verhältnismäßig wenig von den theoretischen abweichen, so ist trotzdem die Einstellung des Transportsystems abhängig von der jeweiligen Einstellung des Synchrotrons.

Die Ströme der Spektrometer-Magnete wurden mit digitalen Sollwertgebern so eingestellt, daß die an einem sehr präzisen und genau bekannten Serien-Meßwiderstand eines jeden Magneten

abgelesene Spannung mit der im voraus berechneten übereinstimmte. Das dauerte bei einem geübten Experimentator 5 bis 7 Minuten.

Spektrometer und Transportsystem müssen nicht regelmäßig für jede Messung neu eingestellt werden. Jedoch müssen nach jeder Messung auf jeden Fall

(3) die Zählerinhalte ausgelesen und ausgedruckt werden. Das dauerte mit dem konventionellen Zählerauslesesystem 60 bis 80 Sekunden, und frühestens nach dieser Zeit konnte eine neue Messung gestartet werden. Gleichzeitig mit den Zählern wurde die integrierte Ladung des FK und des SEM ausgelesen und das Verhältnis beider Werte zur Überprüfung der Konstanz der Integratoren berechnet. Letzteres dient außerdem zur Überwachung der Transmission des Transportsystems zwischen Target und FK.

Diese drei Arbeiten, Einstellen des Transportsystems, Einstellen des Spektrometers und Auslesen der Zählerinhalte werden jetzt mit Hilfe des hier beschriebenen Steuerungs-Systems ausgeführt.

Beim Einstellen des Transportsystems ist dabei jetzt sichergestellt, daß bei vorgegebenem Impuls nicht einzelne Magnetwerte falsch eingestellt werden können. Zeitgewinn kommt dadurch zustande, daß das kontinuierliche Erhöhen und Erniedrigen der Stromwerte der einzelnen Magnete beim Optimalisieren des Strahles jetzt schneller geht. Außerdem sind bei einer Energieänderung die für die Einstellung der Magnete benutzten Ausgangswerte günstiger, da sie aus den vorher experimentell ermittelten Stromwerten errechnet werden. Dadurch wird für das Nachregeln weniger Zeit benötigt.

Das Einstellen des Spektrometers dauert mit dem Steuerungs-System jetzt ca. 1 Minute, das Auslesen der Zählerinhalte 10 ms, einschließlich Auslesen der Ladung in den Integratoren 1.5 sec. Während des Ausdrucks der Zählerinhalte kann schon die nächste Messung gestartet werden, da die PDP als Zwischenspeicher benutzt wird.

So ergibt sich pro Meßlauf, bei dem das Spektrometer verändert

wird, ein Zeitgewinn von ca. 5 Minuten. Das machte sich besonders günstig bemerkbar, als während der Messungen der inelastischen e-p-Streuung alle 10 Minuten eine Änderung des Spektrometers notwendig war.

=====

In den Pausen zwischen den Experimenten kann eine Klein-Rechenmaschine zur besseren Ausnutzung für weitere Aufgaben eingesetzt werden. So wurde die PDP des hier beschriebenen Steuerungs-Systems noch zu Folgendem benutzt:

(1) Zum Prüfen der angeschlossenen Elektronik. Dazu wurden für jede einzelne Schaltung der elektronischen Zwischenstufen Prüfprogramme geschrieben, die untersuchen und anzeigen, ob der jeweils zu prüfende Teil der Elektronik ordnungsgemäß arbeitet.

(2) Zum Schreiben der für das Steuerungs-System notwendigen Programme unter Benutzung von Magnetbändern, einer Schreibmaschine, eines Fernschreibers und eines Sichtanzeigegerätes. Ohne die Ausnutzung der PDP zur Programmierung wäre es nicht gelungen, das für das Steuerungs-System notwendige Programm so schnell zu entwickeln.

(3) Zur Ausführung kurzer Rechenprogramme in "Fortran"-Sprache, entweder bei der Vorbereitung der Experimente oder bei der Auswertung der Meßdaten.

5. DAS STEUERUNGS-SYSTEM

5.1. Definitionen

In der folgenden Beschreibung des Steuerungs-Systems werden Ausdrücke benutzt, deren Bedeutung nicht ohne weiteres aus den gebrauchten Wörtern und Formulierungen hervorgeht, die daher erklärt bzw. definiert werden müssen. Viele Ausdrücke werden dort genau erklärt, wo sie zum ersten Male erwähnt werden. Damit aber trotz der Vielzahl der Ausdrücke die System-Beschreibung einigermaßen kurz und übersichtlich gehalten werden kann, soll hier schon die Bedeutung einiger Formulierungen im voraus definiert werden:

5.5.1. Ausdrücke, die bei der Beschreibung der Rechenmaschine und der Elektronik verwendet werden.

1. Bit (=Binär-Element): zweiwertige Informationseinheit (ja-nein oder 0-1), dargestellt durch ein in zwei Zuständen stabiles elektronisches Schaltelement (Flip-Flop oder Ferritkern).

2. Befehl (=Maschinenbefehl): digitale Anweisung an das Rechenwerk (siehe unten) der Rechenmaschine. Eine sinnvolle Aneinanderreihung von Befehlen ergibt ein Programm.

3. Zykluszeit: Zeit, die zur Ausführung der kürzesten Befehle benötigt wird.

4. Kernspeicher: aus Ferritkernen (als binäre Informationseinheit) aufgebauter Teil der Rechenmaschine, in dem sämtliche Informationen (Daten, Programm) gespeichert werden.

5. Zelle: kleinste aus mehreren Bits bestehende Informationseinheit, mit der gearbeitet werden kann.

6. Adresse: jeder Zelle in Kernspeicher ist eine Zahl, ihre Adresse zugeordnet. Sind mehrere gleiche externe Geräte angeschlossen, so ordnet man ihnen ebenfalls eine Zahl als Adresse zu.

7. Register: elektronische Schaltungen, in denen die durch Befehle angegebenen Operationen (z.B. arithmetische) ausgeführt werden. Die Gesamtheit aller Register bildet das Rechenwerk.

8. K (z.B. 8K): Maß für die Größe eines Kernspeichers. 1K=1024

Zellen.

9. Bank: Kernspeicherabschnitt, bestehend aus 4K.
10. Elektronische Zwischenstufe: besteht aus Schaltungen, die zur zeitlichen und spannungsmäßigen Anpassung externer Geräte an die Rechenmaschine dienen.
11. Kanal: elektronische Schaltung, die die Datenübertragung zwischen externen Geräten und Kernspeicher ohne Benutzung des Rechenwerks ermöglicht.
12. Aufsetzen eines Kanals: Kanal für die Datenübertragung vorbereiten (Übertragungsrichtung, zu übertragende Informationslänge, Adresse im Kernspeicher angeben).
13. Löschen von Zählern, Registern: Inhalt der Zähler usw. = 0 setzen.
14. Einlesen von Daten: Daten in vorgegebener Reihenfolge von externen Geräten in den Kernspeicher übertragen.
15. Eingeben von Zahlen: auf der Tastatur des Fernschreibers geschriebene Zahlen werden in den Kernspeicher übertragen.
16. Ansteuern eines Gerätes: elektronisch die Verbindung zwischen Rechenmaschine und diesem Gerät herstellen.
17. Datenpuffer: Bereich des Kernspeichers, in dem Daten zwischengespeichert werden. Die Datenübertragung in den Datenpuffer ist schneller als die spätere Datenübertragung von dort in einen externen Datenspeicher.
18. Zahlen im 1-2-4-8-Code: sind binär dargestellte Dezimalzahlen. Jeder Dezimalziffer sind 4 Bits mit den Werten 1, 2, 4 und 8 zugeordnet. Die dargestellte Ziffer erhält man durch Addition der Werte der Bits, die auf 1 stehen.
19. Oktalzahlen: zur Darstellung einer Oktalziffer werden 3 Bits zusammengefaßt. Es lassen sich also die Ziffern 0 bis 7 darstellen. Damit ist die größte Oktalzahl in einer Zelle von 12 Bit eine 7777 (entspricht einer 4095 im Dezimalsystem).

5.1.2. Ausdrücke, die bei der Beschreibung des Programms verwendet werden (siehe auch Anhang 1).

1. Laden des Programms: das Programm in den Kernspeicher einlesen.
2. Aufrufen eines Teilprogramms: einfügen oder hinzufügen des Teilprogramms zum aktiven Programm.

3. Programm-Aufgabe: Zusammenstellung eines oder mehrerer Teilprogramme zur Durchführung einer bestimmten Aufgabe.
4. Warte-Zustand einer Programm-Aufgabe: Zustand der Programm-Aufgabe, wenn sie auf Rückmeldung langsamer externer Geräte oder auf Meldungen anderer Teilprogramme wartet und inzwischen andere Programme aktiv sind.
5. Segmentierung des Programms: Unterteilung des Programms in Programmteile (Segmente), von denen aus Platzgründen immer nur einige im Kernspeicher stehen können.
6. Systemfunktion: Teilprogramm, das durch Drücken einer Taste auf dem Fernschreiber aufgerufen wird.
7. Datenblock: eine Anzahl Daten, die zusammengehören, z.B. von einer Messung stammen.
8. Ausdruck: programmierte Ausgabe von Daten auf Schreibmaschine oder Fernschreiber.
9. Pseudobefehl: dient zur Vereinfachung des Programms. Nach dem Aufruf bestimmter Unterprogramme (z.B. 'SUPERVISOR') werden dabei die im Hauptprogramm folgenden digitalen Anweisungen nicht mehr als Maschinenbefehle sondern als "Pseudobefehle" interpretiert. Zur Ausführung eines Pseudobefehls ist ein Programm erforderlich, Maschinenbefehle werden durch elektronische Schaltungen ausgeführt.

5.2. Die Rechenmaschine PDP-8 und ihre Arbeitsweise (16)

Da der Aufbau des zu beschreibenden Systems sehr wesentlich von den Eigenschaften und Möglichkeiten der Rechenmaschine abhängt, soll hier zunächst eine zusammenfassende Kurzbeschreibung der benutzen PDP gegeben werden.

5.2.1. Allgemeines

Die PDP besitzt einen Kernspeicher von 8192 Zellen (8K) zu je 12 Bit Länge. Die Zykluszeit des Kernspeichers beträgt 1.5 μ s.

In eine 12 Bit lange Zelle kann eine 4-stellige Oktalzahl oder eine 3-stellige Dezimalzahl gespeichert werden. Diese Stellenzahl ist selbstverständlich zu gering für eine Steuerung, die mit mehr als 0.1% Genauigkeit arbeiten soll. Aus diesem Grunde werden alle Daten als "doppelt-genaue" Zahlen (DP-Zahlen) abgespeichert, d.h. 2 Zellen der Rechenmaschine, also 24 Bit werden für eine Zahl benutzt.

Die mit der Rechenmaschine verbundenen externen Geräte arbeiten mit verschiedenen Codes für Dezimalzahlen, nämlich mit 1-2-4-8-Code, 1-2-4-2'-Code und 1-2-2'-4-Code. Um innerhalb des Experimente-Programms (im Folgenden kurz "EXSYS" genannt) einheitliche Unterprogramme benutzen zu können, werden alle Daten der Ein- und Ausgabe-Geräte im 1-2-4-8-Code (BCD-Code) gespeichert, der für die Programmierung am günstigsten ist.

5.2.2. Register

Die PDP besitzt mehrere elektronische Register, von denen die für die Beschreibung des Steuerungs-Systems wichtigen hier aufgezählt werden:

5.2.2.1. Akkumulatives Register

In diesem 12 Bit langen Register werden alle logischen und Rechen-Operationen ausgeführt. Außerdem werden Daten externer Geräte über dieses Register ein- bzw. ausgelesen (eine Ausnahme findet man bei der unmittelbaren Datenübertragung, siehe 5.2.7.)

5.2.2.2. Multiplikator-Quotienten-Register

Dieses Register ist von gleicher Länge wie das akkumulative und dient als dessen Erweiterung. Division und Multiplikation können hiermit schnell durch elektronische Schaltungen ausgeführt

werden.

5.2.2.3. Zwischenspeicher-Register

Alle Informationen, die aus dem oder in den Kernspeicher gelesen werden, werden in diesem Register zwischengespeichert.

5.2.2.4. Programmzähler

In diesem Register ist die Adresse der Zelle im Kernspeicher gespeichert, in der der nächste auszuführende Befehl steht. Normalerweise wird der Inhalt des Registers nach Ausführung eines Befehls um 1 erhöht.

Mit "Verzweigungs-Befehlen" (Skip), deren Ausführung von Zuständen der Register oder Flip-Flops abhängt, werden die logischen Entscheidungen des Programms ausgeführt; vom Verzweigungs-Befehl wird dabei der Programmzähler um 1 oder 2 erhöht, d.h. je nach Zustand des jeweils mit diesem Befehl abgefragten Registers oder Flip-Flops wird der nächste Befehl im Programm übersprungen oder ausgeführt.

Bei Sprungbefehlen werden in den Programmzähler die Zieladressen eingetragen.

5.2.2.5. Befehlsregister

Hier werden die einzelnen Befehle identifiziert. Zur Identifizierung dienen die ersten 3 der 12 Bit, also die erste oktale Ziffer des Befehls (Kennziffer). Es gibt daher 8 verschiedene Befehlsarten.

5.2.3. Befehle der PDP-8

Die Befehle mit der Kennziffer 0 bis 5 sind "speicherbezogene" Befehle, d.h. sie geben neben der Kennziffer die Adresse einer Zelle im Kernspeicher an, mit der etwas geschehen soll. Dort kann je nach Kennziffer der nächste Befehl stehen (Sprungbefehle), der Inhalt dieser Zelle kann in das akkumulative Register gelesen werden oder umgekehrt, oder beide werden verglichen. Außerdem kann man den Inhalt dieser Zelle im Kernspeicher um 1 erhöhen.

Befehle, die mit der Ziffer 7 beginnen, sind Operationsbefehle, die Inhalte von Registern verschieben, löschen, komplementieren oder erhöhen. Verzweigungs-Befehle, die Register der PDP abfragen, und Rechenbefehle für Rechnungen mit dem Multiplikator-Quotienten-Register beginnen ebenfalls mit einer 7.

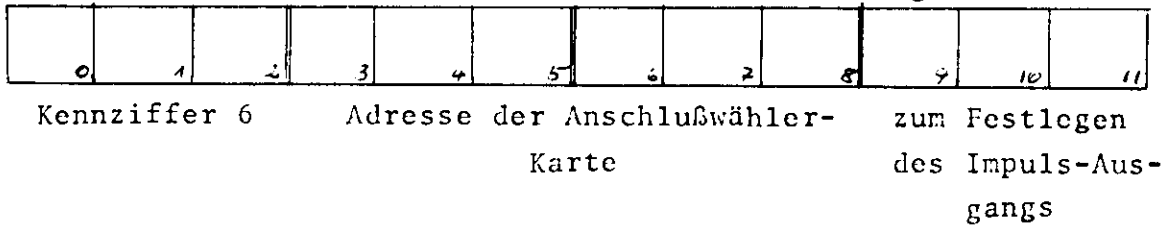
Zur Steuerung der externen Geräte werden die mit 6 beginnenden, die sogenannten IOT-Befehle (input output transfer) gebraucht.

Die beiden oktalen Ziffern hinter der Kennziffer des Befehls werden zur Auswahl des gerufenen Gerätes verwendet.

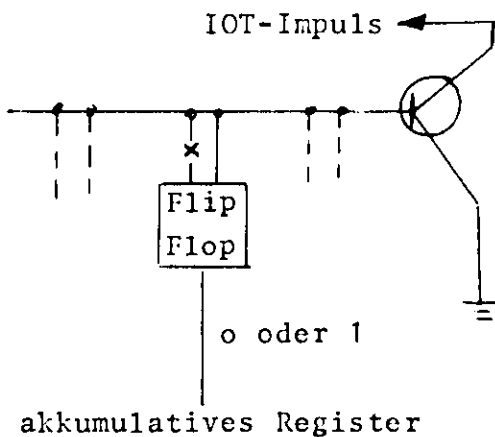
Da die hier benutzte Art, Geräte oder elektronische Schaltungen anzusteuern, auch in allen anderen Teilen des Steuerungs-Systems gebraucht wird, z.B. in den elektronischen Zwischenstufen, soll etwas näher auf das Prinzip der dafür notwendigen Schaltung eingegangen werden.

5.2.4. Ansteuern von Geräten

Die Verteilung der Bits in einem IOT-Befehl ist folgende:



Mit den 6 Bit der zweiten und dritten Oktal-Ziffer des IOT-Befehls lassen sich daher 64 verschiedene "Anschlußwähler"-Karten ansteuern. Dazu wird von jedem Bit ein Flip-Flop gesetzt (in diesem Falle identisch mit dem Zwischenspeicher-Register, sonst gesonderte Adreßregister). Die beiden Ausgänge des Flip-Flops werden mit einer Ringleitung auf alle Anschlußwähler-Karten geführt, wo sie mit je einem Eingang eines Und-Gatters verbunden sind. Je nach Stellung des Flip-Flops liegt einer der Ausgänge auf negativen Spannungspegel, der andere auf Null.



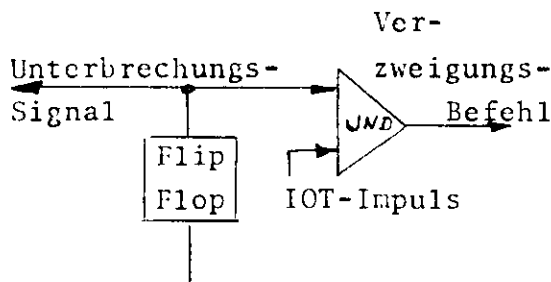
Den Karten gibt man eine "Adresse", indem man jeweils einen der zu einem Bit gehörenden Eingänge am Und-Gatter abtrennt. Dann arbeitet nur noch ein Eingang. Eine Karte ist angesteuert, wenn alle nicht abgetrennten Eingänge negativ sind, denn dann wird der Transistor des Und-Gatters durchgeschaltet.

Diese Art der Ansteuerung wird auch bei der Magnetsteuerung und beim Auslesen von Spannungen und Zählern mit der PDP benutzt.

Durch die IOT-Befehle entstehen an den Ausgängen der jeweils angesteuerten Anschlußwähler-Karten 100 ns lange Impulse (IOT-Impulse). Je nach Stellung der letzten 3 Bits im IOT-Befehl werden einer oder mehrere der 3 Ausgänge der Anschlußwähler-Karte benutzt. Dabei sind die Impulse an den 3 Ausgängen gegeneinander um 1 μ s verzögert.

Jedem externen Gerät sind ein oder mehrere Zustands-Flip-Flops zugeordnet. Mit den IOT-Impulsen werden diese Flip-Flops gesetzt, gelöscht oder abgefragt. Beim Abfragen wirkt der IOT-Impuls wie ein Verzweigungs-Befehl. Außerdem werden von IOT-Impulsen externe Geräte gestartet, die ihren Zustands-Flip-Flop setzen, wenn sie fertig sind, und es werden auch Register von externen Geräten in das akkumulative Register eingelesen.

5.2.5. Rückmeldung der Geräte



Will man im Programm darauf warten, daß von einem externen Gerät die Ausführung einer Tätigkeit bekanntgegeben wird (z.B. Ende der Messung mit einem digitalen Voltmeter), so muß man dem entsprechenden Gerät einen Zu-

stands-Flip-Flop zuordnen. Eine elektrische Schaltung muß dafür sorgen, daß am Ende des jeweiligen Arbeitsvorgangs dieser Flip-Flop von dem externen Gerät gesetzt wird. Dann kann man im Programm diesen Flip-Flop mit einem wie ein Verzweigungs-Befehl arbeitenden IOT-Befehl in einer "Warteschleife" solange immer wieder abfragen, bis der Programmzähler um 2 erhöht wird, der Flip-Flop also gesetzt ist. Das Abfragen des Flip-Flops erfolgt mit einer Und-Schaltung zwischen einem Ausgang des Flip-Flops und einem IOT-Impuls.

5.2.6. Unterbrechungs-Signal

Die eben beschriebene Art, auf externe Geräte zu warten, wird allerdings in unserem Programm nicht benutzt, da auf diese Weise nur ein externes Gerät nach dem anderen abgefragt werden kann. Außerdem bedeutet diese Art der Programmierung eine Verschwendung von Rechenmaschinenzeit. Wie die Erfahrung zeigt, würde die

Rechenmaschine nämlich über 90% der Zeit in solchen Warteschleifen laufen. Viel vernünftiger ist es, in dieser Zeit andere Programme, z.B. Rechenprogramme auszuführen.

Dazu nutzt man eine weitere Möglichkeit der PDP aus. Die Ausgänge der Zustands-Flip-Flops werden mit der Leitung für die manterbrechungs-Signale verbunden. Wenn jetzt der Flip-Flop eines externen Gerätes gesetzt wird, wird der gerade ausgeführte Befehl des laufenden Programms beendet, der Inhalt des Programmzählers in die Zelle 0 des Kernspeichers weggespeichert und der in der Zelle 1 stehende Befehl ausgeführt. Von Zelle 1 gelangt man in ein Unterprogramm, wo die oben beschriebene Abfrage der Flip-Flops dazu benutzt wird, festzustellen von welchem Flip-Flop das Unterbrechungs-Signal ausgelöst wurde. Jetzt kann man das dem Flip-Flop und damit dem externen Gerät zugeordnete Programm starten oder fortsetzen. Durch diese Art der Programmierung ist gewährleistet, daß jedes externe Gerät sofort bedient wird, wenn seine Rückmeldung eintrifft.

