

Interner Bericht  
DESY H5-71/9  
Oktober 1971

DESY-Bibliothek  
17. DEZ. 1971

Closed Orbit Korrekturen für den DESY-Speicherring

---

von

F. Krafft, G. Mülhaupt



## Inhalt :

	Seite
I. Einleitung	1
II. Mathematische Formulierung des Problems	1
a) Begriffe der linearen Optik	1
b) Behandlung von allgemeinen Feldfehlern	3
c) Orbit Störungen bei diskreten Störkicks	4
III. Mathematisches Lösungsverfahren	6
IV. Aufgabe und Beschreibung des Programms "MUAIK"	9
V. Ergebnisse der Simulationsrechnungen	10
VI. Zusammenfassung	15
Anhang 1: Lösung mittels Eigenvektoren	16
Anhang 2: Simulationsprogramm MUAIK	20
Anhang 3: Eingabe der Daten für MUAIK	47

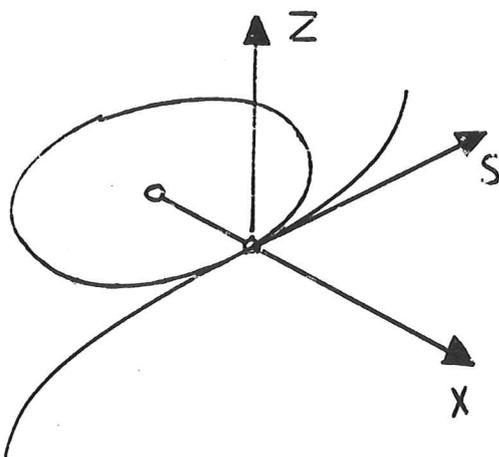
## I. EINLEITUNG

Die Magnetstruktur einer periodischen Maschine muß so beschaffen sein, daß die Strahlenveloppen geeigneten Periodizitätsbedingungen genügen, damit die Strahlteilchen während vieler Umläufe innerhalb der Apertur des Magnetsystems bleiben. Mit Hilfe der linearen Optik kann man ein System von Quadrupolen und Ablenkmagneten berechnen, das diesen Anforderungen genügt. Will man nun eine solche Magnetstruktur bauen, muß man nicht nur die einzelnen Magnelemente so herstellen, daß sie die berechneten optischen Eigenschaften haben, man muß sie auch an den berechneten Stellen positionieren. Beide Forderungen sind nur mit einer bestimmten Ungenauigkeit erfüllbar. Durch Fehlaufstellungen von Quadrupolen, durch Fehler in der magnetischen Länge von Ablenkmagneten, durch Drehungen der Ablenkmagnete um die Sollbahn etc. werden die berechneten Teilchenbahnen gestört. Die Aufgabe einer Closed Orbit Korrektur ist es nun, durch geeignete, kontrollierte Zusatzfelder den Einfluß solcher Störungen auf die berechneten Teilchenbahnen rückgängig zu machen oder wenigstens zu mindern.

## II. MATHEMATISCHE FORMULIERUNG DES PROBLEMS

Im folgenden soll die Aufgabenstellung der Closed Orbit Korrektur im Rahmen der Begriffe der linearen Optik beschrieben werden, wobei die Betrachtungen auf Magnetstrukturen mit einer Äquipotential-Symmetrieebene beschränkt werden.

### a) Begriffe der linearen Optik:



Benutzt wird im folgenden das rechtshändige, krummlinige Koordinatensystem  $\{ z, x, s \}$  mit:

- s: Koordinate gemessen längs der Referenztrajektorie
- z: Abstand von der durch  $\rho$  und s gebildeten Ebene
- x: Abstand von der Referenztrajektorie in Radiusrichtung.