5.2.7. Unmittelbare Datenübertragung (17)

Für die Steuerung der beim Auslesen der Zähler bzw. bei der Messung der Spannungen und der Magnetsteuerung notwendigen externen Geräte genügt die Programmierung mit Verarbeitung von Unterbrechungs-Signalen. Bei der Datenübertragung allerdings ist auch diese Abfrage im allgemeinen noch zu langsam, da nach jedem Unterbrechungs-Signal zunächst noch ein ganzes Unterprogramm zur Identifizierung durchlaufen werden muß. Bei blockweiser Datenübertragung entsteht so eine unerwünschte Verzögerung.

Zur Datenübertragung werden deshalb "Kanäle" benutzt, durch die man unmittelbaren Zugang zum Kernspeicher hat. Dazu besitzt der Kanal:

- (1) ein Zwischenspeicher-Register für die Daten,
- (2) ein Adreßregister,
- (3) ein Wortzählregister, mit dem die Länge des zu übertragenden Datenblocks vorgegeben wird und
- (4) Steuerlogik, die unabhängig von der normalen Programmsteuerlogik der PDP arbeitet.

Mit einem solchen Kanal ist daher unmittelbare Datenübertragung in oder aus dem Kernspeicher möglich, ohne daß die für das laufende Programm eingestellten Register verändert werden. Dem

Programm wird nur die für die Datenübertragung notwendige Zeit entzogen (cycle stealing).

Die Übertragungsfrequenz in einem solchen Ein-Zyklus-Kanal beträgt 660 kHz. Ist diese Geschwindigkeit nicht unbedingt erforderlich, so kann man mit einem Drei-Zyklus-Kanal arbeiten (220 kHz), bei dem als Adreß- und Wortzählregister zwei Zellen des Kernspeichers benutzt werden. Dadurch spart man 40% elektronische Schaltungen. An jeden Kanal können drei externe Geräte angeschlossen werden.

Zur Zeit wird die Datenübertragung von der PDP zu den Magnetbändern, zur zentralen Rechenanlage und zur Schreibmaschine über solche Kanäle abgewickelt. (siehe 5.3.1.1. bis 5.3.1.3.)

5.3. AUFBAU DES STEUERUNGS-SYSTEMS

Hier soll zunächst nur ein Überblick über die mit der PDP verbundenen Geräte und elektronischen Zwischenstufen gegeben werden (siehe Abb. 3), und es sollen die Gründe angegeben werden, warum sie in dieser Form eingesetzt wurden (10)-(15). Einzelheiten der Elektronik werden dort angegeben, wo auch das entsprechende Programm beschrieben wird.

Die PDP ist über zwei Verteiler mit der zentralen Rechenmaschine verbunden. Diese IBM ist mit 7 weiteren Klein-Rechenmaschinen anderer Experimente verbunden und somit eigentlich als Mittelpunkt aller Steuerungs-Systeme zu betrachten. Trotzdem soll weiterhin die PDP als zentrale Rechenmaschine des Steuerungs-Systems betrachtet werden, denn alle im Folgenden beschriebenen Probleme und Erfahrungen beziehen sich hauptsächlich auf die Arbeit mit der PDP.

=====

5.3.1. Geräte, die zur Ausführung der Programme und zur Kommunikation zwischen Experimentator und Steuerungs-System benötigt werden:

5.3.1.1. Zentrale Rechenmaschine IBM 360/75

Auch bei optimaler Ausnutzung des Speichers der PDP ist es aus Platzgründen unmöglich, längere Rechnungen (z.B. Berechnen von Wirkungsquerschnitten) in der PDP auszuführen. Daher werden alle längeren Rechnungen und Rechnungen, bei denen aus Gründen der Genauigkeit Gleitkommazahlen benutzt werden müssen, auf der IBM durchgeführt. Dabei werden in der IBM für das Programm, das während der Experimente benutzt wird, 40K des Kernspeichers gebraucht.

5.3.1.2. 4 Magnetband-Einheiten (DEC-Bänder)

Diese vier Einheiten werden durch die PDP gesteuert. Während des Experimentes sind nur drei eingesetzt, auf der vierten kann ein Reserve-Magnetband für Meßdaten liegen. Die drei Bänder werden folgendermaßen benutzt:

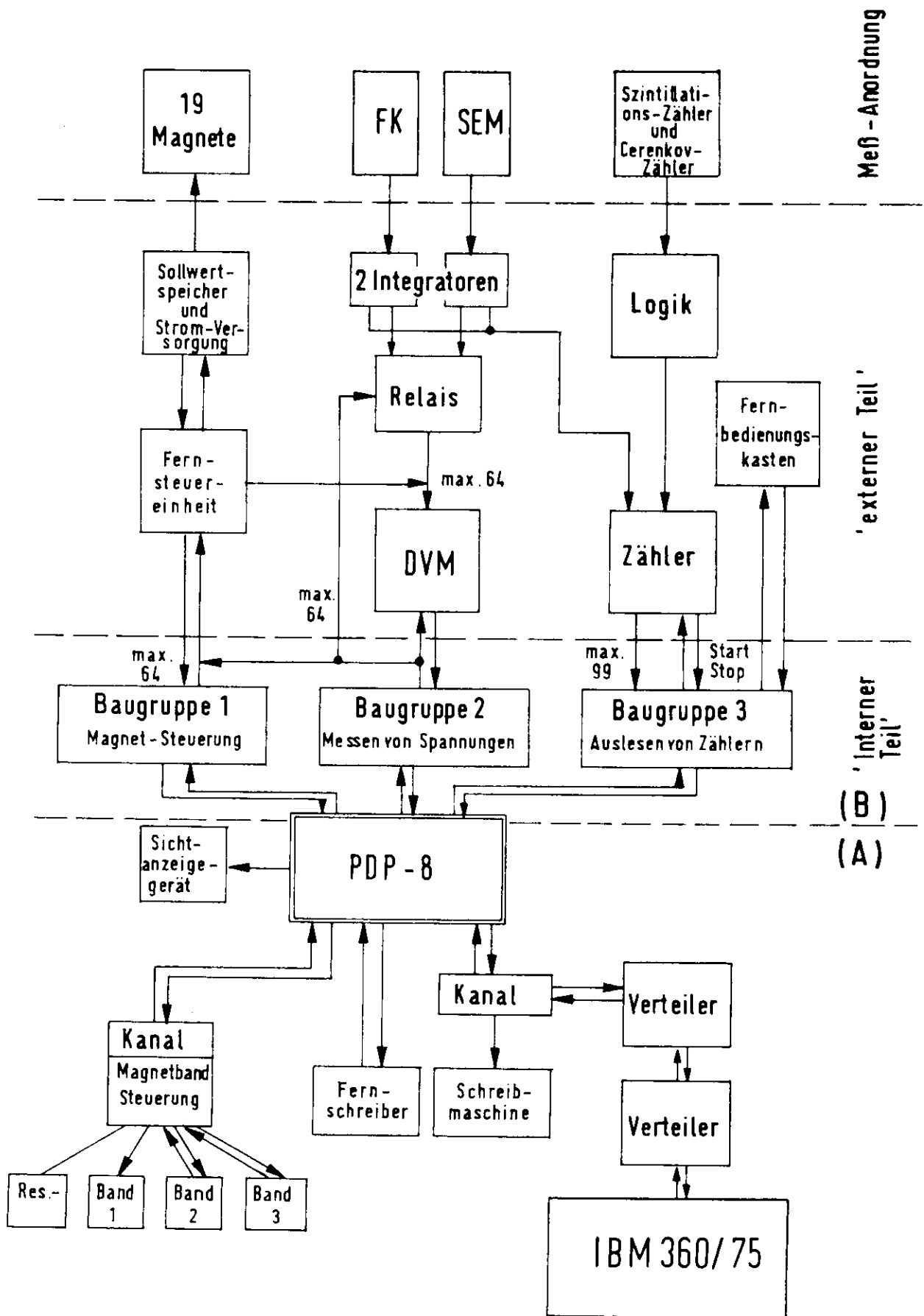


Abb.3 Aufbau des Steuerungs-Systems

(a) Band 1

Auf diesem Band steht das segmentierte Programm für die PDP. Die einzelnen Segmente des Programms werden immer nur dann in den Kernspeicher der PDP-8 eingelesen, wenn sie gebraucht werden (siehe Programm-Beschreibung). Das Wechseln eines Segmentes dauert 0.4 bis 1.2 sec.

(b) Band 2

Auf diesem Band werden Duplikate aller Datenpuffer des Kernspeichers (z.B. Sollwerte für die Magnete) aufbewahrt. Das ist erforderlich, weil bei einem Maschinenfehler, bei Stromausfall oder einem anderen unvorhergesehenen Ereignis ein Neuladen des Programms notwendig werden könnte. Dann muß zur Fortführung des Experimentes der alte Zustand der Datenpuffer wiederhergestellt werden können.

(c) Band 3

Auf dieses Band werden die Zählerinhalte geschrieben. Dafür werden nach jeder Messung ungefähr 0.3sec benötigt.

5.3.1.3. Schreibmaschine und Fernschreiber

Die Schreibmaschine und der Fernschreiber können gleichzeitig verschiedene Texte ausschreiben, da sie auf verschiedenen Wegen von der PDP angesteuert werden.

(a) Schreibmaschine (IBM 73)

Diese Schreibmaschine druckt 15 Zeichen pro Sekunde, also 50% mehr als der Fernschreiber. Daher wird sie zum Schreiben besonders langer Texte verwendet, das sind die Ausdrücke der Zählerinhalte nach jeder Messung. Über die Schreibmaschine lassen sich während des Experimentes keine Texte oder Zahlen in die PDP eingeben.

(b) Fernschreiber (ASR 33)

Der Fernschreiber druckt nur 10 Zeichen pro Sekunde. Dafür hat er aber den großen Vorteil, daß Ein- und Ausgabe über zwei verschiedene Zwischenspeicher abgewickelt werden, daß man also gleichzeitig je einen Text in die PDP eingeben bzw. ausdrucken kann. Deswegen wird der Fernschreiber nur zum Ausdruck kurzer Meldungen benutzt, seine Tastatur aber zur Steuerung des gesamten Systems. Diese Tastatur ist deswegen gut zur Steuerung geeignet, weil man durch zusätzliches Drücken einer Taste ("CTRL") den für einen Buchstaben in die Rechenmaschine übertragenen Code

verändern kann. Damit sind die Steuermöglichkeiten beträchtlich erweitert worden, denn die Tastatur wurde praktisch verdoppelt. Ein weiterer Vorteil des Fernschreibers ist, daß man auf Wunsch alle ausgeschriebenen Texte parallel auf einen Lochstreifen stanzen kann. Von dieser Möglichkeit wird beim Ausdruck der Zählerinhalte nur deswegen kein Gebrauch gemacht, weil die Zählerinhalte ohnehin auf ein Magnetband geschrieben werden.

5.3.1.4. 1 Sichtanzeigegerät

Die Anzeige auf dem Bildschirm des Sichtanzeigegerätes wird von der Rechenmaschine gesteuert. Da alle Texte hier sofort, also viel schneller als zum Beispiel auf einer Schreibmaschine sichtbar werden, werden auf diesem Bildschirm alle für den Experimentator wichtigen Nachrichten angezeigt. Z.B. wird es hier mitgeteilt, wenn im Steuerungs-System ein Fehler auftrat, wenn der Experimentator einen Fehler bei der Arbeit mit dem Steuerungs-System machte usw. Außerdem kann man auf dem Bildschirm die Inhalte verschiedener Datenpuffer sichtbar machen, z.B. die Zählerinhalte und die Sollwerte der Magnete.

Mit dem benutzten Programm lassen sich auf dem Bildschirm bis zu 1248 Buchstaben oder Ziffern anzeigen.

=====

5.3.2. Geräte und Elektronik zur Steuerung und Überwachung des experimentellen Aufbaus:

5.3.2.1. Elektronische Zwischenstufe

Diese elektronische Zwischenstufe besteht im Wesentlichen aus drei Baugruppen. Jede Baugruppe wiederum enthält "interne" und "externe" Elektronik. Mit "intern" wird der Teil der Elektronik bezeichnet, der allen zu steuernden oder zu überwachenden Geräten gemeinsam ist. Dieser Teil der Elektronik ist in die Rechenmaschine eingebaut. Der "externe" Teil besteht aus der Elektronik, die jedem Gerät einzeln zugeordnet ist. Diese Elektronik wurde getrennt von der PDP aufgestellt.

5.3.2.1.1. Baugruppe 1 für die Magnetsteuerung

(a) externer Teil

Zu jedem Magnet-Stromversorgungsgerät gehört eine Fernsteuereinheit. Von diesen Einheiten aus lassen sich die Strom-Sollwerte der Magnete an jeweils fünf "Contraves"-Schaltern mit je 10 Positionen einstellen. Diese Einstellung wird digital im 1-2-2'-4-Code in einen Sollwertspeicher im Stromversorgungsgerät übertragen. Vom Stromversorgungsgerät aus werden die Magnete mit den digital gewählten Strömen gespeist. Manuelle Einstellung in der bisher üblichen Art ist also weiterhin möglich.

Zusätzlich befindet sich in den Fernsteuereinheiten ein Relais-Zwischenspeicher, der von der Rechenmaschine gesteuert wird. Jeweils vier Relais liegen parallel zu einem "Contraves"-Schalter. Sie sind über Dioden direkt mit dem Sollwertspeicher verbunden, und man kann auf diese Weise ebenso wie mit den "Contraves"-Schaltern im 1-2-2'-4-Code digitalisierte Sollwerte für die Einstellung der Magnete in den Sollwertspeicher übertragen.

Ein Lämpchen zeigt an, ob der Magnet von der PDP oder durch manuellen Betrieb gesteuert wird. Die beiden Betriebsarten sind durch einen Schalter an der Fernsteuereinheit wählbar.

(b) interner Teil

Der interne Teil der Baugruppe 1 dient

1. zum Ansteuern einzelner Magnete,
2. zur Übertragung berechneter Sollwerte in den Relais-Zwischenspeicher der angesteuerten Fernsteuereinheit,
3. zur Strommessung (siehe unten) und
4. zur Identifizierung von Fehlermeldungen der Magnete.

5.3.2.1.2. Baugruppe 2 zum Auslesen von Spannungen

(a) externer Teil

Zu jedem Gerät, an dem eine Spannung ausgelesen werden soll, gehört ein von der PDP gesteuertes Relais, das die zu messende Spannung auf den Eingang eines digitalen Voltmeters (DVM) schaltet. Für die Magnete ist das Relais bereits in den Fernsteuereinheiten enthalten.

(b) interner Teil

Von hier aus wird das DVM gesteuert und der Meßwert (im

1-2-4-8-Code) ausgelesen. Außerdem werden die Geräte angesteuert, bei denen eine Spannung ausgelesen werden soll. Dazu wird das gleiche Adreßregister wie bei der Baugruppe 1 benutzt.

5.3.2.1.3. Baugruppe 3 zum Auslesen von Zählern

In dieser Baugruppe gibt es nur einen internen Teil, der die Zähler ansteuert und ausliest. Außerdem enthält die Baugruppe eine elektronische Schaltung, die es ermöglicht, die Zähler von der Rechenmaschine aus zu starten, zu stoppen und zu löschen, bzw. der Rechenmaschine mitzuteilen, ob die Zähler laufen oder angehalten wurden.

5.3.2.2. Logik zum Auslesen der Zähler

Die Zählimpulse der Szintillationszähler und des Cerenkov-Zählers werden über eine aus Diskriminatoren, Verzögerungs-Einheiten und Koinzidenzen bestehende Logik auf handelsübliche 25MHz-, 40MHz- und 100MHz-Zähler gegeben, die wiederum von der PDP angesteuert und ausgelesen werden können (1-2-4-2'-Code).

5.3.2.3. 2 Integratoren

Mit diesen beiden Integratoren wird die Ladung im FK und im SEM gemessen. Eine aufgeladene Ladung von $1 \mu\text{C}$ wird digitalisiert, sodaß ein digitalisierter Spannungsbetrag und ein an einem Meßinstrument angezeigter Restbetrag in die PDP einzulesen sind. Dazu wird der digitalisierte Teil auf einen Zähler gegeben, der Restbetrag über das DVM gelesen.

6. Das Programm 'EXSYS'

6.1. Anforderungen an ein Experimente-Programm

Die Entwicklung des Programms 'EXSYS' dauerte ungefähr ein Jahr. Während dieser Zeit wurde die Erfahrung gemacht, daß man an ein solches Experimente-Programm im wesentlichen folgende sieben Forderungen stellen muß:

(1) Durch den Einsatz einer Rechenmaschine und des zugehörigen Programms darf sich für den Experimentator keine Verschlechterung bezüglich der Sicherheit und des Ablaufs seiner Messungen ergeben.

Deshalb muß sichergestellt sein, daß beim Ausfall einer Rechenmaschine keine Meßdaten verlorengehen und das Experiment möglichst weiterlaufen kann. Dem wird in diesem Steuerungs-System dadurch Rechnung getragen, daß folgende Möglichkeiten geschaffen wurden:

Für den Fall, daß die IBM ausfällt, existiert ein autarkes Programm, das nur die PDP benutzt. Allerdings ist dieses Programm langsamer als das 'EXSYS' und kann nur die für das Experiment allerwichtigsten Arbeiten ausführen.

Für den Fall, daß die PDP ausfällt, können Magnetsteuerung und Zähler manuell bedient werden.

Rechnungen werden daraufhin untersucht, ob sie innerhalb gewisser Grenzen sinnvolle Ergebnisse geben.

Daten werden immer mehrfach aufbewahrt. So wird z.B. der Strom-Sollwert eines Magneten an 5 Stellen gespeichert (in Sollwertspeicher, im Relais-Zwischenspeicher der Fernsteuereinheit, im Kernspeicher der PDP, in der IBM und auf einem Magnetband).

Diese Forderung nach Sicherheit in allen Dingen ist wohl die wichtigste und muß auf jeden Fall erfüllt sein.

(2) Das Programm muß so schnell wie möglich arbeiten.

Da alle benutzten externen Geräte gegenüber der Auslesezeit verhältnismäßig lange Schaltzeiten haben, ist es erforderlich, daß mehrere Arbeiten gleichzeitig von der Rechenmaschine ausgeführt werden können, um die benötigte Wartezeit auszunutzen.

Das wurde durch Benutzung des im Anhang 1 beschriebenen Programms 'SUPERVISOR' erreicht.

(3) Man muß die Möglichkeit haben, das Programm über die durch die Kernspeichergröße von 8K vorgegebene Maximallänge hinaus ausdehnen zu können.

Das geschieht durch Segmentierung des Programms mit Hilfe des 'SUPERVISORS'. In den Kernspeicher brauchen jetzt nur noch die im Augenblick erforderlichen Programm-Segmente geladen zu werden. Durch diese Segmentierung werden nur 4K für Programm (Bank 0) gebraucht, 4K stehen für Datenpuffer (Bank 1) zur Verfügung.

(4) Das Programm und damit das Steuerungs-System müssen leicht zu bedienen sein.

Deshalb wäre es theoretisch am günstigsten, wenig Bedienungsmöglichkeiten zu haben, z.B. könnte man den Ablauf des Experimentes voll automatisieren.

(5) Der Experimentator muß den experimentellen Aufbau jederzeit den experimentellen Erfordernissen anpassen können. Bei unvorhergesehenen Ereignissen muß er daher über das Steuerungs-System an jeder Stelle des an die Rechenmaschine angeschlossenen experimentellen Aufbaus eingreifen können.

Diese Forderung widerspricht der Forderung (4) und verlangt einen Kompromiß zwischen (4) und (5). Es wird ein nicht zu starres Programm verlangt.

(6) Es darf nicht vorausgesetzt werden, daß Programm und Einzelheiten der Elektronik dem Experimentator genau bekannt sind.

Daher muß das Programm in sich so abgesichert sein, daß es auch bei groben Bedienungsfehlern nicht zerstört wird. Ein solches Experimente-Programm muß von Anfang bis Ende des Experimentes durchlaufen.

(7) Die beste Steuerung des Experimentes wird durch ein möglichst flexibles aber einfaches Zusammenspiel zwischen Bildschirm, Fernschreiber und Experimentator erreicht. Dabei muß ein ungeübter Experimentator die Übersicht behalten können, auch

wenn von der Rechenmaschine mehrere Arbeiten gleichzeitig ausgeführt werden.

Deshalb wird, während das 'EXSYS' läuft, möglichst immer auf dem Bildschirm angezeigt, was der Experimentator als nächstes zu tun hat, wobei oft mehrere Möglichkeiten zur Auswahl gestellt werden. Das ist aber nur innerhalb sinngemäß zusammengehörender Programmteile möglich. An den Stellen im Programm, von wo aus alle Teilprogramme des 'EXSYS' aufrufbar sind, muß sich der Experimentator nach einer Aufstellung der Codes, die zum Aufruf der Programme benutzt werden, richten (siehe Anhang 2). Alle diese Eingriffe in das Programm und alle Aufrufe von Teilprogrammen werden durch Drücken einer Taste auf dem Fernschreiber ausgelöst.

Manchmal sind Programmteile während eines gerade laufenden Programms nicht aufrufbar (hauptsächlich wegen der Segmentierung). Dann genügte es zwar zur Absicherung innerhalb des Programms, daß der Aufruf des Experimentators einfach ignoriert wird. Es hat sich aber als zweckmäßiger erwiesen, dem Experimentator außerdem noch auf dem Bildschirm mitzuteilen, warum sein Aufruf an das Programm nicht ausgeführt wird, und was er nun zu tun hat.

Fehler in den angeschlossenen Geräten oder bei den Rechnungen festgestellte vermutliche Fehler werden auf dem Bildschirm mitgeteilt. Dabei gibt es drei verschiedene Arten von Mitteilungen:

(a) Ein Fehler oder eine ungewöhnlich hohe Abweichung eines Istwertes vom Sollwert werden dem Experimentator mitgeteilt. Dieser hat nur die Kenntnisnahme zu bestätigen und kann den Fehler protokollieren. Die notwendigen Verbesserungen werden vom Programm erledigt.

(b) Es wird mitgeteilt, daß bei der Regelung oder beim Auslesen die notwendige Genauigkeit nicht erreicht wurde. Der Experimentator kann entscheiden, ob er wiederholen oder im Programm fortfahren will.

(c) Der Experimentator bekommt die Aufforderung, an den angeschlossenen Geräten etwas richtig einzustellen. Das Programm wartet auf die Ausführung und läßt sich erst dann fortsetzen.

Die 7 hier aufgestellten Forderungen an ein Experimente-Programm sind in 'EXSYS' ziemlich gut erfüllt.

6.2. Verteilung des Programms 'EXSYS' im Kernspeicher

Das Programm 'EXSYS' besteht aus 3 von ihren Aufgaben her verschiedenen Teilen:

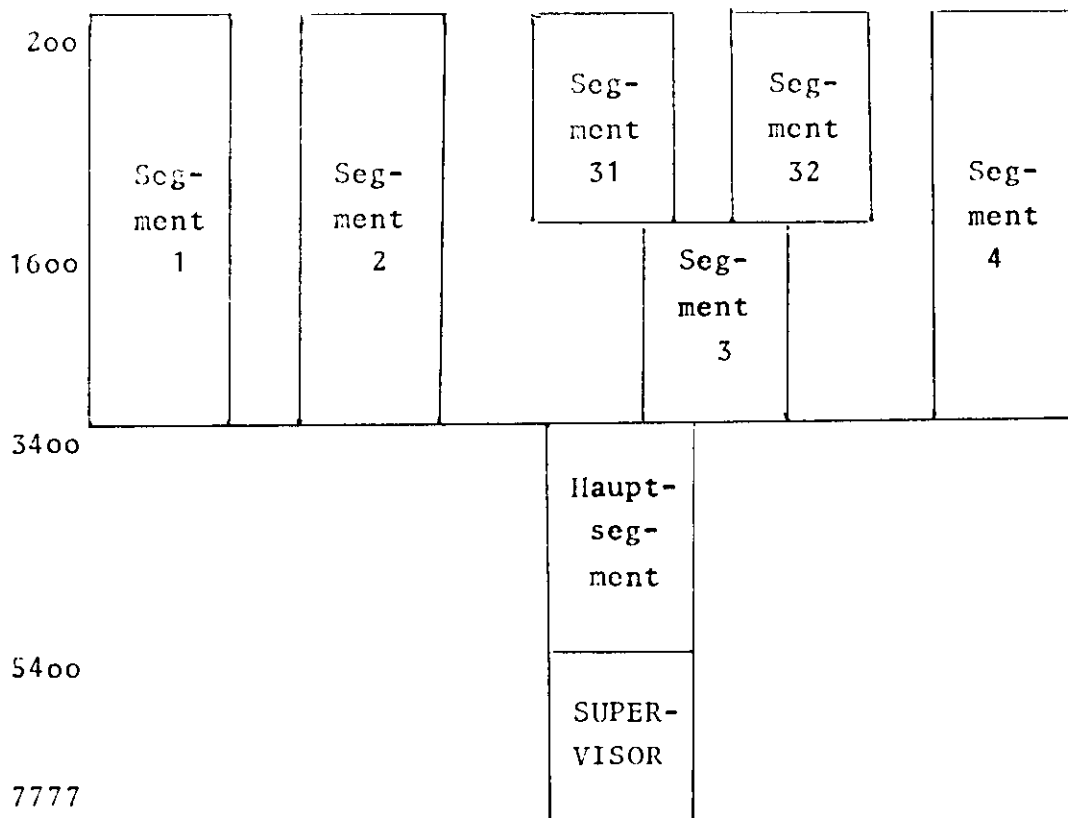
(1) Teil 1 zur Steuerung und Überwachung des experimentellen Aufbaus (Segmente 1, 31 (3)),

(2) Teil 2 zum Auslesen und Verarbeiten von Daten (Segmente 2, 32 (3), 4) und

(3) Teil 3, der die Gebrauchs-Programme, das sind Ein- und Ausgabe-Programme, Programme zur Steuerung von Kanälen, des Sichtanzeigegerätes usw, enthält. Dieser dritte Teil des 'EXSYS' ist größtenteils in 'SUPERVISOR', dessen allgemeine Form in Anhang 1 kurz beschrieben ist, enthalten (17).

Das Programm 'EXSYS' besteht aus 7 Segmenten:

(1) Bank 0:



Programm-Verteilung im Kernspeicher

(2) Bank 1: Diese Bank gehört vollständig zum Hauptsegment.

6.2.1. Haupt-Segment

Es enthält (a) die Ergänzungen zum 'SUPERVISOR',
(b) alle Datenpuffer,
(c) Programme, die jederzeit, unabhängig davon, welches Segment geladen ist, arbeitsfähig sein sollen und
(d) Unterprogramme, die in verschiedenen Segmenten gebraucht werden.

6.2.2. Segment 1

Dieses Segment wird beim Starten des 'EXSYS' als erstes geladen.

Es enthält (a) Programme zur Umwandlung von binären in BCD- und BCD- in binäre Zahlen (BCD-Zahl = Zahl im 1-2-4-8-Code),
(b) ein Programm zur Eingabe aller während der Experimente veränderlichen Parameter und
(c) die Steuerung des Transportsystems.

6.2.3. Segment 2

Es enthält (a) ein Programm zur Zuordnung von Zählernamen und Zählernummern und
(b) ein Programm zum Schreiben einer geeigneten Formatierung für den Ausdruck der Zählerinhalte.

6.2.4. Segment 3

In diesem Segment sind alle Programme enthalten, die als Unterprogramme in den beiden Untersegmenten (31 und 32) gebraucht werden. Außerdem findet man hier Programme, die im Segment 32 aufgerufen werden und weiterlaufen sollen, wenn Segment 31 geladen wird.

Das Segment 3 enthält (a) Ausgabe-Programme für die Schreibmaschine,
(b) ein Programm zum Messen von Spannungen mit dem DVM und
(c) ein Programm zum Auslesen der Zählerinhalte.

6.2.5. Segment 31

Es enthält das Programm zum Einstellen der Spektrometer-Magnete

und deren Nachregelung.

6.2.6. Segment 32

Die Initialisierung des Auslesens der Zählerinhalte, deren Aufbewahrung und das Berechnen von Ergebnissen wird in diesem Segment organisiert.

6.2.7. Segment 4

Es enthält ein Programm zum Übertragen der auf Magnetbänder geschriebenen Meßdaten an die IBM (nach der Meßzeit).

6.3. Das Hauptsegment

6.3.1. Elektronik und externe Geräte

Im Hauptsegment wird die Verbindung zwischen PDP und IBM kontrolliert und gesteuert. Das für den Benutzer Wesentliche daran ist die Datenübertragung in beide Richtungen. Die Datenübertragung kann von der PDP und von der IBM ausgelöst werden. Im ersten Fall wird dazu in der PDP der zur IBM-Verbindung gehörende Kanal aufgesetzt. Dadurch wird in der IBM ein Unterbrechungs-Signal erzeugt.

Für das dem PDP-Programm entsprechende Gegenprogramm in der IBM gibt es jetzt zwei Möglichkeiten:

(1) es steht im Warte-Zustand auf dieses Unterbrechungs-Signal und beginnt zu arbeiten, da es grundsätzlich die höchste Priorität in der IBM hat, oder

(2) es steht nicht im Kernspeicher sondern in einem Magnetplattenspeicher, da gerade das Programm einer anderen angeschlossenen Klein-Rechenmaschine arbeitet. Dann wird das gerufene Programm so schnell wie möglich geladen und beginnt zu arbeiten.

Beide Male wird durch Aufsetzen eines Kanals in der IBM der Weg zwischen PDP und IBM in den beiden Verteilern durchgeschaltet, und die Datenübertragung von der PDP zur IBM beginnt.

Die Länge des zu übertragenden Datenblocks kann in der PDP oder in der IBM vorgewählt werden. Einer der beiden Kanäle wird entsprechend abgeschaltet, dadurch die Datenübertragung gestoppt und die Verbindung PDP-IBM wieder unterbrochen. In der IBM wird jetzt das den Daten entsprechende Programm ausgeführt.

Wenn die IBM eine Datenübertragung initialisieren will (z.B. Ergebnisse an die PDP senden), erzeugt sie in der PDP ein Unterbrechungs-Signal, das dort innerhalb einer Sekunde durch Aufsetzen des Kanals beantwortet werden muß.

Die Richtung der Datenübertragung beim Aufsetzen der beiden Kanäle wird durch das Programm bestimmt. Daher ist es Angelegenheit des Programmierers, dafür zu sorgen, daß die Programme der PDP und der IBM zusammenpassen.

6.3.2. Programm

6.3.2.1. Kommunikation zwischen PDP und IBM

Im 'SUPERVISOR' sind die Unterprogramme enthalten, die die Datenübertragung übernehmen. Es brauchen im Benutzer-Programm nur noch die Richtung der Datenübertragung, der Datenpuffer im Kernspeicher und die Datenblocklänge angegeben zu werden. Unter Ausnutzung dieser Möglichkeit wurde ein im 'EXSYS' benutztes Unterprogramm 'CALLIBM' geschrieben. Es setzt voraus, daß bei Anruf der IBM stets zwei Datenübertragungen erfolgen, die erste von der PDP zur IBM, die zweite in umgekehrter Richtung.

Das erste Wort des zur IBM übertragenen Datenblocks dient zur Identifizierung des jeweils gerufenen Unterprogramms im IBM-Programm. Das erste Wort der "Antwort" (teilweise wird nur dieses eine zurückgeschickt) gibt an, ob im Programm der IBM ein Fehler auftrat oder eine Fehlergrenze überschritten wurde. Bei einem Fehler wird die zurückgeschickte Zahl als Fehlercode auf dem Bildschirm angezeigt (siehe Anhang 2). Außerdem wird der Fehlercode in einem Merkplatz aufbewahrt und kann dort vom Programm abgefragt werden.

Dieses Unterprogramm dauert einige ms bis 2 sec. Wenn das Unterprogramm zu lange läuft, wird ein Text sichtbar, der anzeigt, daß mit der Übertragung etwas nicht in Ordnung ist. Dann kann es sein, daß

- (1) die Schreibmaschine den Kanal blockiert, oder daß
- (2) die IBM ausgefallen ist.

Damit die rufende Programm-Aufgabe und damit das Experimente-Programm weiterarbeiten kann, kann das Unterprogramm durch Aufruf einer Systemfunktion fortgesetzt bzw. künstlich beendet werden.

Im Fall (1) wird der Kanal einfach freigegeben, und das Unterprogramm kann weiterarbeiten.

Im zweiten Fall wird abgefragt, in welchem Teil des Kanals und bei welcher Operation der Fehler auftrat. Diese Funktion des Kanals wird im Programm simuliert und dadurch 'CALLIBM' künstlich beendet. Es ist erst nach Aufruf einer weiteren Systemfunktion wieder benutzbar. Auf diese Weise kann das Experimente-Programm auch bei ausgefallener IBM weiter Zähler auslesen und steuern, natürlich ohne Rechnungen auf der IBM ausführen zu können.

6.3.2.2. Ergänzungen zu den Ein- und Ausgabe-Unterprogrammen des 'SUPERVISORS'

Im 'EXSYS' sind alle Namen von Zählern, Magneten usw. auf eine Länge von 6 Zeichen festgelegt worden. Dadurch kann die im 'SUPERVISOR' erforderliche Angabe der Textlänge wegfallen, wodurch 25% Kernspeicherplatz gespart werden. Es gibt ein spezielles Ausgabe-Unterprogramm 'TEXT6' im Hauptsegment zur Ausgabe dieser Namen. Weiter gibt es ein Unterprogramm 'BCD', mit dem im BCD-Code gespeicherte doppelt-genaue Zahlen unter Angabe der Kommastelle ausgegeben werden können.

6.3.2.3. Verarbeitung von Unterbrechungs-Signalen

In Hauptsegment werden alle Unterbrechungs-Signale der speziell in diesem experimentellen Aufbau benutzten externen Geräte in der in Anhang 1 beschriebenen Weise identifiziert und bearbeitet.

6.3.2.4. Organisation der Unterprogramme für 'DISPLAY'

Für die Anzeige von Texten auf dem Sichtanzeigegerät ist im 'SUPERVISOR' das Programm 'DISPLAY' enthalten (siehe Anhang 1). In 'EXSYS' werden die notwendigen Text-Unterprogramme aber nicht direkt diesem Programm 'DISPLAY' mitgeteilt, sondern es werden zwei Arten von Texten unterschieden:

(1) Texte, die dem Experimentator auf jeden Fall mitgeteilt werden müssen (z.B. Fehlermeldungen). Wenn diese Texte nicht sofort angezeigt werden können, wird gewartet, bis ihre Anzeige möglich ist.

(2) Texte, die zu einer aktiven Programm-Aufgabe gehören und nicht unbedingt sichtbar werden müssen.

Die Organisation der Anzeige dieser zwei Textarten übernimmt das Programm 'CHLOOP' im Hauptsegment.

6.3.2.5. Unterprogramme für 'DISPLAY'

Im Hauptsegment sind die Unterprogramme für 'DISPLAY' enthalten, die in mehreren Segmenten benutzt werden. Es sind

(1) 'DISCNT' zur Anzeige der Zählerinhalte, das auch beim Schreiben eines Formates für den Zählerausdruck benutzt wird.

(2) 'MAGLOP', das für die Anzeige der Magnet-Soll- und -Ist-Werte des Spektrometers und des Transportsystems gebraucht wird.

6.3.2.6. Laden eines anderen Segmentes des 'EXSYS'

Bei einem Segmentwechsel wird zunächst im gerade geladenen Segment geprüft, ob alle Programmteile einen Zustand erreicht haben, der ihr Löschen erlaubt. Erst dann wird das Unterprogramm 'SWIEX' im Hauptsegment gerufen, das, nachdem es noch geprüft hat, ob alle Textanzeigen und -ausdrücke des geladenen Segmentes beendet sind, das Neuladen ausführt. Laufen noch Textausdrücke auf der Schreibmaschine oder dem Fernschreiber, wird das Neuladen nicht ausgeführt, und der Experimentator bekommt eine Fehlermitteilung auf dem Bildschirm.

6.3.2.7. Protokollieren des Experimente-Ablaufs

Durch den Aufruf einer Systemfunktion ist es möglich, alle auf dem Bildschirm angezeigten Texte in zeitlich richtiger Reihenfolge auf dem Fernschreiber auszudrucken. Der Text wird auch dann richtig zu Ende ausgedruckt, wenn auf dem Bildschirm bereits ein anderer Text steht. Tabellen, die ausgedruckt werden, lassen sich während des Ausdrucks nicht verändern.

Länger dauernde Programm-Aufgaben im 'EXSYS' lassen sich durch Systemfunktionen abbrechen, damit der Experimentator schnell andere Programm-Segmente laden kann, wenn er irgendwo über das Steuerungs-System in experimentellen Aufbau eingreifen muß. Deshalb können auch alle Textausdrücke abgebrochen werden.

6.4. Segmente 1 und 31

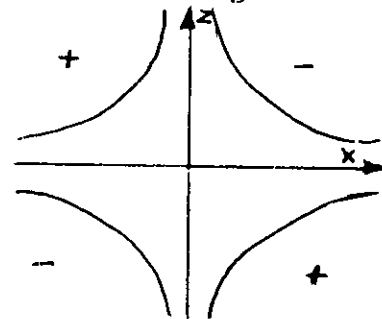
6.4.1. Elektronik und externe Geräte

Das Programm der Segmente 1 und 31 dient zur Steuerung der Magnete des Spektrometers und des Transportsystems. Die Magnete, die während der Experimente benutzt wurden, waren standardmäßig am Deutschen Elektronen-Synchrotron gebrauchte Quadrupole (3 Typen: QA, QB und QD) und Ablenkmagnete (2 Typen: MA und MB) (19).

6.4.1.1. Quadrupole

Für alle verwendeten Quadrupole gilt in guter Näherung für den Feldgradienten g:

$$\begin{aligned} B_x &= gz \\ B_z &= gx \\ \text{mit } g &= \partial B_x / \partial z = \partial B_z / \partial x = \text{const.} \\ \vec{B} &\text{ ist das Feld in der} \\ &\text{Apertur des Quadrupols.} \end{aligned}$$



Die Quadrupole wirken als Linsen. Die für die einzelnen Quadrupole benötigten Linsenstärken k wurden auf der Analog-Rechenmaschine berechnet. Der Zusammenhang zwischen g und k für Teilchen mit der Ladung 1 ist folgender (18):

$$g = kp / 2.9987, \text{ wo } g \text{ in kGauß/cm,} \\ k \text{ in m}^{-2},$$

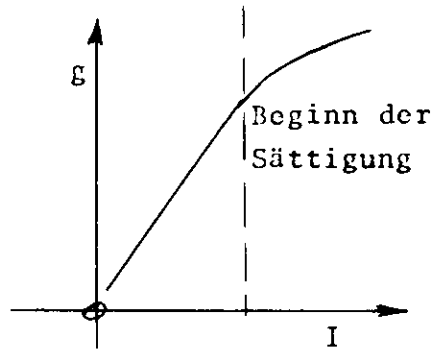
und p = Impuls der Teilchen in GeV/c.

Um das wahre k zu erhalten, muß man das auf der Analog-Rechenmaschine berechnete k mit dem Faktor $b = l_{\text{eff}} / l_m$ multiplizieren. Dabei ist:

l_{eff} = wahre Länge des Quadrupols,

l_m = auf der Analog-Rechenmaschine angenommene Länge des Quadrupols.

Der Feldgradient g hängt vom Strom in den Spulen des Magneten ab. Der Zusammenhang ist linear bis die Magnete bei höheren Strömen in die Sättigung kommen.



In linearen Teil gilt:

$$I = ag = a \frac{p \cdot k_m \cdot l_{eff}}{2.988 \cdot l_m}$$

Die (g,I)-Diagramme der einzelnen Magnettypen sind bekannt. Es läßt sich also bei vorgegebenem k der Strom I des Magneten für einen bestimmten Impuls der Teilchen berechnen.

6.4.1.2. Ablenkmagnete

Bei den Ablenkmagneten hängt das Feld \vec{B} vom vorgegebenen Impuls p der Teilchen und dem gewünschten Ablenkwinkel ϕ ab. Es gilt:

$$B = 0.582 \phi p / l_{eff} \quad \text{mit } B \text{ in kGauß,}$$

$$\phi \text{ in Grad,}$$

$$p \text{ in GeV/c}$$

$$\text{und } l_{eff} \text{ in m.}$$

Damit läßt sich aus p und ϕ bei bekanntem (B,I)-Diagramm der Stromwert des Magneten berechnen. Bis zum Bereich beginnender Sättigung ist der Zusammenhang zwischen B und I linear: $I = aB$.

6.4.1.3. Genauigkeit der Magnetsteuerung

Da im Transportsystem und im Spektrometer die Quadrupole und Ablenkmagnete auch im Bereich beginnender Sättigung benutzt werden müssen, ist die Berechnung von I nach den Beziehungen $I = ag$ bzw. $I = aB$ nicht genau genug. Deshalb wird die Berechnung stattdessen mit einem Polynom der Form

$$I = a_1 g + a_2 g^8 + a_3 g^{10} + a_4 g^{12} + a_5 g^{14}$$

$$\text{bzw. } I = a_1 B + a_2 B^8 + a_3 B^{10} + a_4 B^{12} + a_5 B^{14}$$

ausgeführt. g und B werden aus dem vorgegebenen Impuls berechnet.

Die Koeffizienten des Polynoms sind nach der Methode der kleinsten Quadrate den durch genaue Feldmessungen ermittelten Wertepaaren im (g,I)- bzw. (B,I)-Diagramm angepaßt. Die Abweichung der berechneten von den gemessenen Stromwerten ist auch bei hohen Feldern kleiner als 0.4%. In Abb. 4 sind diese Abweichungen für die verschiedenen Magnettypen angegeben. Die Konstanten a_i sind in der Tabelle 1 aufgeführt:

Typ	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
QA	1358.7	108.22	-4.7605	74.831	0 +)
QB	761.19	-0.61416	0.88392	-0.12930	0
QD	762.01	0.64354	0.26509	0	0.012518
MA	698.27	0.084480	0.0023327	0.0041116	0
MB	615.61	0.10352	-0.013466	0	0.0010687
MB	614.06	0	0.10750	-0.039378	0.0050760

Tab.1: Polynom-Konstanten für die Magnetstrom-Berechnung

(+) Anmerkung: mit diesen Polynom-Konstanten muß für Magnete vom Typ QA bei der Berechnung von g $k/10$ statt k eingesetzt werden!)