Als Referenztrajektorie wird in periodischen Strukturen normalerweise die Sollbahn benutzt, die entlang den Symmetrieachsen der Quadrupole verläuft. Unter der Voraussetzung, daß es keine Kopplung zwischen der z- und x-Bewegung gibt, ergeben sich für die zu  $\vec{s}$  transversale Bewegung eines Teilchens ohne Impulsabweichung die beiden folgenden Differentialgleichungen:

$$\begin{aligned} z'' + k z &= 0 \\ x'' + \left(\frac{1}{\rho^2} - k\right) x &= 0 \end{aligned} \quad \text{mit } k = \frac{e}{p_0} \frac{\partial B_z}{\partial x} = \frac{e}{p_0} \frac{\partial B_x}{\partial z} \quad (1)$$

Die allgemeinen Lösungen dieser Hill'schen Differentialgleichung (1) lauten (y steht im folgenden wahlweise für x oder z):

$$y = \sqrt{\epsilon} \sqrt{\beta(s)} \cos(\phi(s) - \delta) \quad \epsilon, \delta \text{ sind Integrationskonstanten} \quad (2)$$

Setzt man diese Lösung (2) in (1) ein, so ergeben sich folgende Gleichungen zwischen  $\beta(s)$  und  $\phi(s)$ :

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds} \phi(s) &= \frac{1}{\beta(s)} \\ \frac{d^2}{ds^2} (\sqrt{\beta(s)}) + K \sqrt{\beta(s)} - \frac{1}{\sqrt{\beta(s)}} &= 0 \end{aligned}$$

wobei K bedeutet:

$$\begin{aligned} K &= k && \text{für } y = z \\ K &= -\left(k - \frac{1}{\rho^2}\right) && \text{für } y = x \end{aligned}$$

Man nennt  $\beta(s)$  die Amplitudenfunktion und  $\phi(s)$  die Phasenfunktion <sup>1)</sup>.

Die Anzahl Q der Betatronschwingungen pro Umlauf ergibt sich zu

$$Q \equiv \nu = \frac{1}{2\pi} \int_s^{s+L} \frac{1}{\beta(s)} ds \quad \text{mit } L = \text{Länge eines Umlaufs}$$

$\phi(s)$  und  $\beta(s)$  sind Funktionen, die nur von der Magnetstruktur und der Erregung der Magnetelemente abhängen.

---

<sup>1)</sup> Anmerkung: Häufig wird die Phasenfunktion anders definiert durch  $\bar{\phi} = \frac{1}{Q} \phi(s)$   
 $\bar{\phi}$  nimmt dann pro Umlauf um  $2\pi$  zu:  $\bar{\phi}(s+L) = \bar{\phi}(s) + 2\pi$

b) Behandlung von allgemeinen Feldfehlern

Die Sollbahn der Maschine, die gekennzeichnet ist durch

$$y(s) \equiv 0,$$

ist eine geschlossene Trajektorie und stellt eine mögliche Teilchenbahn dar. Insbesondere ist sie bei  $Q \approx n$ , ( $n$  ganze Zahl) die einzige Teilchenbahn, die nach einem Umlauf stetig in sich zurückführt. Nimmt man im magnetischen Führungsfeld nun Fehler an (etwa Fehlaufstellungen von Quadrupolen), so ist die Sollbahn der idealen Maschine in der Regel keine Lösung mehr für die nunmehr inhomogene Differentialgleichung

$$y''(s) + K y(s) = f(s) \quad (3)$$

wobei  $f(s)$  die Fehler im magnetischen Führungsfeld

$$f(s) = -\frac{e}{p_0} \Delta B(s) \quad 1)$$

beschreibt.

Die allgemeine Lösung von (3) ist die Summe der allgemeinen Lösung von (1) und einer besonderen Lösung der inhomogenen Gl. (3). Stellt man die Lösung von (3) in Termen der Amplituden- und Phasenfunktion der ungestörten Maschine dar, so ergibt sich:

$$y(s) = \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\beta(s)} \cos(\phi(s) - \delta) - \sqrt{\beta(s)} \int_{s_0}^s f(\tau) \sqrt{\beta(\tau)} \sin(\phi(\tau) - \phi(s)) d\tau \quad (4)$$