Von der Genauigkeit, mit der man den Impuls p' der gestreuten Elektronen mißt, hängt die Genauigkeit des gemessenen Wirkungsquerschnitts ab, da der Impulsübertrag $-q^2$ unter anderem aus p' bestimmt wird. In Abb.5a sind die Faktoren angegeben, mit denen der prozentuale Fehler von p' zur Berechnung des prozentualen Fehlers des Rosenbluth-Wirkungsquerschnitts multipliziert werden muß. Für den Rosenbluth-Wirkungsquerschnitt wurde dabei die Gültigkeit der Dipol-Formel und des Proportionalitäts-Gesetzes angenommen. Die Faktoren wurden nur für den (p',Θ) -Bereich berechnet, in dem mit dem Spektrometer gemessen werden kann. Dieser Bereich ist begrenzt durch:

(1) Maximal- und Minimalwinkel Θ , auf den das Spektrometer eingestellt werden kann,

(2) maximales p' für jeden Winkel, das durch die vorgegebene Maximalenergie E_0 der einfallenden Elektronen von 6 GeV bestimmt wird und

(3) Maximalgrenzen des Stroms der Magnete von 1500A.

Der Bereich, in dem gemessen werden kann, ist in Wirklichkeit

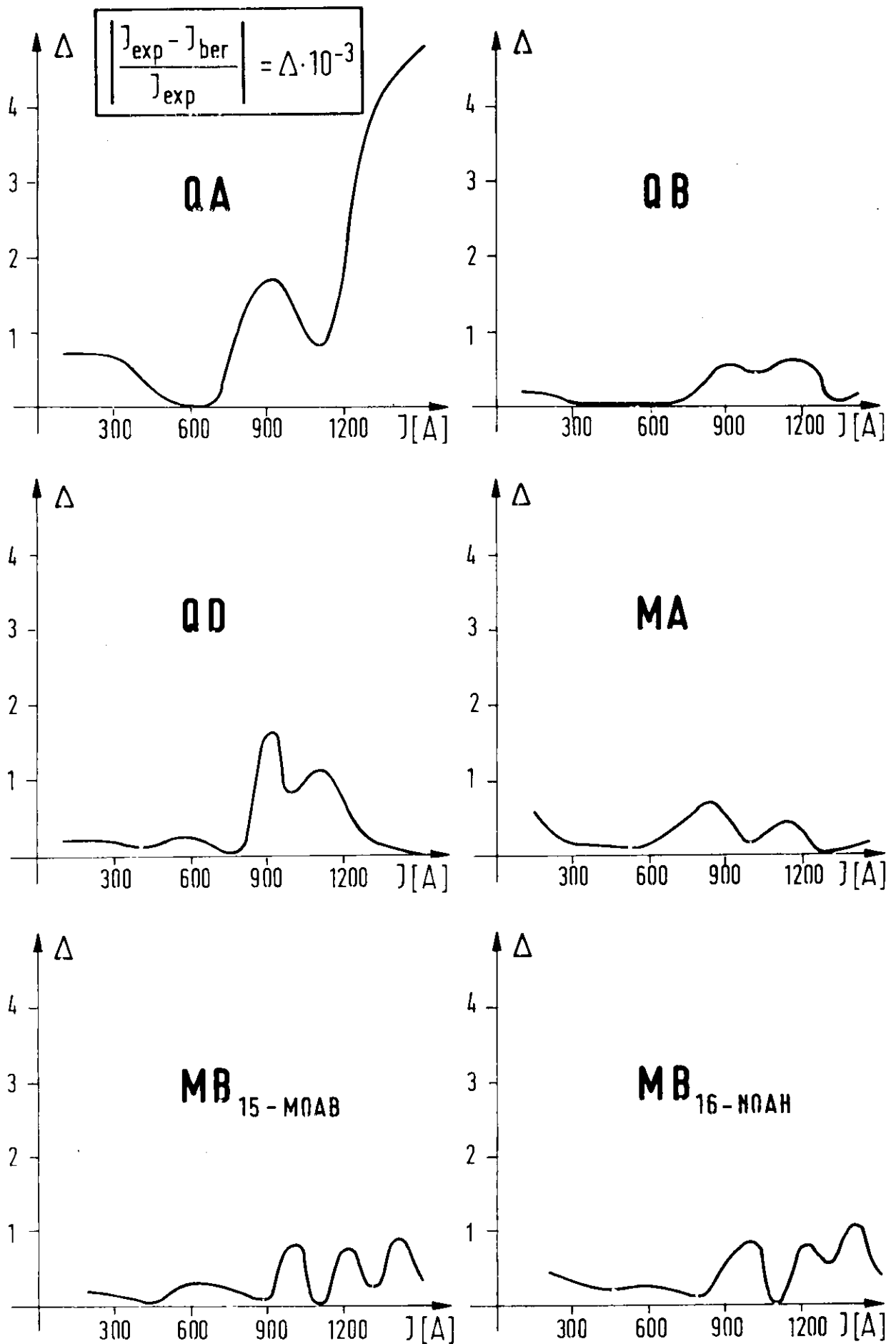
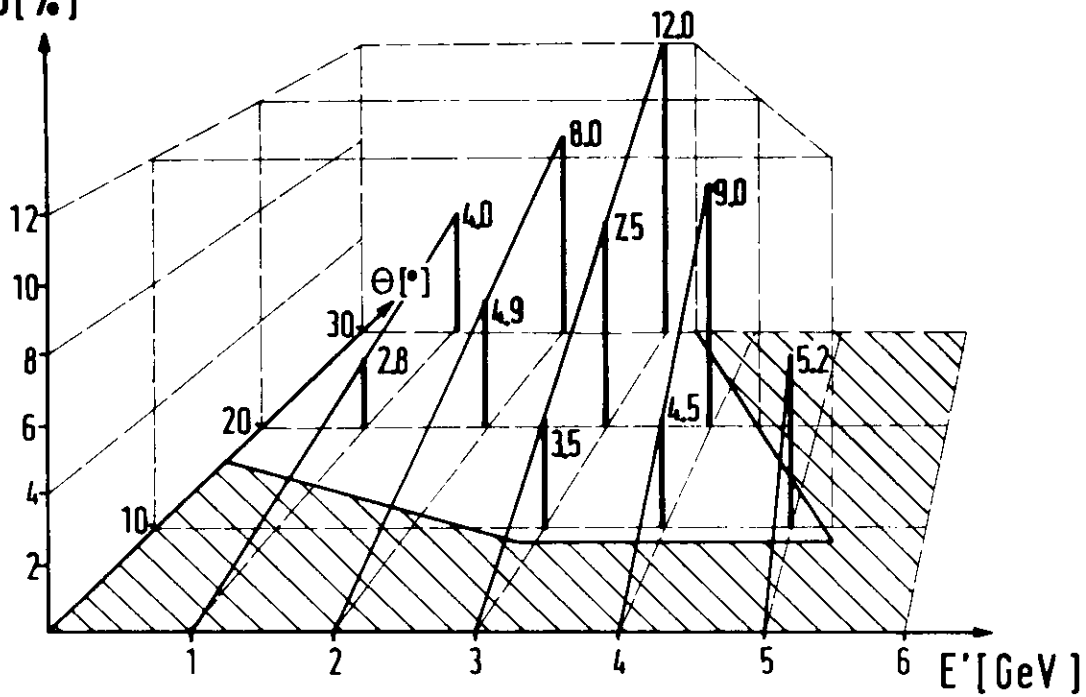
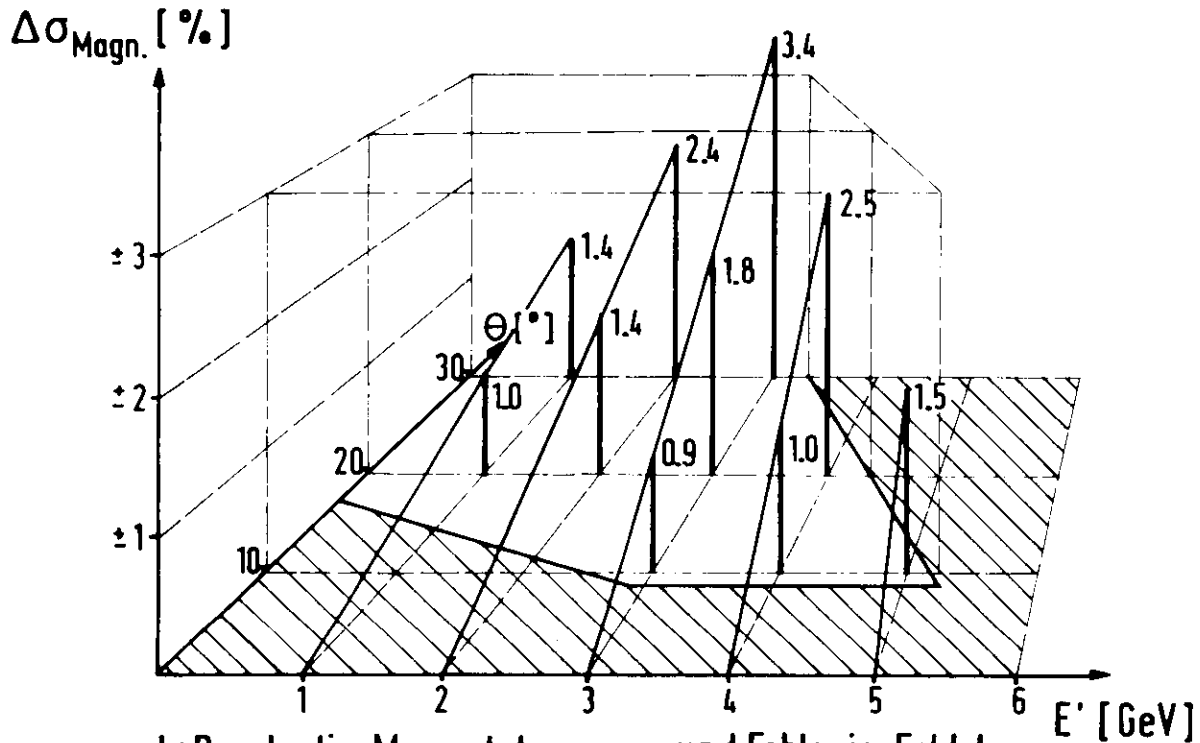


Abb. 4 Fehler der berechneten Stromsollwerte

$$F = \frac{\Delta\sigma[\%]}{\Delta p[\%]}$$



a) Verhältnis des Fehlers im Rosenbluth-Wirkungsquerschnitt zum Fehler in der gemessenen Elektronenenergie E' .



b) Durch die Magnetsteuerung und Fehler im Feld der Magneten bewirkter Fehler im Rosenbluth - Wirkungsquerschnitt.

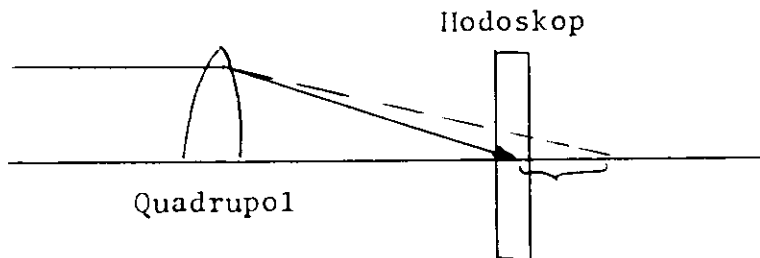
Abb. 5

Prozentuale Fehler im Rosenbluth-Wirkungsquerschnitt im Winkel-Impuls-Bereich des Spektrometers

noch kleiner, da in einigen Teilbereichen Experimente wegen der zu geringen Zählrate ausgeschlossen sind, und weil es auch eine Minimalgrenze für E_0 gibt, unterhalb der das Synchrotron für die Ejektion nicht stabil genug ist.

Die berechneten Faktoren liegen im meßbaren Bereich zwischen 3 und 12. Deshalb ist es von großer Wichtigkeit festzustellen, welchen Beitrag die Ungenauigkeit der Magnetsteuerung und des Feldes zum Fehler in der Impulsbestimmung gibt. Dazu muß abgeschätzt werden, wie genau die Felder in den einzelnen Magneten eingestellt werden können.

Bei den Quadrupolen sind Fehler im Feld unterhalb 0.5% zu vernachlässigen. Fehler bei den Quadrupolen bewirken eine Verschiebung des Fokus in Richtung des Strahls, ergeben also eine



Verschiebung des Fokus durch Ungenauigkeiten im Feld eines Quadrupols

Verringerung der Auflösung durch Impulsverschmierung am Hodoskop, die gegenüber anderen Fehlern nicht ins Gewicht fällt.

Sehr kritisch sind Feldabweichungen in den 3 Ablenkmagneten, da deren Feld proportional zu Ablenkwinkel und Impuls ist.

Bei der Abschätzung des Fehlers im Feld der Ablenkmagnete sind folgende Fehlerquellen zu berücksichtigen:

(1) Die dem gewünschten Feld entsprechenden Strom-Sollwerte haben den in Abb. 4 angegebenen Fehler.

(2) Die (I,B)-Diagramme berücksichtigen nicht die Remanenz der Magnete. Der Fehler durch die Remanenz beträgt im linearen Teil des Diagramms bis zu 0.1%, im Bereich beginnender Sättigung bis zu 0.2%.

(3) Die (I,B)-Diagramme werden im allgemeinen für einen Magnettyp, nicht aber für den einzelnen Magneten angegeben. Dadurch kann für jeden Magneten noch eine Abweichung von der gegebenen Kurve von 0.1% auftreten. Für die einzelnen

Ablenkmagnete des Spektrometers liegen aber besondere Kurven vor, dieser Fehler ist also zu vernachlässigen.

(4) Die Ströme der Magnete werden durch Messung der Spannung an einem Präzisionswiderstand überprüft. Die Angaben der Widerstandswerte sind auf 0.03% genau. Die Widerstände hängen etwas von der Temperatur ab, wodurch ein relativer Fehler von 0.01% auftreten kann.

(5) Das digitale Voltmeter, mit dem die Spannung gemessen wird, ist über Stecker, Umschalter und lange Leitungen mit dem Widerstand verbunden. Die Messung ist daher nur auf 0.01% genau.

(6) Die Magnetströme werden nur auf 0.05A genau eingestellt.

Unter Berücksichtigung dieser Fehlerquellen wurde der durch Ungenauigkeiten in der Magnetsteuerung und im Feld bewirkte Fehler $\Delta \sigma_{\text{Magn}}$ im Rosenbluth-Wirkungsquerschnitt für den Winkel-Impuls-Bereich des Spektrometers berechnet (siehe Abb.5b). Er liegt zwischen 0.9% und 3.4%, die Messungen erfolgten allerdings alle in einem Bereich, wo der Fehler kleiner als 1.5% war.

6.4.1.4. Einzelheiten der Elektronik für die Magnetsteuerung

In der in 5.2.4. beschriebenen Art werden die einzelnen zu den Magneten gehörenden Fernsteuereinheiten angesteuert (siehe Abb.6). 5 ms nach dem Einstellen der Adresse gelangt ein Unterbrechungs-Signal vom internen Teil der elektronischen Zwischenstufe in die PDP. Dann wird vom Programm mit einem Verzweigungs-Befehl abgefragt, ob inzwischen eine Rückmeldung von der Fernsteuereinheit eingetroffen ist. Bedingung für das Eintreffen dieser Rückmeldung ist nicht nur, daß die im Adreßregister vom Programm vorgegebene Adresse vorhanden ist, sondern zu der betreffenden Einheit müssen auch +24V vom Magnetversorgungsgerät her durchgeführt sein. Dazu muß

- (1) der Schalter an der Einheit auf PDP-Betrieb stehen,
- (2) die Verbindung zwischen Versorgungsgerät und dieser Einheit durchgeschaltet sein und
- (3) der Magnet eingeschaltet sein.

Die von der PDP in das Stromsollwert-Register des internen Teils der Baugruppe 1 eingegebenen Strom-Sollwerte liegen über eine 18-adrige Ringleitung gleichzeitig an allen Einheiten an. Durch einen IOT-Impuls werden sie mit Hilfe einer Und-Schaltung in das

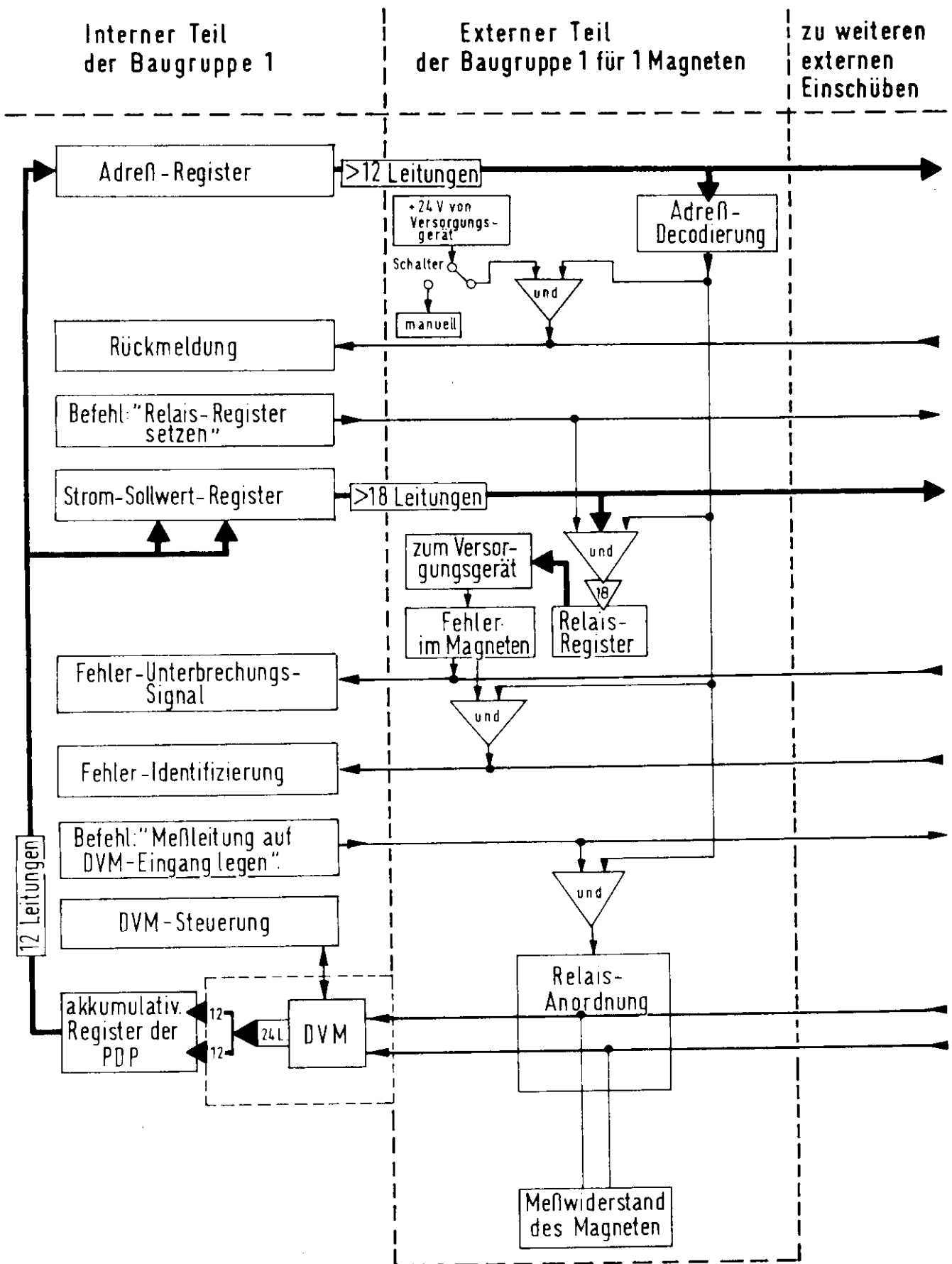


Abb. 6 Elektronik für die Magnetsteuerung (Blockdiagramm)

Relaisregister der durch das Adreßregister angewählten Einheit eingelesen. Dadurch wird der entsprechende Magnet auf den Sollwert eingestellt.

Die Relais benötigen einige Zeit zum Schalten. In dieser Zeit darf das Adreßregister noch nicht verändert werden, d.h. das Programm darf sicherheitshalber erst nach dieser Zeit weiterarbeiten. Deswegen wird 30 ms (zweifache Schaltzeit der Relais) nach dem IOT-Impuls ein Unterbrechungs-Signal ausgelöst. Auf dieses Unterbrechungs-Signal muß das Programm warten.

Fehler an den Magneten und den Stromversorgungsgeräten (z.B. Übertemperatur, Überströme usw) bewirken ein Unterbrechungs-Signal in der PDP. Die Beantwortung erfolgt durch ein Programm. Die Antwort besteht darin, daß alle Zähler gestoppt, die Messung also beendet wird. Durch eine Und-Schaltung zwischen Adreßleitung und Fehlerleitung läßt sich auch der jeweils fehlerhafte Magnet mit einem Verzweigungs-Befehl identifizieren.

Eine durch alle Einheiten geführte zweiadrige Leitung ist mit den Eingangsklemmen des DVM verbunden. Mit einem IOT-Befehl wird über eine Und-Verknüpfung mit der Adreßleitung ein Relais angesteuert. Damit die Elektronik ausreichend Zeit zum Durchschalten hat, darf dieser IOT-Befehl erst 5 ms nach dem Einstellen der Adresse gegeben werden. Das Relais schaltet die Meßleitung des Meßwiderstandes des angesteuerten Magneten auf die Meßleitung des DVM.

Das DVM wird durch einen IOT-Impuls gestartet und meldet sich nach dem Messen der Spannung mit einem Unterbrechungs-Signal zurück. Über 24 Datenleitungen werden in 2 Schritten Polarität, Meßbereich und die digitalisierte Meßgröße direkt in das akkumulative Register der PDP eingelesen.

6.4.2. Programm des Segmentes 1

6.4.2.1. Starten des Programms 'EXSYS'

Beim Starten des Programms wird zunächst ein Unterprogramm durchlaufen, das nur dann aufgerufen wird, wenn das Segment 1 zum ersten Male geladen wird. Es liefert auf dem Bildschirm Anweisungen und Fragen an den Experimentator, die dieser auf dem Fernschreiber bestätigen bzw. beantworten muß. Dieses Programm gibt dem Experimentator eine Aufstellung der Tätigkeiten, die vor Beginn der Messungen an der PDP zu erledigen sind. Die bereits vorhandenen Texte lassen sich einfach ergänzen und abändern. Beim evtl. erforderlichen Neustarten des Programms kann hier außerdem dafür gesorgt werden, daß auf den Datenbändern die nächsten Daten richtig an die alten anschließen.

Bei Beendigung dieses Unterprogramms werden alle während des Experimentes veränderlichen Datenpuffer in den Zustand gebracht, den sie vor dem Stoppen des 'EXSYS' hatten. Dazu werden sie vom Magnetband 2, auf dem die Kopien aller Datenpuffer stehen, eingelesen.

Dieses Unterprogramm geht automatisch in das Programm zur Parameter-Eingabe (siehe 6.4.2.2.) über, damit nach jedem Starten des 'EXSYS' dem Experimentator der Zustand des Programms noch einmal bekannt wird.

6.4.2.2. Unterprogramm für die Parameter-Eingabe

Dieses Unterprogramm ist zur Eingabe von Dezimalzahlen in das 'EXSYS' geeignet. Es können Zahlen mit maximal 6 Ziffern unter Angabe der Kommastelle über den Fernschreiber in den Kernspeicher geschrieben werden. Der Experimentator kann dabei auf dem Bildschirm lesen, was er schreibt, und Schreibfehler sofort verbessern.

Da alle Parameter für Rechnungen an die IBM übertragen werden, genügt es, sie dort in die für Rechnungen benötigten Gleitkommazahlen umzuwandeln. In der PDP stehen sie zunächst in einem für Rechnungen ungeeigneten Format (sogenanntes "message"-Format). Die Idee dieser Regelung, die für das gesamte 'EXSYS' gilt, ist, auf der PDP das Programm so einfach und kurz wie möglich zu machen und für Rechnungen und Format-Konversionen die viel schnellere und leistungsfähigere IBM zu benutzen.

In der IBM werden alle Parameter zur Sicherheit in einem Magnetplattenspeicher aufbewahrt, damit sie nach einem Ausfall der IBM wieder in den Kernspeicher geladen werden können.

Parameter werden in diesem Segment in drei unabhängigen und einzeln aufrufbaren Unterprogrammen eingelesen:

(1) Eingabe von Konstanten, Grenzen und Programm-Marken für die Auswerte- und Rechenprogramme.

Dieser Teil der Parameter-Eingabe mußte sehr flexibel gehalten werden, da die hier eingegebenen Parameter für das Experiment spezifisch sind. Durch wenige Befehle lassen sich Anzahl und Zuordnung der erwarteten Zahlen abändern.

(2) Eingabe von p' und β zur Berechnung der Strom-Sollwerte für die Magnete des Spektrometers.

Es werden p' und β der gegenwärtigen Messung und die p' - und β -Werte, für die die nächste Magneteinstellung berechnet ist, auf dem Bildschirm angezeigt.

Die letzteren lassen sich unabhängig voneinander abändern. Sofort nach Eingabe eines neuen Wertes werden automatisch die neuen Sollwerte für die Magnete in der IBM mit den in Tab.1 angegebenen Polynomen berechnet. Damit ist sichergestellt, daß jederzeit die den p' - und β -Werten entsprechenden Sollwerte im Kernspeicher stehen. Diese Werte werden auf dem Bildschirm sichtbar. Bei Beendigung dieses Unterprogrammes werden die letzten berechneten Werte zur Sicherheit auf das Magnetband 2 kopiert.

(3) Eingabe von p_0 zur Berechnung der Strom-Sollwerte für die Magnete des Transportsystems.

Diese Parameter-Eingabe findet innerhalb des Programms für die Steuerung des Transportsystems statt und entspricht der Eingabe von p' und β .

6.4.2.3. Steuerung des Transportsystems (Abb.7)

Mit diesem Steuerprogramm kann der Experimentator bestimmen, welcher Magnet auf welchen Wert gesetzt werden soll.

Wird das Steuerprogramm zum ersten Male aufgerufen, so erwartet es zunächst die Eingabe eines p_0 für das Transportsystem. Mit diesem p_0 werden in der IBM die Strom-Sollwerte für die Magnete des Transportsystems berechnet. An allen angeschlossenen Magneten werden diese Werte sofort eingestellt.

Zur Optimalisierung des Strahls können jetzt vom Fernschreiber

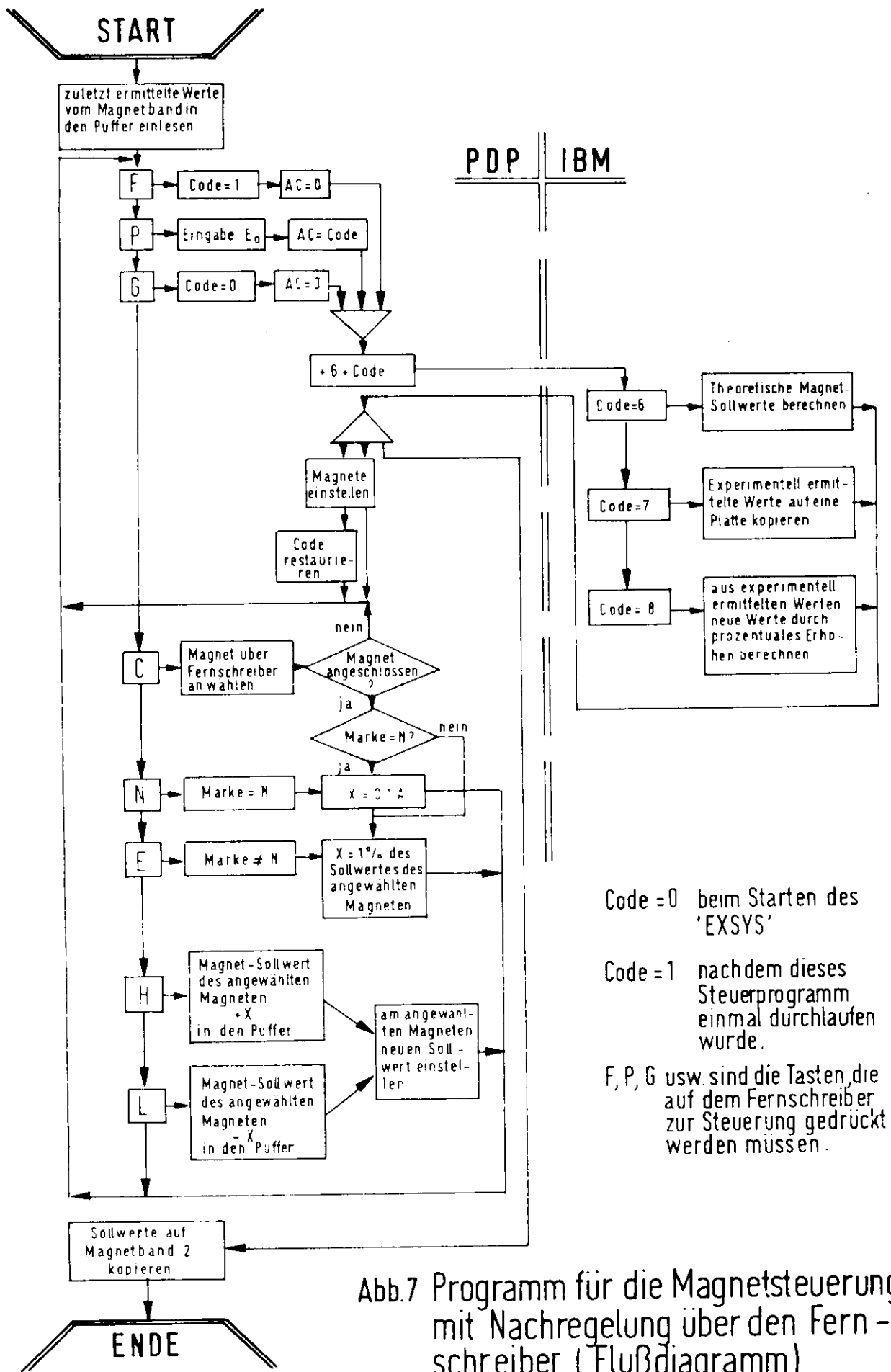


Abb.7 Programm für die Magnetsteuerung mit Nachregelung über den Fernschreiber (Flußdiagramm)

aus einzelne Magnete, die nachgeregelt werden sollen, angewählt werden. Die Nachregelung erfolgt durch schrittweises Erhöhen oder Erniedrigen der Strom-Sollwerte. Wahlweise können Einzelschritte durch Drücken einer Taste oder kontinuierliches Nachregeln mit 10 Schritten/sec ausgelöst werden. Bei jedem Schritt wird der Sollwert im Datenpuffer verändert und der Magnet sofort auf diesen Wert eingestellt.

Die Schrittgröße ist veränderlich. Man kann wählen zwischen:

"normal": bei jedem Schritt wird um 0.1 A verändert,

"extrem": bei jedem Schritt wird um 1% des Sollwertes verändert.

Die Prozentrechnungen müssen in der PDP erfolgen, da bei 10 Schritten/sec die Datenübertragung zwischen PDP und IBM nicht schnell genug ist. Für diese Rechnungen müssen die in 1-2-4-8-Code (BCD) gespeicherten Sollwerte in Binärzahlen umgewandelt werden. Dazu dienen zwei spezielle Umwandlungsprogramme, die BCD- in binäre Zahlen und binäre in BCD-Zahlen umwandeln.

Auf dem Bildschirm werden immer die Werte angezeigt, auf die die Magnete gerade eingestellt sind.

Beim Nachregeln kann es passieren, daß man sich weit von den theoretischen Werten entfernt hat, ohne daß der Strahl optimalsiert ist. Dann beginnt man am besten noch einmal von vorn und setzt die Magnete auf ihre theoretischen Sollwerte. Das kann durch eine Taste auf dem Fernschreiber bewirkt werden.

Wenn der Strahl optimalsiert ist, wird das Steuerprogramm beendet. Dabei werden die experimentell ermittelten Sollwerte zur Aufbewahrung von der PDP auf das Magnetband 2 und von der IBM in einen Magnetplattenspeicher geschrieben.

Soll das Transportsystem für eine andere Elektronenenergie eingestellt werden (zweiter und weitere Aufrufe des Steuerprogramms), so bewirkt die Eingabe von p_0 ein lineares Erhöhen der experimentell ermittelten Sollwerte im Verhältnis $p_{0,i+1} / p_{0,i}$ (i =Anzahl der Einstellungen des Transportsystems). Es werden also nicht die theoretischen Sollwerte berechnet. Das hat den Vorteil, daß die so berechneten Werte den endgültigen näherkommen als die theoretischen, das Nachregeln also schneller beendet und leichter ist.

Für die Ablenkmagnete im Transportsystem werden immer die theoretischen Werte berechnet, da diese Magnete die Energie im

Transportsystem definieren und nicht nachgeregelt werden dürfen.
Die Nachregelung dieser Magnete vom Programm her wird im Programm
selbst verhindert.

6.4.3. Programm des Segmentes 31

Programme der Segmente 31 und 32 benutzen Unterprogramme aus dem Segment 3. Es soll aber im Folgenden nicht gesondert erwähnt werden, in welchem Segment die einzelnen Unterprogramme zu finden sind.

6.4.3.1. Einstellen des Spektrometers (Abb.8)

In diesem Steuerprogramm geschieht das Einstellen der einzelnen Magnete in gleicher Weise wie bei den Magneten des Transportsystems. Das Steuerprogramm für das Spektrometer ist aber dadurch viel umfangreicher, daß die Spektrometer-Magnete vom Programm automatisch nachgeregelt werden.

Für jeden Magneten des Spektrometers ist eine Programm-Marke vorgesehen. Diese Marke zeigt an, ob der Magnet vom Programm überhaupt gesteuert werden kann, bzw. ob seine Nachregelung bereits beendet ist. In beiden Fällen wird der betreffende Magnet vom Programm nicht mehr angesprochen. Die Programmierung mit diesen Programm-Marken kann einen Zeitgewinn bedeuten, denn bei den nicht angeschlossenen Magneten fällt auf diese Weise die wiederholte Wartezeit (5 ms) auf die Rückmeldung weg.

Beim Starten des Steuerprogramms werden zunächst die Programm-Marken der einzelnen Magnete gesetzt und die angeschlossenen Fernsteuereinheiten auf die in Segment 1 berechneten Sollwerte eingestellt. Dadurch fließen in den Magneten Ströme (Istwerte), die nicht genau den an den Fernsteuereinheiten eingestellten (Einstellwert) entsprechen. Der Unterschied kommt durch die Ungenauigkeit der Digital-Analog-Wandler in den Stromversorgungsgeräten der Magnete zustande. Das Programm sorgt jetzt dafür, daß Istwert und berechneter Sollwert übereinstimmen.

Das Nachregeln beginnt nach 3 sec. Diese 3 sec Wartezeit sind notwendig, damit die Magnetströme bei großen Änderungen den Istwert erreichen können, bevor an dem Meßwiderstand die Spannung abgelesen wird.

Das Auslesen der Spannungen an den Meßwiderständen zur Messung des Istwertes läuft folgendermaßen ab: Nachdem die Meßleitung des jeweiligen Magneten auf die Meßleitung des DVM durchgeschaltet ist, wird die Spannung zweimal gemessen. Bei jedem Auslesen wird vom Programm untersucht, ob am DVM der falsche Meßbereich

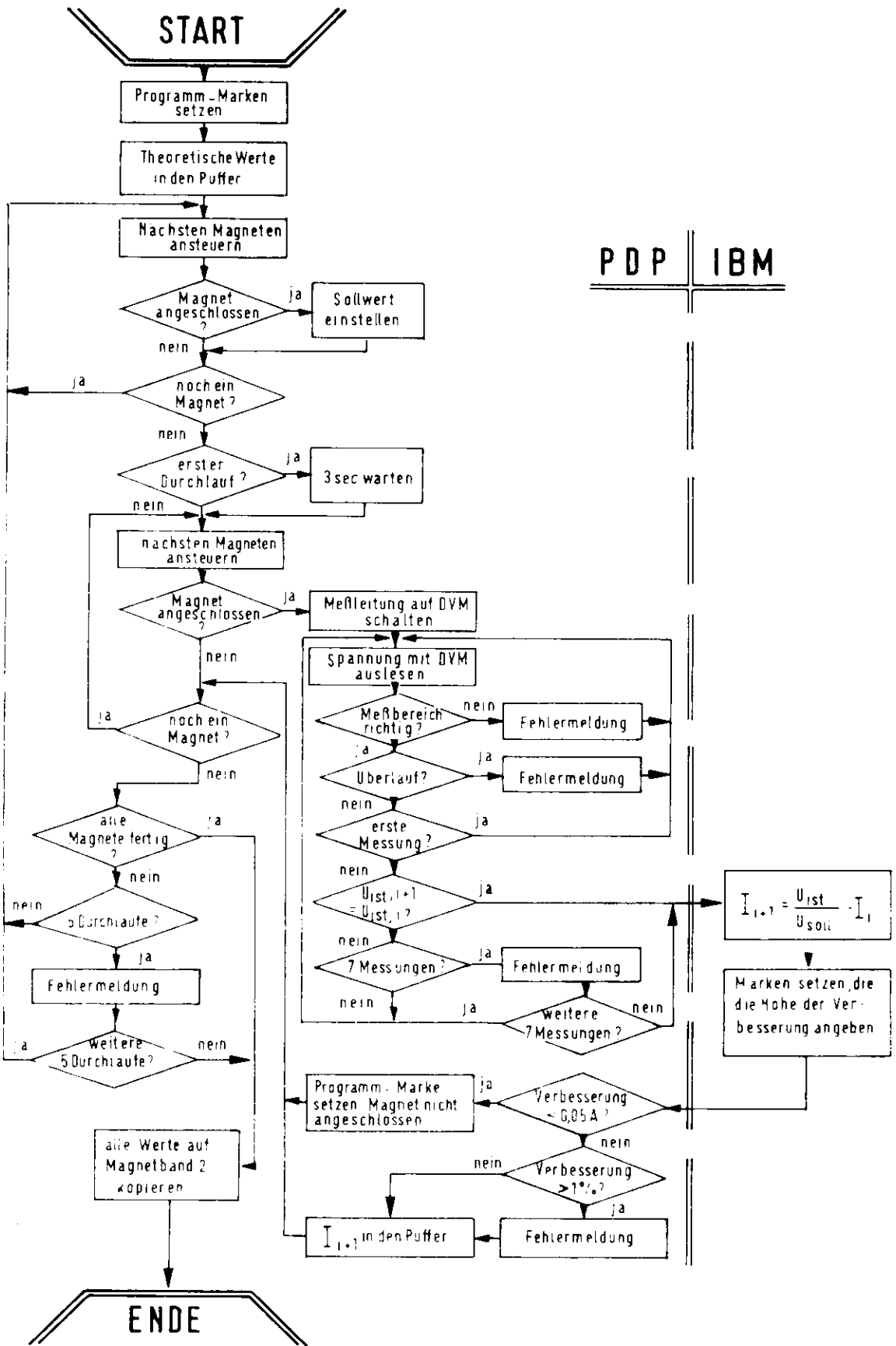


Abb. 8 Programm für die Magnetsteuerung mit automatischer Nachregelung (Flußdiagramm)

eingestellt ist, und ob die zu messende Spannung für den Meßbereich zu hoch war. Beides wird durch eine Fehlermitteilung angezeigt.

Die beiden gemessenen Spannungswerte werden verglichen. Bei Übereinstimmung wird der Wert als endgültiger Meßwert genommen, anderenfalls wird ein weiterer Wert ausgelesen und mit dem zweiten verglichen. Gewöhnlich ist nach zwei- oder dreimaligem Auslesen Übereinstimmung erreicht. Konnte nach siebenmaligem Auslesen immer noch kein endgültiger Meßwert ermittelt werden, so erhält der Experimentator eine Fehlermitteilung auf dem Bildschirm, weil vermutlich die zu messende Spannung nicht stabil ist. Es werden dabei unter anderem die letzten beiden Meßwerte angezeigt, und der Experimentator kann entscheiden, ob er den letzten als endgültigen Wert nehmen will, oder ob er weitere 7 Messungen (maximal) durchführen will.

In der IBM wird mit dem gemessenen Spannungswert U_{gem} durch Vergleich mit dem in Segment 1 berechneten Spannungswert U_{ber} aus dem Einstellwert I_E ein neuer Strom-Sollwert I_S berechnet. Weicht I_S weniger als 0.05A von I_E ab, so wird in der PDP für den betreffenden Magneten die Programm-Marke gesetzt, die seine Nachregelung beendet. Weicht I_S mehr als 1% von I_E ab, so erfolgt eine Fehlermitteilung an den Experimentator, denn eine Nachregelung von mehr als 1% ist ungewöhnlich hoch. I_S wird nach Bestätigung dieser Fehlermitteilung trotzdem als neuer Strom-Sollwert in den Datenpuffer eingetragen.

Sind alle Strom-Sollwerte neu berechnet, so werden die Magnete auf diese Werte eingestellt, und ein neuer Durchlauf der Nachregelung beginnt, wobei die 3 sec Wartezeit nicht notwendig sind, denn die neuen Sollwerte weichen nicht wesentlich von den vorherigen ab.

Nach jedem Durchlauf wird untersucht, ob noch irgendwelche Magnete nachzuregeln sind. Wenn nicht, wird das Steuerprogramm abgebrochen, und der Experimentator bekommt die Mitteilung "fertig".

Wenn nach 5 Durchläufen immer noch Magnete nachzuregeln sind, wird das Steuerprogramm unterbrochen, und der Experimentator kann entscheiden, ob er weiter nachregeln will, oder ob die erreichte Genauigkeit ausreichend ist. Dazu wird während des Regelvorgangs laufend auf dem Bildschirm für alle Magnete angezeigt:

- (1) letzter verbesserter Strom-Sollwert,
- (2) in Segment 1 berechneter Spannungs-Sollwert und
- (3) gemessener Spannungs-Istwert (wenn der Magnet nicht angeschlossen ist, steht an Stelle des Spannungs-Istwertes "keine Kontrolle" auf dem Bildschirm!).

6.4.3.2. Überprüfen des Spektrometers

Elektrische Schaltungen in den Magnetversorgungsgeräten sorgen dafür, daß der Magnetstrom auf $\pm 0.02\%$ stabilisiert wird. Dadurch ist ein prinzipiell mögliches kontinuierliches Überprüfen der Magnetströme durch Messen der Spannung an den Meßwiderständen nicht erforderlich, wenn die Magnete innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit neu eingestellt werden, was während der Experimente meist der Fall war. Zur Zeit wäre auch nur ein Vergleich der Meß- und Sollwerte mit evtl. daraus folgender Alarmmeldung möglich. Das kontinuierliche Nachregeln eines Magneten während der Messungen ist nicht durchführbar, weil bei Änderung der Einstellung die Magnetströme kurzzeitig von unkontrollierbarer Größe sind.

Deshalb ist in 'EXSYS' eine Überprüfung des Spektrometers, d.h. ein Auslesen der Spannungen an den Meßwiderständen, nur durch expliziten Aufruf einer Systemfunktion möglich. Zum Auslesen dienen Unterprogramme des Spektrometer-Steuerprogramms.

6.5. Segmente 2 und 32

6.5.1. Elektronik und externe Geräte

6.5.1.1. Zähler (Abb.9)

Die Einzelimpulse der Szintillationszähler S1 bis S6 und des Gas-Schwellen-Cerenkov-Zählers C werden registriert. Außerdem werden zwischen S1 bis S6 und C verschiedene Koinzidenzen (zweifach bis siebenfach) gebildet. Mit diesen Koinzidenzen mißt man die Ereignisraten und überprüft die Funktionsfähigkeit der Szintillationszähler und des Spektrometers. Zusätzlich ist jede Koinzidenz um 50 nsec verzögert, um Zufallereignisse nachweisen zu können. Auch die Zählraten der Koinzidenzen werden in Zählern registriert.

Neben den in Abb.9 gezeigten Zählern zur Identifizierung der Elektronen existieren an den kritischen Punkten des Spektrometers Szintillationszähler, aus deren Zählrate die Lage des Elektronenstrahls im Spektrometer abgelesen werden kann.

Zusammen mit den für das Auslesen der Integratoren und als Uhr benutzten Zählern, sind nach jeder Messung insgesamt etwa 85 auszulesen. Jedem Zähler kann durch Schalter oder Nummernstecker eine Adresse zwischen 1 und 99 fest zugeordnet werden.

6.5.1.2. Einzelheiten der Elektronik für das Auslesen der Zähler (Abb.10)

Zentraler Punkt der Steuerlogik für Starten, Stoppen und Löschen der Zähler ist der "Zähler-Flip-Flop", der eine langsame Torschaltung der Zähler steuert. Der Zähler-Flip-Flop kann durch IOT-Befehle, durch von außen kommende Impulse der angeschlossenen Geräte und durch Druckknöpfe gesteuert werden. Beim Setzen des Zähler-Flip-Flops wird ein Start-Flip-Flop und beim Löschen ein Stop-Flip-Flop gesetzt. Die beiden Flip-Flops erzeugen, wenn sie gesetzt werden, ein Unterbrechungs-Signal in der PDP. Ebenfalls ein Unterbrechungs-Signal bewirkt der "Automatik-Flip-Flop", der durch Druckknopf bzw. IOT-Impuls gesetzt werden kann, wenn die Zähler gestoppt sind. Die drei Unterbrechungs-Signale werden zum Initialisieren von Bearbeitungsprogrammen benutzt.

Durch eine Und-Schaltung wird sichergestellt, daß Zähler nicht während einer Messung gelöscht werden können. Neben der für die

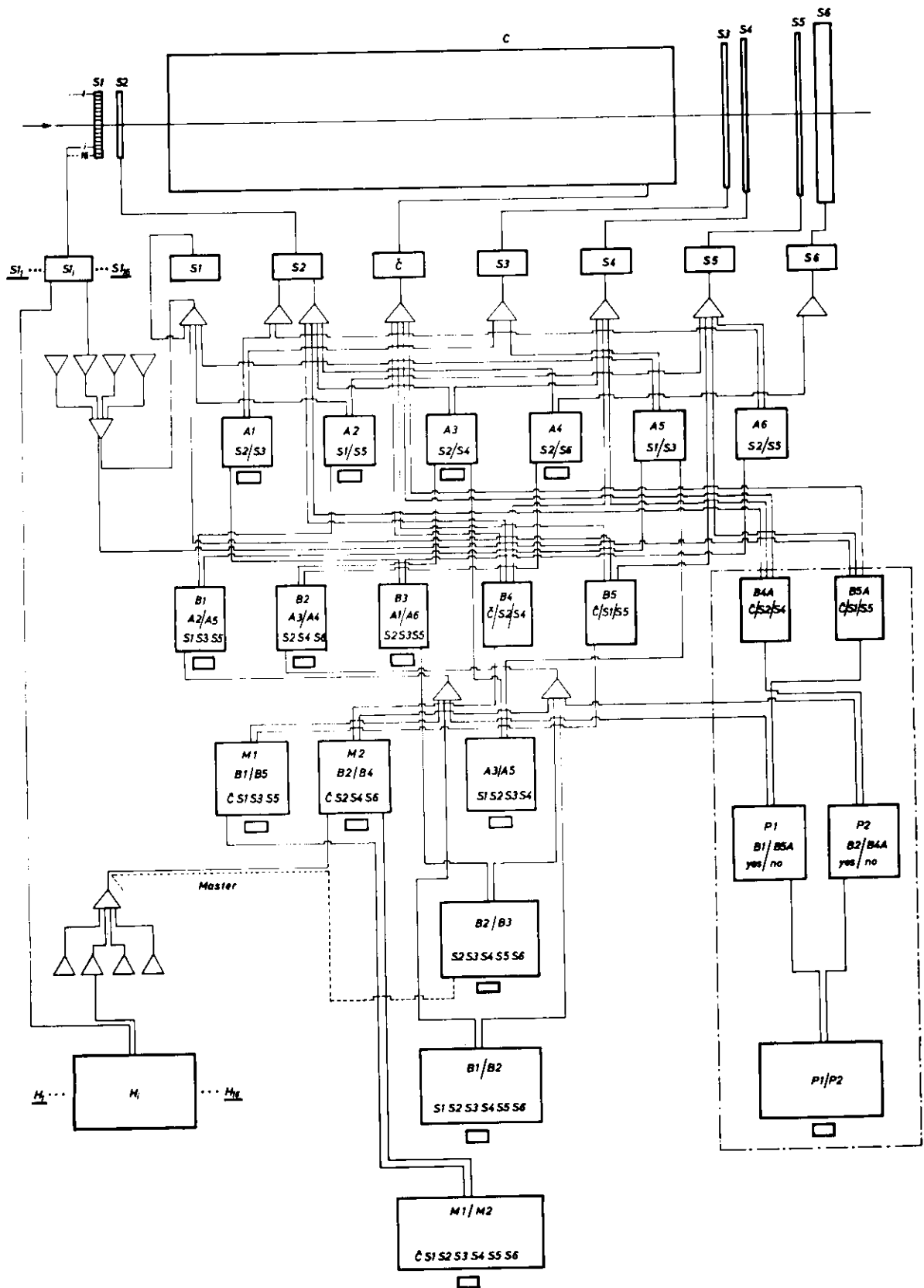


Abb.9 Aufbau der Zähler - Logik

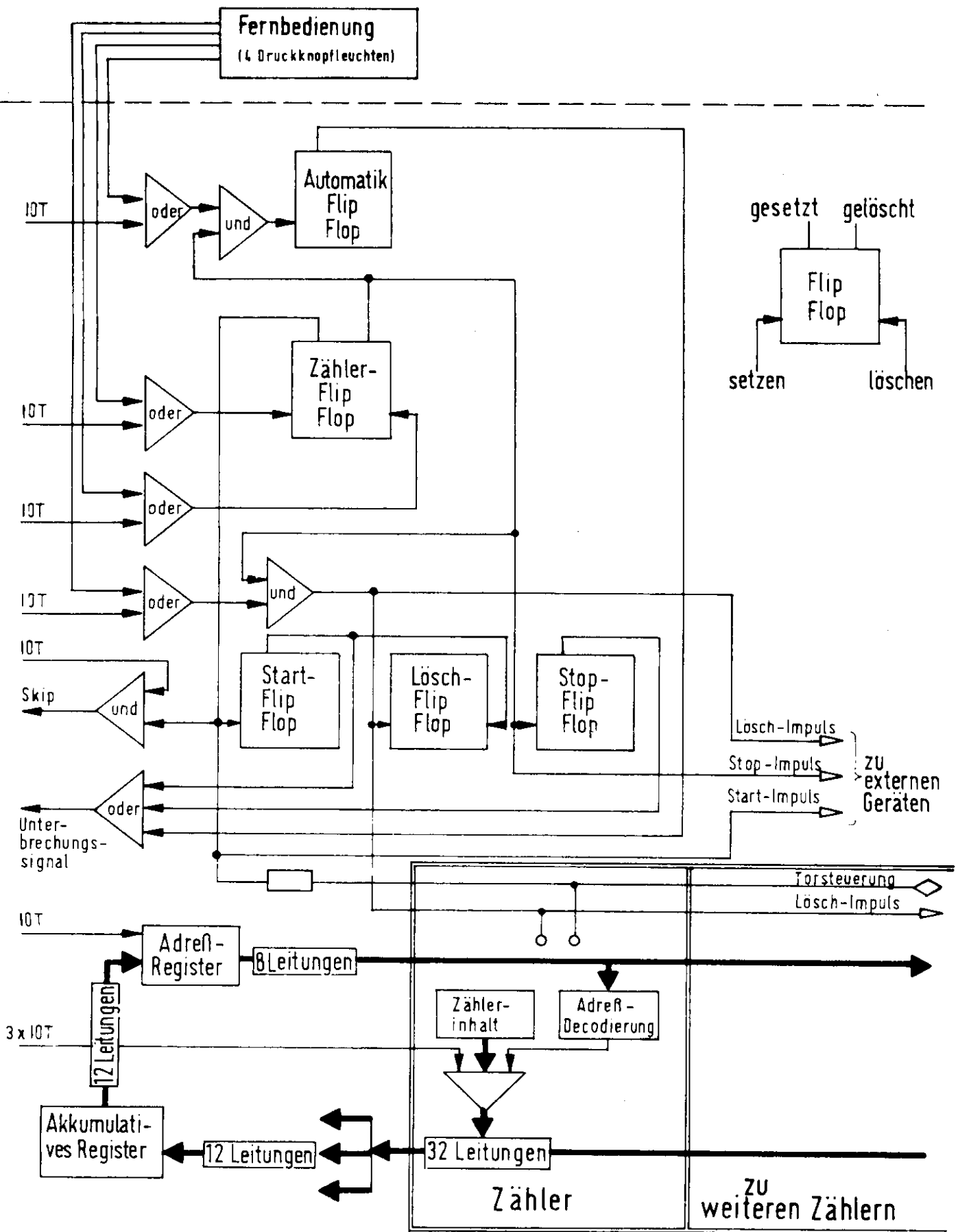


Abb.10 Elektronik für das Auslesen der Zähler (Blockdiagramm)

Steuerung der Torschaltungen durch alle Zähler geführten Leitung, gibt es eine zweite Leitung, über die alle Zähler gleichzeitig durch einen Impuls gelöscht werden können. Für anderes experimentelles Zubehör, das Impulse zum Starten und Stoppen benötigt (z.B. die Integratoren), sind die Start- und Stop-Leitungen noch einmal gesondert hinausgeführt. So kann sämtliches angeschlossene experimentelle Zubehör gleichzeitig von der PDP aus gestartet und gestoppt werden, ebenso aber, da die Leitungen ringförmig durch die angeschlossenen Geräte geführt sind, auch von jeder anderen Stelle in dieser Leitung, z.B. von den Integratoren aus.

Zum Auslesen werden die Zähler in der bereits beschriebenen Weise angesteuert. Das hier benutzte Adreßregister ist als Dezimalzähler gebaut, sodaß es vom akkumulativen Register aus gesetzt und durch einen IOT-Impuls hochgezählt werden kann. Mit IOT-Impulsen lassen sich jeweils 3 Dekaden des angesteuerten Zählers direkt in das akkumulative Register einlesen. Normalerweise werden bei den benutzten Zählern 2 Schritte zum Auslesen benötigt. Die elektronische Zwischenstufe ist so ausgelegt, daß bis zu 9 Dekaden ausgelesen werden können.

6.5.2. Programm des Segmentes 2

6.5.2.1. Zuordnen von Zähleradressen und Namen

Bei der Vielzahl der auszulesenden Zähler ist es schwierig, auf den Schreibmaschinen-Ausdrucken den Inhalt eines bestimmten Zählers zu finden, auch wenn, wie es konventionelle Ausleseeinheiten tun, neben den Inhalt die Zähleradresse gedruckt wird. Viel übersichtlicher wird der Ausdruck, wenn stattdessen neben den Inhalten die Namen stehen, mit denen die Zähler in Zeichnungen (siehe z.B. Abkürzungen in Abb.9.) oder in Experimentbeschreibungen bezeichnet sind. Dazu muß jeder Zähleradresse ein Name zugeordnet werden.

Weil diese Zuordnung von Namen und Adressen im Verlaufe verschiedener Experimente nicht fest bleibt, ist im 'EXSYS' ein Programm 'IDENTIFIER' enthalten, mit dem Namen über den Fernschreiber eingegeben werden können. Der Experimentator kann dabei auf dem Bildschirm sehen, welche Zähleradresse diesen Namen erhalten wird. Bei Beendigung des Unterprogramms wird die neue Namentabelle auf das Magnetband 2 zur Aufbewahrung kopiert.

6.5.2.2. Formatierung des Ausdrucks

Die Zähleradressen geben gewöhnlich nicht die Reihenfolge an, in der man die Zählerinhalte ausdrucken möchte. Um den Ausdruck überschaubar zu machen, kann der Experimentator daher mit dem Unterprogramm 'FORMAT' angeben, wie er die Zählerinhalte auf einem DINA4-Blatt verteilen will. Ihm stehen 25 Zeilen mit je 4 Zählerplätzen zu Verfügung.

Das Schreiben des Formats kann auf dem Bildschirm verfolgt werden. Dort ist ein Pfeil sichtbar, der mit Hilfe von Systemfunktionen über den Bildschirm geschoben werden kann. Auf dem Bildschirm wird dabei ein Abbild des Ausdruckformates gezeigt, und der Pfeil zeigt auf einen der 100 möglichen Plätze im Format. In den Platz, auf den der Pfeil zeigt, kann vom Fernschreiber her eingegeben werden, welcher Zählerinhalt dort später eingetragen werden soll. War die gleiche Zähleradresse schon an anderer Stelle eingetragen, so wird sie dort automatisch gelöscht.

Man kann keine Standard-Liste für den Ausdruck vorgeben, da man nicht immer alle Zählerinhalte ausdrucken will (z.B. bei

Untergrundmessungen oder beim Messen von Verzögerungskurven). Auch will man während der Messungen oft verschiedene Formate benutzen. Deshalb besteht die Möglichkeit bis zu 5 verschiedene Formate auf dem Magnetband 2 aufzubewahren. Durch eine Systemfunktion kann das jeweils gewünschte Format in den Kernspeicher geladen werden.

Auch wenn nicht alle Zähler ausgedruckt werden, werden dennoch immer alle Zählerinhalte in den Kernspeicher eingelesen und auf den Datenband aufbewahrt, damit nach dem Experiment grundsätzlich alle Daten zur Bearbeitung zur Verfügung stehen.

6.5.3. Programm des Segmentes 32

6.5.3.1. Organisation der Zählerauslese (Abb.11)

Der Experimentator hat zwei Möglichkeiten, das Auslesen der Zähler zu initialisieren:

- (1) durch einen Tastendruck nach dem Ende der Messung (Automatik-Flip-Flop wird gesetzt) oder
- (2) durch eine Systemfunktion.

Während die Taste nur bei gestoppten Zählern wirkt und ein einmaliges Auslesen nach der Messung bewirkt, kann die Systemfunktion jederzeit aufgerufen werden.

Die Zählerinhalte werden ununterbrochen ausgelesen und auf dem Bildschirm angezeigt, wenn die Systemfunktion während einer Messung gerufen wurde. Durch dieses kontinuierliche Auslesen kann der Experimentator auch während der Messung die momentanen Zählraten aller Zähler mit einem Blick erfassen, was bei langen Messungen von großer Wichtigkeit ist. Das Stoppen der Zähler beendet das kontinuierliche Auslesen.

Ein Aufruf der Systemfunktion nach einer Messung hat zunächst die gleiche Wirkung wie ein Tastendruck. Der Unterschied zwischen beiden besteht darin, daß beim Tastendruck nach dem Auslesen automatisch auch noch alle folgenden Bearbeitungsprogramme aufgerufen und abgewickelt werden.

Das Organisationsprogramm enthält verschiedene Sicherungen: so sind die einzelnen Puffer gegen Überladen geschützt. Es ist sichergestellt, daß nach jeder Messung nur einmal ausgelesen werden kann, und daß kein Unterprogramm neu initialisiert werden kann, wenn es noch nicht beendet ist.

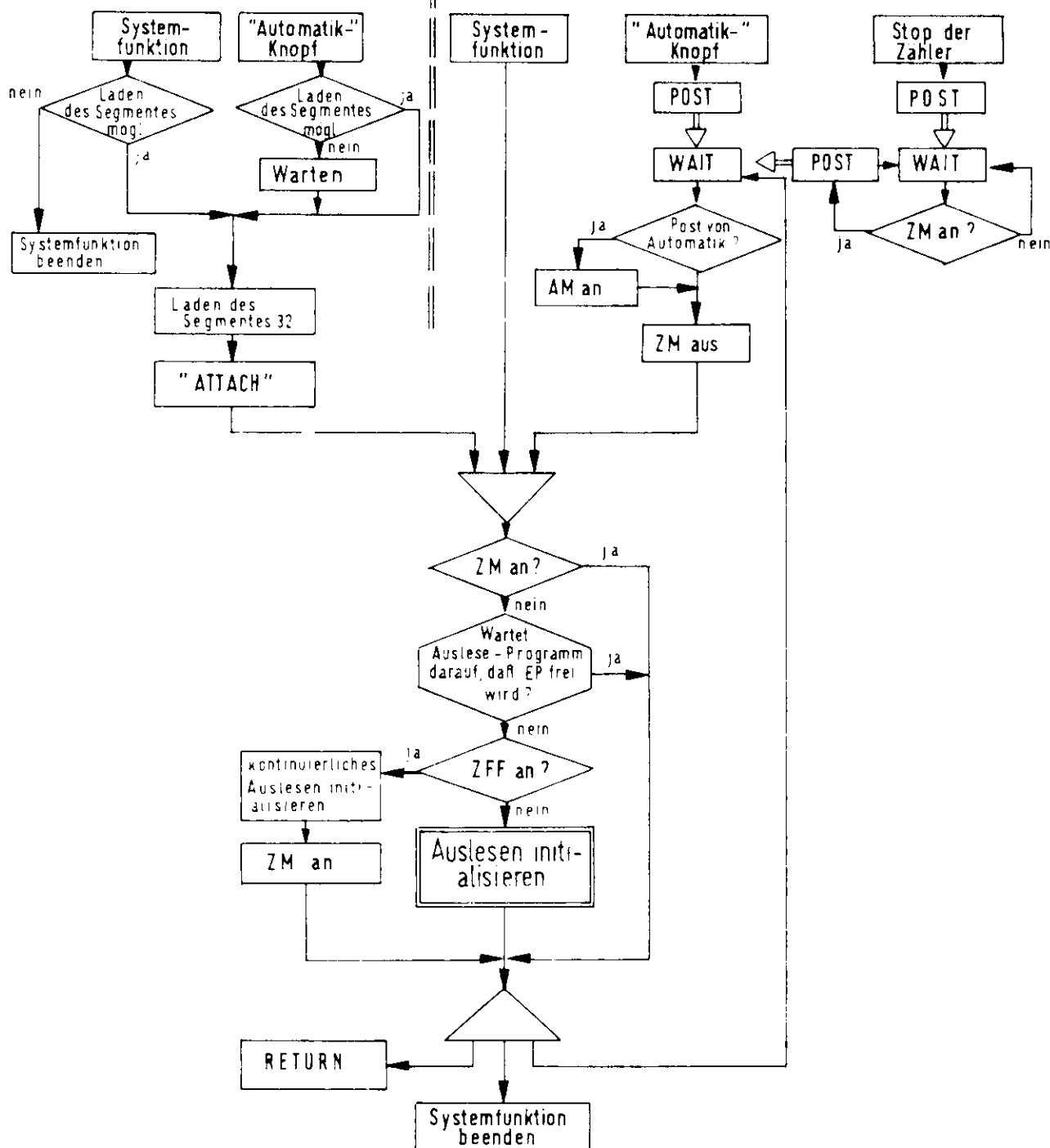
Die allgemeine Forderung, daß der Aufruf einer Systemfunktion oder ein Tastendruck unabhängig vom derzeitigen Zustand des Programms im Kernspeicher immer die gleiche Wirkung haben soll, komplizierte die Programmierung in diesem Teil des 'EXSYS' wesentlich. An mehreren Stellen im Programm wurde das Problem dadurch gelöst, daß der Experimentator die Aufforderung erhält, das derzeitig laufende Teilprogramm so schnell wie möglich zu beenden, damit die Zähler ausgelesen werden können.

6.5.3.2. Auslesen der Zähler (Abb.12)

Damit auch einzelne extrem kurze Messungen den Ablauf des

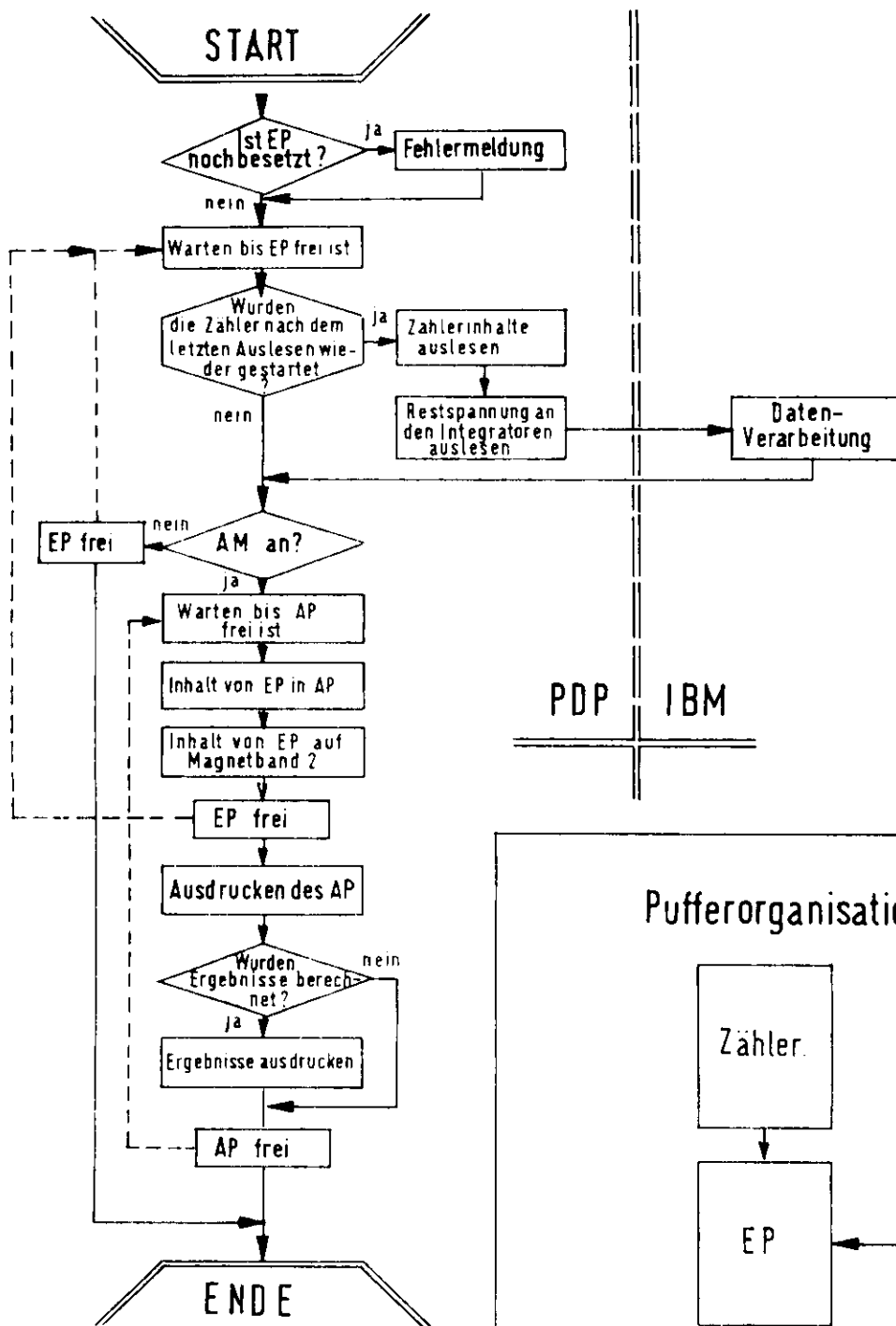
Wenn Segment 32 nicht geladen ist

Wenn Segment 32 geladen ist



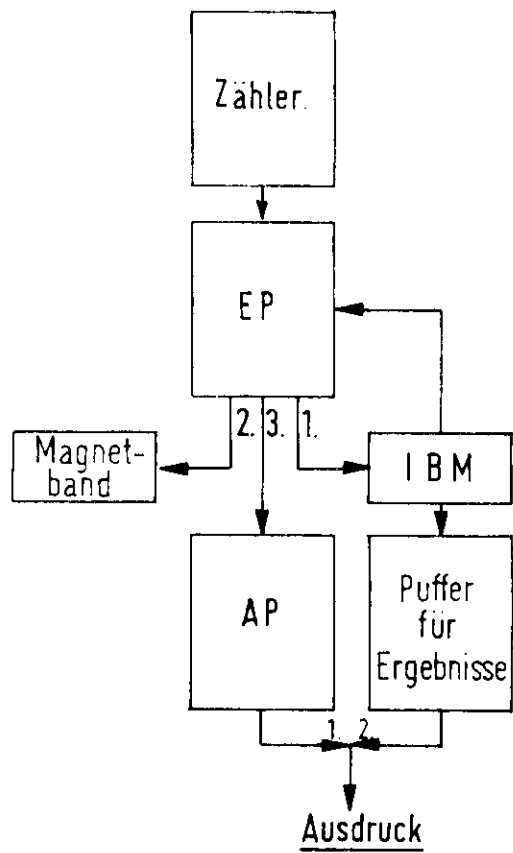
AM = Automatik-Marke
 ZM = Zähler-Marke
 EP = Einlesepuffer
 ZFF = Zähler-Flip-Flop

Abb. 11 Programm für die Organisation der Zählerauslese (Flußdiagramm)



PDP | IBM

Pufferorganisation



EP = Einlesepuffer
 AP = Ausdruckpuffer
 AM = Automatik-Marke

Abb.12 Programm für das Auslesen der Zählerinhalte (Flußdiagramm)

Experimentes nicht dadurch aufhalten, daß ihr Ausdruck erst beendet werden muß, bevor eine weitere Messung gestartet werden kann, wurde das Auslesen folgendermaßen organisiert:

Das Ausdrucken erfolgt aus einem Ausdruckpuffer (AP). In den Kernspeicher eingelesen wird zunächst in den Einlesepuffer (EP), dessen Inhalt immer im Format des nachfolgenden Ausdrucks auf dem Bildschirm sichtbar ist. Die Daten des EP werden sofort in den AP übertragen, wenn dessen Inhalt ausgedruckt ist. Da auch die Zähler als Zwischenspeicher wirken, können auf diese Weise drei Messungen gleichzeitig bearbeitet werden: die Daten der einen werden ausgedruckt, die der nächsten stehen im EP, eine dritte kann bereits laufen. Diese Organisation hat bisher immer ausgereicht. Sie würde nur dann nicht genügen, wenn die Messungen im Mittel weniger Zeit benötigten als das Ausdrucken der Zählerinhalte und der Ergebnisse. Für die Ergebnisse existiert ein weiterer Zwischenspeicher, der als Erweiterung des AP gemeinsam mit diesem vor dem Überladen durch neue Daten geschützt wird, wenn das Ausdrucken noch nicht beendet ist.

Beim Einlesen der Zählerinhalte in den EP wird der 1-2-4-2'-Code, mit dem die Zähler arbeiten, in 1-2-4-8-Code umgewandelt. Gleichzeitig wird untersucht, ob die eingelesenen Ziffern von der Codierung her sinnvoll sind. Das ist eine, wenn auch nicht eindeutige Untersuchung der Funktionsfähigkeit der elektronischen Schaltungen der Zähler. Wenn in EP Daten stehen, die noch ausgedruckt werden müssen, werden die neuen Daten nicht ausgelesen, und der Experimentator erhält eine Alarmmeldung und muß warten. Nach dem Lesen der Zählerinhalte wird die Restspannung der Integratoren eingelesen. Das geschieht über das DVM in der in 6.4.3.1. beschriebenen Weise. Alle Daten werden zur Auswertung an die IBM übertragen, wo zunächst das Verhältnis der gemessenen Spannungen des FK und des SEM und die Summe der Zählraten der Modoskopelemente berechnet werden. Der Experimentator kann durch eine Systemfunktion bestimmen, ob anschließend außerdem noch ein physikalisches Auswerteprogramm gestartet werden soll. Die Ergebnisse der Rechnungen gelangen in den EP bzw. den Zwischenspeicher für die Ergebnisse.

Im Moment wo der AP frei wird, werden die Daten in diesen übertragen und gleichzeitig zur Aufbewahrung auf ein Datenband kopiert. Dabei wird immer kontrolliert, ob noch Platz auf den

Datenband ist. Wenn nicht, erhält der Experimentator eine Alarmmeldung. Anschließend werden die Daten in dem in Segment 2 angegebenen Format zusammen mit den evtl. berechneten Ergebnissen ausgedruckt.

Dieser gesamte Vorgang des Auslesens und Verarbeitens läuft nach dem Drücken der Taste automatisch ab.

Bei Testläufen und Untersuchungen am experimentellen Aufbau ist es aber nicht sinnvoll, die Daten wie Meßdaten zu behandeln. Deshalb lassen sich die einzelnen Schritte außerdem noch getrennt durch Systemfunktionen aufrufen. Fünf Systemfunktionen bewirken das Folgende:

- (1) Auslesen der Zähler (siehe oben),
- (2) Inhalt des EP wird auf das Datenband geschrieben,
- (3) zuletzt auf das Datenband geschriebene Daten werden zur Auswertung an die IBM übertragen,
- (4) Inhalt des EP wird ausgedruckt und
- (5) Ergebnisse des physikalischen Auswerteprogramms werden ausgedruckt.

Auch wenn das Auslesen der Zähler und das Verarbeiten der Daten in einzelnen Schritten erfolgt, sind die Zwischenspeicher und Programmteile natürlich in gleicher Weise wie beim automatischen Ablauf abgesichert.

6.6. Segment 4

Das Programm dieses Segmentes wird nicht während der Meßzeit benutzt. Es dient dazu, die auf Magnetband geschriebenen Daten zur IBM zu übertragen, wo sie in einen Magnetplattenspeicher oder auf ein anderes Magnetband (IBM-Band) kopiert werden. Anschließend stehen diese Daten dann für Auswerteprogramme zur Verfügung, ohne daß dabei die Verbindung zwischen IBM und PDF bestehen muß.

In üblichen Frage- und Antwortspiel zwischen Experimentator, Fernschreiber und Bildschirm kann bestimmt werden, welche Daten übertragen werden sollen (immer die Zählerinhalte einer Messung). Damit besteht die Möglichkeit, die Daten bei der Übertragung bereits für die Auswertung vorzusortieren. Z.B. können Messungen bei gleichen Impulsüberträgen oder alle Messungen mit leerem Target hintereinandergeschrieben werden.

6.7. IBM-Programm

Das zum 'EXSYS' gehörende IBM-Programm wurde fast vollständig in 'FORTRAN'-Sprache geschrieben. Nur die Konversionsprogramme, die BCD- und "message"-formatierte Zahlen in Festkomma- bzw. Gleitkommazahlen umwandeln, sind Programme in Maschinensprache, damit sie möglichst schnell sind.

Das Programm hat zwei Zwischenspeicher: einen für die Datenübertragung (Festkommazahlen) und einen für Parameter (Gleitkommazahlen), der jedesmal, wenn ein Parameter geändert wurde, in einen Magnetplattenspeicher kopiert wird. In diesem zweiten Zwischenspeicher werden alle Daten aufbewahrt, die veränderlich sind und beim evtl. erforderlichen Neustarten des Programms restauriert werden müssen.

Die Programmstruktur ist sehr einfach:

Wenn das Programm durch die PDP gestartet wird, wird anhand des ersten Wortes der übertragenen Daten (Code) festgestellt, welches Unterprogramm arbeiten soll, womit gleichzeitig die Bedeutung der übertragenen Daten erklärt ist.

Aufgaben der einzeln aufrufbaren Unterprogramme sind (die Zahlen entsprechen dem Code):

- 0: Datenverarbeitung ohne physikalisches Auswertprogramm.
- 1: Parametereingabe von der PDP her.
- 2: Datenverarbeitung mit physikalischem Auswertprogramm.
- 3: Berechnen korrigierter Strom-Sollwerte für einzelne Spektrometer-Magnete.
- 4: Berechnen der theoretischen Strom-Sollwerte für das Spektrometer aus p' und β .
- 5: Berechnen der theoretischen Strom-Sollwerte für das Transportsystem aus p_0 .
- 6: Experimentell ermittelte Strom-Sollwerte für das Transportsystem wegspeichern.
- 7: Berechnen neuer Strom-Sollwerte für das Transportsystem aus den zuletzt experimentell ermittelten.

Wie man sieht, wird zum Teil mit verschiedenen Codes das gleiche Unterprogramm gerufen, so z.B. durch 0 und 2 das Datenverarbeitungsprogramm. Hierbei geben die verschiedenen Codes an, ob bestimmte Teilprogramme des Unterprogramms ausgeführt werden sollen. So kann man auf sehr einfache Weise von der PDP

aus in das Programm auf der IBM eingreifen.

'FORTRAN'-Programme, die für den üblichen "off-line"-Betrieb in der IBM (im Gegensatz zum "on-line"-Betrieb mit der PDP) geschrieben sind, lassen sich leicht als Auswerteprogramm an das 'EXSYS' anschließen. Man muß nur die Ein- und Ausgabe so ändern, daß statt von Lochkarten aus den Zwischenspeicher für die Datenübertragung und statt auf den Zeilendrucker in diesen gleichen Zwischenspeicher geschrieben wird. Macht man außerdem das ganze Programm zu einem Unterprogramm (subroutine) mit Namen "WIRK" (dessen Aufruf ist in 'EXSYS' enthalten), so kann man auch während des Experimentes mit Systemfunktionen von der PDP her darüber entscheiden, ob das Programm ausgeführt werden soll (Code 0 oder 2).

An das Programm in der IBM werden besonders hohe Anforderungen in Bezug auf Sicherheit gestellt. Das Programm muß so abgesichert sein, daß, auch wenn die unsinnigsten Daten eingegeben werden, nie Fehler auftreten können, die zum Abbruch des Programms oder zu einem Fehlerausdruck führen. Es muß deswegen so besonders sorgfältig gearbeitet werden, weil ein Abbruch des eigenen Programms zur Zeit noch bewirkt, daß auch die Programme anderer Benutzer nicht mehr arbeiten können. Deshalb werden in 'EXSYS' alle Daten, die evtl. zu einem Fehler führen könnten, abgefragt, ob sie innerhalb gewisser vernünftiger Grenzen liegen. Fehler werden dem Experimentator an der PDP mitgeteilt.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde die programmierte Steuerung von Magneten und die Datenverarbeitung in einem Zählerexperiment beschrieben. Die Beschreibung gibt einen Eindruck davon, wie vielseitig und flexibel eine solche Steuerung und Überwachung sein kann.

Neben den Vorteilen, die sich speziell für diese Experimente ergaben, sind auch die Vorteile sichtbar geworden, die ein programmiertes Steuerungs-System ganz allgemein hat. Besonders bestechend sind neben der bereits erwähnten Flexibilität die erreichbare Schnelligkeit und die Sicherheit.

Die Sicherheit ist zum einen dadurch gegeben, daß alle Einstellungen am experimentellen Aufbau sehr genau reproduzierbar sind, zum anderen dadurch, daß für jede Einstellung automatisch Minimal- und Maximalgrenzen abgefragt werden können, und daß bei einem in sich gut abgesicherten Programm die Einstellung garantiert fehlerlos vor sich geht.

Im Prinzip ist die Geschwindigkeit der Steuerung nur durch die Geschwindigkeit begrenzt, mit der die zu steuernden Geräte und die Steuerlogik arbeiten.

Wie die Beschreibung zeigt, lassen sich, nimmt man einen geringfügigen Zeitverlust in Kauf, weitere beträchtliche Vorteile eines programmierten Systems ausnutzen:

Es kann das Wechselspiel zwischen Fernschreiber, Bildschirm und Experimentator ausgebaut werden. Das hat einmal den großen Vorteil, daß die Steuerung des experimentellen Aufbaus keine Spezialisten für die Bedienung der benutzten Geräte oder der Rechenmaschine verlangt.

Weiter wird der experimentelle Aufbau dann dadurch viel übersichtlicher, daß es nur noch eine zentrale Stelle gibt, von der aus alle Geräte gesteuert (Tastatur des Fernschreibers) und beobachtet (Bildschirm) werden können. Die eigentliche Steuerung und Überwachung erfordert also nur noch einen Experimentator.

Die Anzeige muß nicht mehr in Codes oder durch Zeiger an Meßinstrumenten, sondern kann durch leicht lesbare Dezimalzahlen und Texte erfolgen.

Außerdem können bei Änderung eines Parameters alle erforderlichen Änderungen an den verschiedensten Geräten automatisch ausgeführt werden.

So kann zusammenfassend also gesagt werden:

Mit einem programmierten Steuerungs-System können weniger Experimentatoren den gesamten experimentellen Aufbau schneller, sicherer und einfacher bedienen, als es mit den herkömmlichen Methoden möglich war.

Inzwischen sind neue Experimente in Vorbereitung, die einen erweiterten experimentellen Aufbau und größere Genauigkeit in der Impulsbestimmung der gestreuten Elektronen erfordern.

Dazu muß die Magnetsteuerung verbessert werden. Es bietet sich zunächst an, die Fehler bei der Berechnung der Strom-Sollwerte durch bessere mathematische Methoden zu verringern. Außerdem kann eine erhöhte Genauigkeit dadurch erreicht werden, daß das Feld in den Ablenkmagneten direkt gemessen wird. Deshalb sind Meßvorrichtungen für Feldmessungen in den Magneten in Vorbereitung.

Weiterhin wird sich die Anzahl der Szintillationszähler beträchtlich erhöhen. Das bedeutet, daß die Registrierung der Zählimpulse wegen der dazu erforderlichen Menge von Zählern in der bisherigen Form praktisch unmöglich geworden ist. Deshalb wird die Datenauslese auf Einzelereignis-Registrierung umgestellt. Die Vorbereitungen dazu sind fast beendet. Dabei hat sich herausgestellt, daß trotz der an und für sich sehr wesentlichen Änderungen im experimentellen Aufbau eine Änderung der hier beschriebenen Programmstruktur in absehbarer Zeit nicht erforderlich sein wird.

Herrn Prof. Dr. G.Weber danke ich für sein stetes förderndes Interesse und die großzügige Unterstützung dieser Arbeit.

Dr. H.Krehbiel hat mich in die mir völlig neue Materie eingeführt und mir viele Anregungen gegeben. Dafür und für seine Arbeit beim Entwerfen der Elektronik bin ich ihm zu großem Dank verpflichtet.

Den Herren Drs. F.-W.Büßer, R.Felst, J.McElroy, V.Walther sowie den Herren W.Bartel, D.Harns und W.Schmidt gilt mein Dank für zahlreiche nützliche Diskussionen und die Erfüllung vieler Änderungswünsche am experimentellen Aufbau ebenso wie für die gute Zusammenarbeit.

Herr P.Kuhlmann stellte das Programm 'PDA-SUPERVISOR' für die IBM zur Verfügung. Ich habe ihm dafür und für viele Ratschläge zu danken.

Meine Kenntnisse in 'SUPERVISOR'-Programmierung verdanke ich der Gruppe des inzwischen verstorbenen Herrn F.Akolk. Ich habe den Herren G.Delfs, H.Frese und G.Hochweller auch für die ausgezeichnete Unterstützung bei der Wartung der PDP zu danken.

Herrn V.Masbender danke ich für die Hilfe beim Testen der Elektronik und Herrn W.Knaut für das Anfertigen der Zeichnungen.

Literaturverzeichnis

- (1) U.Meyer-Berkhout, Proc. of the 1965 Easter School for Physicists, Cern 65-20, Vol.II, 67 (1965).
- (2) W.Bartel, B.Dudelzak, H.Krehbiel, J.M.McElroy, U.Meyer-Berkhout, R.J.Morrison, H.Nguyen-Ngoc, W.Schmidt, G.Weber Phys.Rev.Let. 17, 603 (1966).
- (3) G.Weber, "Die elektromagnetische Struktur des Protons", Vortrag, gehalten anläßlich der Tagung des Wissenschaftlichen Rates am 9. Dezember 1966.
- (4) W.Bartel, B.Dudelzak, H.Krehbiel, J.M.McElroy, U.Meyer-Berkhout, R.J.Morrison, H.Nguyen-Ngoc, W.Schmidt, G.Weber Phys.Let. Vol.25B, Nr.3, 236 (1967).
- (5) W.Bartel, B.Dudelzak, H.Krehbiel, J.M.McElroy, R.J.Morrison, W.Schmidt, V.Walther, G.Weber Phys.Let. Vol 25B, Nr.3, 242 (1967).
- (6) G.Weber, Proc. of the 1967 International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies, 59 (1967).
- (7) W.Schmidt, Dissertation, Hamburg 1968.
- (8) B.Dudelzak, Dissertation, Paris 1965.
- (9) W.Bartel, B.Dudelzak, H.Krehbiel, J.M.McElroy, U.Meyer-Berkhout, R.J.Morrison, H.Nguyen-Ngoc, W.Schmidt, K.G.Steffen, G.Weber Nucl.Instr. 53, 293 (1967).
- (10) T.M.Putnam, R.A.Jameson, T.M.Schultheis IEEE Trans.Nucl.Sci. 12, Nr.3, 21 (1965).
- (11) H.S.Butler, IEEE Trans.Nucl.Sci. 14, Nr.3, 1030 (1967).
- (12) R.Frankel, IEEE Trans.Nucl.Sci. 14, Nr.3, 1042 (1967).

- (13) H.D.Lancaster, D.R.Machen, IEEE Trans.Nucl.Sci. 14, Nr.3, 1044 (1967).
- (14) R.Scholl, R.Coomber, J.Hall, D.Neet, D.Olsen
IEEE Trans.Nucl.Sci. 14, Nr.3, 1061 (1967).
- (15) S.K.Howry, R.Scholl, E.J.Seppi, M.Hu, D.Neet
IEEE Trans.Nucl.Sci. 14, Nr.3, 1066 (1967).
- (16) PDP Users Handbook, Digital Equipment Corporation, F-85.
- (17) H.Frese, Diplomarbeit, Hamburg 1968.
- (18) K.G.Steffen, "High Energy Beam Optics", Interscience
Publishers, New York, 1965.
- (19) DESY-Handbuch, 1966.
- (20) W.Bartel, B.Dudelzak, H.Krehbiel, J.McElroy, U.Meyer-
Berkhout, W.Schmidt, V.Walther, G.Weber
Phys.Let. Vol.27B, 660 (1968)
- (21) W.Bartel, B.Dudelzak, H.Krehbiel, J.McElroy, U.Meyer-
Berkhout, W.Schmidt, V.Walther, G.Weber
Phys.Let. Vol.28B, 148 (1968)

Das Programm 'SUPERVISOR'

Die Aufgaben des 'SUPERVISORS' lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- (1) Verarbeitung von Unterbrechungs-Signalen der Ein- und Ausgabe-Geräte,
- (2) Programm-Verwaltung nach Prioritäten,
- (3) Ein- und Ausgabe von Texten und Zahlen auf Schreibmaschine, Fernschreiber und Bildschirm,
- (4) Steuerung von Kanälen für die Datenübertragung auf Magnetbänder oder zur IBM.

Der 'SUPERVISOR' enthält nur grundlegende Programme. Spezielle für das Experiment spezifische Ein- und Ausgabe-Programme, Programme für gesonderte Verarbeitung von Unterbrechungs-Signalen oder besondere Absicherungsprogramme müssen zusätzlich geschrieben werden, lassen sich aber leicht mit dem 'SUPERVISOR' verbinden.

A.1. Verarbeitung von Unterbrechungs-Signalen (interrupt)

Jeden Flip-Flop, der in der Rechenmaschine ein Unterbrechungs-Signal auslösen kann, sind 3 Zellen im Kernspeicher zugeordnet (ECB= event control block genannt), von denen eine als Flip-Flop-Marke benutzt wird. Die anderen beiden werden für die Programm-Verwaltung benötigt. Nach einem Unterbrechungs-Signal wird als "Sofortmaßnahme" (immediate action) diese Marke gesetzt. Danach kann der Flip-Flop sofort wieder gelöscht werden, denn sein Unterbrechungs-Signal ist dem Programm durch die Flip-Flop-Marke bekannt. Während das durch das Unterbrechungs-Signal gerufene Programm läuft, können daher bereits weitere Unterbrechungs-Signale angenommen werden. Während der Sofortmaßnahme wird der Zustand des Rechenwerks aufbewahrt und anschließend wieder restauriert.

A.2. Programm-Verwaltung

Das gesamte Experimente-Programm ist in 13 "Programm-Aufgaben" (task) von verschieden hoher Priorität unterteilt. Eine

Programm-Aufgabe ist eine Zusammenstellung einer oder mehrerer Teilprogramme zur selbständigen Durchführung einer Aufgabe. Z.B. sind die Spektrometer-Steuerung, die Transportsystem-Steuerung und das Auslesen der Zähler jeweils eine solche Programm-Aufgabe.

Programm-Aufgaben können in 3 Zuständen sein:

(1) Warte-Zustand

Das ist der Zustand einer Programm-Aufgabe, wenn sie auf die Rückmeldung langsamer externer Geräte oder auf Meldungen anderer Teilprogramme wartet und inzwischen andere Programme aktiv sind. Die Meldung erfolgt durch ein "Ereignis" (event), das durch ein Unterbrechungs-Signal oder durch ein anderes Teilprogramm ausgelöst werden kann, und durch das die Flip-Flop-Marke bzw. ein Signalcode gesetzt werden.

(2) Bereitschafts-Zustand

Es kann immer nur eine Programm-Aufgabe das Rechenwerk benutzen. Andere Programm-Aufgaben, die auch ausgeführt werden wollen, sind im Bereitschafts-Zustand. Im Moment, wo eine Programm-Aufgabe durch eine von höherer Priorität unterbrochen wird, geht sie in den Bereitschafts-Zustand.

(3) Ausführungs-Zustand

So nennt man den Zustand, in dem sich eine Programm-Aufgabe befindet, wenn sie gerade das Rechenwerk benutzt.

Programm-Aufgaben können die Prioritäten 0 bis 3 haben, 3 ist die höchste. Der 'SUPERVISOR' sorgt dafür, daß die Programm-Aufgaben mit höchster Priorität zuerst ausgeführt werden. In den Zeiten, in denen die Programm-Aufgaben höherer Priorität in den Warte-Zustand gehen, werden die Programm-Aufgaben der niedrigeren Priorität ausgeführt. Programm-Aufgaben gleicher Priorität werden in der Reihenfolge ihres Aufrufs ausgeführt.

Besonders hervorzuheben ist, daß bei diesem Konzept die Prioritäten den Programm-Aufgaben und nicht den externen Geräten zugeordnet sind. Das ist z.B. deswegen vorteilhaft, weil die gleichen externen Meßgeräte für verschieden wichtige Programme gebraucht werden können.

Die Priorität 0 ist fest für das Teilprogramm 'DISPLAY' vergeben, das durch Benutzung jeweils verschiedener Unterprogramme die von anderen Teilprogrammen bestimmten Texte auf dem Bildschirm

anzeigt. Dieses Programm arbeitet immer dann, wenn "nichts anderes zu tun ist".

Die Arbeit des 'SUPERVISORS', der diese Verwaltung nach Prioritäten überwacht, wird über 6 verschiedene Pseudobefehle von den an ihn angeschlossenen Programmen gesteuert. Für die Verwaltung ist es notwendig, daß jeder Programm-Aufgabe ein sogenannter "Kontroll-Block" (TCB=task control block) zugeordnet wird. Diese 6 Pseudobefehle rufen jeweils ein Verwaltungs-Unterprogramm, es sind:

(a) ATTACH

Durch diesen Pseudobefehl wird dem 'SUPERVISOR' der Kontroll-Block einer Programm-Aufgabe mitgeteilt. Diese Programm-Aufgabe geht in den Bereitschafts-Zustand bzw. je nach Priorität auch in den Ausführungs-Zustand.

(b) RETURN

Mit diesem Pseudobefehl endet jede Programm-Aufgabe. Sie ist dann zwar noch im Kernspeicher, dem 'SUPERVISOR' aber nicht mehr bekannt und kann daher erst wieder nach einem erneuten Aufruf (ATTACH) ausgeführt werden.

(c) WAIT

Nach diesem Pseudobefehl geht die Programm-Aufgabe in den Warte-Zustand auf ein "Ereignis". Falls das Ereignis bereits vorher eingetreten war, bleibt die Programm-Aufgabe im Ausführungs-Zustand. Die Entscheidung wird durch Abfragen der Flip-Flop-Marke bzw. des Signalcodes gefällt.

(d) POST

Mit diesem Pseudobefehl werden Flip-Flop-Marke bzw. Signalcode gesetzt, und alle evtl. wartenden Programm-Aufgaben werden in Bereitschafts-Zustand versetzt.

(e) QUEUE

Mit diesem Pseudobefehl wird abgefragt, ob eine "Systemkomponente" (system resource) zur Verfügung steht. Eine Systemkomponente ist ein Teil des Systems, der nacheinander von jeweils nur einer Programm-Aufgabe benutzt werden kann, wie z.B. die Schreibmaschine oder ein Datenpuffer. Wenn die Systemkomponente zur Verfügung steht, geht die Programm-Aufgabe in den Bereitschafts-Zustand, wenn nicht, geht sie in den Warte-Zustand in einer "Warteschlange". In einer Warteschlange müssen Programm-Aufgaben mit höherer Priorität auf solche mit

niedrigerer warten (Unterschied zum WAIT). Bei der Arbeit mit Datenpuffern ist das z.B. sehr wichtig, da Daten aus verschiedenen Programm-Aufgaben nicht durcheinander gespeichert werden dürfen.

(f) DQUEUE

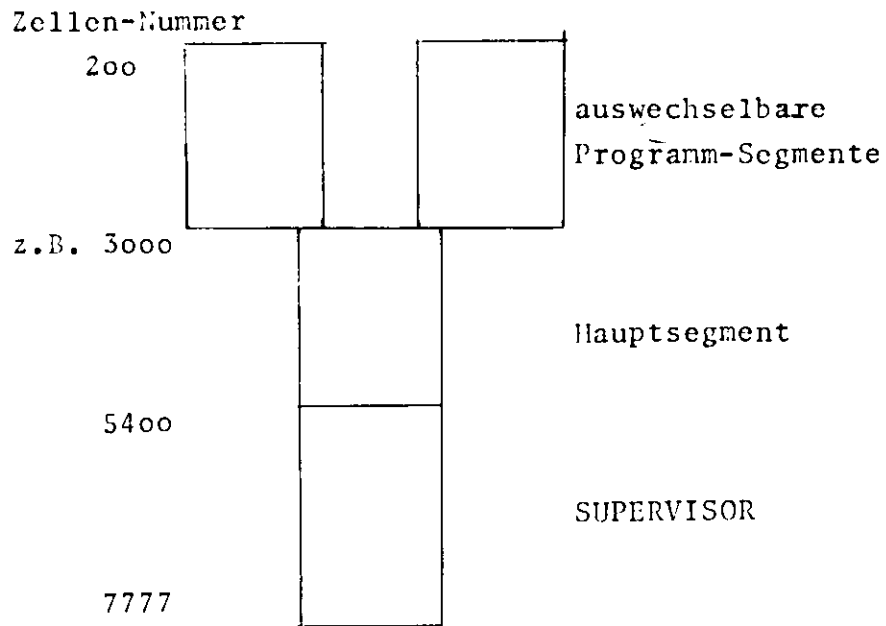
Mit diesem Befehl wird eine Systemkomponente als "frei" gemeldet. Die nächste Programm-Aufgabe in der Warteschlange wird in Bereitschafts-Zustand versetzt.

A.3. Systemfunktionen

Systemfunktionen sind die Teilprogramme, die durch Drücken von Tasten auf dem Fernschreiber direkt aufgerufen werden. Dem Code jeder Taste kann eine Systemfunktion zugeordnet werden. Die Systemfunktionen laufen prinzipiell mit der Priorität 1. Programm-Aufgaben mit höherer Priorität kann man in ihnen durch ATTACH aufrufen.

A.4. Programm-Segmentierung

In dem Teil des Kernspeichers, der für Programme benutzt wird, benötigt der 'SUPERVISOR' die Zellen 5400 (oktal) bis 7777. Er bleibt während des ganzen Experimentes im Kernspeicher. Die Benutzer-Programme müssen in den Zellen 200 bis 5377 untergebracht werden. Mit dem 'SUPERVISOR' ist es möglich, die Programme in diesem Teil des Kernspeichers auszuwechseln. Dabei müssen die Benutzer-Programme, die ebenso wie der 'SUPERVISOR' auch immer im Kernspeicher bleiben sollen (Hauptsegment) direkt an den 'SUPERVISOR' anschließen, die am meisten gewechselten Segmente beginnen in der Zelle 200.



Beispiel einer Programm-Verteilung im Kernspeicher
(mit Programm-Segmentierung)

Anweisung zum Bedienen der PDP (Stand vom 1.2.68)

Laden des Programms:

=====

Band "EXSYS5, Programm" auf Einheit 8 (write lock, remote)

Band "EXSYS5, Pufferband" auf Einheit 2 (write enable, remote)

Leeres Band für Daten auf Einheit 3 (write enable, remote)

Adresse 7600 laden

Starten

Nach Geräusch auf dem Fernschreiber "EXSYS" schreiben (mit "Ret" abschließen)

Weitere Anweisungen auf dem Bildschirm (gewöhnlich beginnt man mit Magnetband-Block 1)

Allgemeines:

=====

(1) Alle Zahlen werden mit "Ret" abgeschlossen

(2) Hat man sich bei der Eingabe verschrieben, kann man mit "Rubout" die falschen Zahlen oder Buchstaben löschen.

(3) Aufleuchten der roten "Blinkwarze" bedeutet: Eine Bändeinheit ist falsch eingestellt. (Dann Bändeinheit richtig einstellen und auf die Warze drücken.)

Jederzeit abrufbare Programme:

=====

(1) "CTRL+Z"

schreibt den auf dem Bildschirm gezeigten Text auf dem Fernschreiber aus.

(2) "CTRL+K"

bricht einen solchen Ausdruck ab.

(3) "T"

zeigt auf dem Bildschirm die Strom- und Spannungswerte der Magnete des für die derzeitige Messung an bis ein

(4) "A"

gedrückt wird. Dann wird wieder der zu dem derzeitig laufenden Hauptprogramm gehörende Text auf dem Bildschirm sichtbar. ("A" muß gedrückt werden!)

Transportsystem

=====

Aufruf des Eingabe- und Steuerprogramms

=====

"CTRL+O" drücken,
restliche Anweisungen auf dem Bildschirm.

Spektrrometer

=====

Eingabe von P und Beta

=====

"CTRL+P" drücken,
restliche Anweisungen auf dem Bildschirm. ("CTRL+P" geht nicht
während des Auslesens der Zähler, daher neue Werte rechtzeitig
eingeben.)

Automatisches Setzen des Spektrometers:

=====

"CTRL+T" drücken,
restliche Anweisungen auf dem Bildschirm. ("CTRL+T" kann gedrückt
werden, wenn die Schreibmaschine begonnen hat, die Zählerinhalte
der letzten Messung auszudrucken.)

Auslesen der Spannungs-Ist-Werte der Spektrrometer-Magnete:

=====

"CTRL+R" drücken,
restliche Anweisungen auf dem Bildschirm.

Zähler
=====

Auslesen der Zähler
=====

Falls ein Auswerteprogramm vorhanden ist:

"CTRL+W"

Auswerteprogramm wird nach jeder folgenden Messung ausgeführt, die Ergebnisse ausgedruckt.

"CTRL+V"

Auswerteprogramm wird nicht aufgerufen.

Reihenfolge beim nicht-automatischen Auslesen der Zähler:
=====

(1) "CTRL+S" nach der Messung gedrückt:

Zähler werden in die PDP eingelesen und auf dem Bildschirm angezeigt (Auf dem Bildschirm steht unten "DISPLAY")

"CTRL+S" während der Messung gedrückt:

Zähler werden bis zum Ende der Messung laufend in die PDP eingelesen und auf dem Bildschirm angezeigt (Auf dem Bildschirm steht unten "TRANSFER")

(2) "CTRL+U":

zuletzt eingelesene Zählerinhalte werden auf das Magnetband 3 geschrieben.

(3) "CTRL+C":

(geht nur, wenn vorher irgendwann "CTRL+W" gedrückt wurde) Aufrufen des Auswerteprogramms für die zuletzt auf das Magnetband 3 gebrachten Zählerinhalte.

(4) "CTRL+Y":

auf dem Bildschirm angezeigte Zählerinhalte werden auf der Schreibmaschine ausgedruckt.

(5) "CTRL+D":

(geht nur, wenn vorher irgendwann "CTRL+W" gedrückt wurde) druckt die Ergebnisse des Auswerteprogramms aus.

("CTRL+S" und "CTRL+U" lassen sich jederzeit aufrufen, "CTRL+D", "CTRL+C" und "CTRL+Y" gehen nur, wenn man nach "CTRL+S" oder "CTRL+U" den angeforderten Programm-Teil in Kernspeicher hat)

Automatisches Auslesen der Zähler:
=====

Nach Beendigung der Messung weißen Knopf drücken, dann werden (1) bis (5) ausgeführt.

Kommastellen auf den Ausdrucken der Zählerinhalte:
=====

DATE : Tag, Monat, Jahr
HOUR : Stunde, Minuten, Sekunden
Eo : xxx.xxx
ESCATT: x.xxxxx
THETA : xxxx.xx
BETA : xx.xxxx

CHARGE: xxx.xxx
SEM : xxx.xxx
SEHRST: xx.xxxx bei Solartron, x.xxxxx bei HP
RATIO : x.xxxxx
ERROR : Zähler-Nummer, Dekade dieses Zählers, in der ein Fehler auftrat.

Restliche Zahlen sind xxxxxx.

Zuordnung von Namen und Zähleradressen:

=====

"CTRL+I" drücken,
festliche Anweisungen auf dem Bildschirm.

Schreiben eines Formates für den Ausdruck der Zählerinhalte

=====

"CTRL+F" drücken (Aufruf des Programms)

Danach:

(1) "C": der Zähler mit der in Folgenden geschriebenen Adresse wird an dem Platz eingetragen, auf den der Pfeil auf dem Bildschirm zeigt. War diese Zähleradresse schon an anderer Stelle eingetragen, wird sie dort gelöscht.

(2) Verschieben des Pfeils auf dem Bildschirm

"Leertaste": Pfeil wird einen Platz weitergeschoben.

"B": Pfeil wird einen Platz zurückgeschoben.

"U": Pfeil wird eine Zeile höher geschoben.

"D": Pfeil wird eine Zeile tiefer geschoben.

Aufbewahren eines Formates:

=====

"CTRL+X" drücken, danach Nummer (1 bis 5) des Formates.

Laden eines Formates:

=====

"CTRL+E" drücken, danach Nummer (1 bis 5) des Formates.

Sonderfall: "CTRL+E", danach 0 löscht das Format im Kernspeicher.

IBM
===

Eingabe neuer Parameter für Programme auf der IBM:
=====

"CTRL+A" drücken,
restliche Anweisungen auf dem Bildschirm.

Wiederherstellen der Verbindung PDP - IBM
=====

(Wenn die IBM ausgefallen war.)

"CTRL+Q" drücken.

(VORSICHT: IBM muß wirklich wieder laufen!) Man sollte sich nicht darauf verlassen, daß die IBM wirklich angehängt ist. Man prüfe das mit einem Programm (z.B. "CTRL+P") und drücke evtl. noch einmal CTRL+Q.

Bedeutung der Fehler-Codes der IBM

=====

(werden an die PDP gesandt und dort auf dem Bildschirm angezeigt.)

(21) Marke für DVM (HP oder Solartron) ist falsch in der IBM angekommen.

(31) SEM-Wert ist unsinnig, ratio wurde 0.001 gesetzt.

(32) SEM-Rest-Spannung ist unsinnig, wurde =0 gesetzt.

(33) charge(FC)-Wert ist unsinnig, wurde auf 1 nicroC gesetzt.

(34) ratio lag nicht zwischen 0.0001 und 10, wurde =1 gesetzt.

(35) ratio negativ, wurde =0 gesetzt.

(36) Inhalt eines Hodoskop-Elements nicht zwischen 1 und 1.E+06, wurde =0 gesetzt.

(37) Hodoskop-Summe ist .GE. 1.Eo6, wurde =999999 gesetzt.

(38) (SEM-SEMRST) ist .LE. 0, (SEM-SEMRST) und ratio wurden =0 gesetzt.

(41) Strom-Sollwert eines Magneten lag vor der Korrektur nicht zwischen 1 und 10000 A.

(42) Spannungs-Sollwert (DVM) eines Magneten liegt nicht zwischen 0.0001 und 10 V.

(43) Spannungs-Istwert (DVM) eines Magneten liegt nicht zwischen 0.0001 und 10 V.

(51) Eingegebenes P für das Spektrometer liegt nicht zwischen 0 und 6 GeV/c, alle Strom-Sollwerte wurden auf 0 gesetzt.

(52) Eingegebenes Beta für das Spektrometer liegt nicht zwischen 4 und 16 Grad, alle Strom-Sollwerte wurden auf 0 gesetzt.

(71) Eingegebene Energie für das Transportsystem liegt nicht zwischen 0 und 8 GeV, es wurden keine neuen Strom-Sollwerte berechnet.

(90) Es wurde ein in der IBM nicht vorhandenes Programm aufgerufen.

(91) Bei der Eingabe der Parameter wurde ein Schreibfehler gemacht.

(92) Beim Einlesen der Konstanten von der Platte in die IBM trat ein Fehler auf.