<sup>1)</sup> Stellt man die Feldfehlerfunktion  $f(s)$  nicht als Funktion der Sollbahnlänge  $s$ , sondern als Funktion der Phasenfunktion  $\phi(s)$  dar, so ergibt sich

$$f(\phi) = \beta(\phi)^{3/2} \frac{\Delta B(\phi)}{B_0 \cdot \rho} = \beta(\phi)^{3/2} \frac{e \cdot \Delta B(\phi)}{p_0}$$

Sucht man unter diesen Lösungen des gestörten Problems diejenige heraus, die zu einer stetigen geschlossenen Teilchenbahn (Closed Orbit) führt, für die gilt:

$$y(s+L) = y(s) \quad \text{und} \quad y'(s+L) = y'(s)$$

dann ist das die Lösung:

$$y(s)_{\text{c.o.}} = \frac{\sqrt{\beta(s)}}{2 \sin \pi Q} \int_s^{s+L} f(\tilde{z}) \sqrt{\beta(\tilde{z})} \cos(\phi(\tilde{z}) - \phi(s) - \pi Q) d\tilde{z} \quad (5)$$

Diese Teilchenbahn beschreibt die Bewegung des Strahlschwerpunktes in Termen der Amplituden- und Phasenfunktion der idealen Maschine.  $y(s)_{\text{closed orbit}}$  stellt den Abstand der Strahlschwerpunktsbahn von der Sollbahn der idealen Maschine dar.

c) Orbit Störungen bei diskreten Störkicks

Im folgenden wird die vereinfachende Annahme gemacht, daß die Störungen  $f(s_i)$  diskontinuierlich in Form von Kicks an den Stellen  $s_i$  vorliegen. Der durch die  $i$  Störungen verbogene Closed Orbit wird durch Gl. (5) beschrieben, wobei das Integral im Falle  $\delta$ -förmiger Kicks

$$f(s) = \sum_i \varepsilon_i \delta(s - s_i)$$

in eine Summe übergeht:

$$y(s)_{\text{c.o.}} = \frac{\sqrt{\beta(s)}}{2 \sin \pi Q} \sum_i \varepsilon_i \sqrt{\beta(s_i)} \cos(\phi(s_i) - \phi(s) - \pi Q)$$

Es gilt dabei stets:

$$s < s_i < s+L \quad \text{bzw.} \quad \phi(s) < \phi(s_i) < \phi(s+L)$$

Im Speicherring kann man die Lage des Closed Orbit jedoch nur an bestimmten, diskreten Stellen  $s_m$  messen, nämlich dort, wo Positionsmonitore angebracht sind. Störkicks, die an der Stelle  $s_i$  dem Strahl einen Winkel  $\varepsilon_i$  aufprägen, bewirken demnach an den Stellen  $s_m$  der Monitore die Ablagen:

$$y''(s_m) = \sum_i \underbrace{\frac{\sqrt{\beta(s_m)}}{2 \sin \pi Q} \sqrt{\beta(s_i)} \cos(\phi(s_i) - \phi(s_m) - \pi Q)}_{b_{mi}} \cdot \varepsilon_i$$

Schreibt man die Ablagen  $y(s_m)$  an den Monitoren und die Störkicks  $\varepsilon_i$  als Spaltenvektor, so ergeben sich die Ablagen aus den Störungen über die Matrix  $b_{mi}$ :

$$\begin{pmatrix} y^0(s_1) \\ y^0(s_2) \\ \vdots \\ y^0(s_m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{mi} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_i \end{pmatrix}$$

Das Problem der Closed Orbit Korrektur ist nun folgendes: Die Störungen sind in der Regel weder nach Ort  $s_i$  noch nach Stärke  $\varepsilon_i$  bekannt. Die einzige Aussage, die man hat, sind die von den irgendwo vorhandenen Störungen erzeugten Ablagen  $y_m^0$  an den Orten der Positionsmonitore. Diese Ablagen kann man dadurch ändern, daß man an bekannten Orten  $s_j$  Korrekturkicks  $\Theta_j$  erzeugt, die ihrerseits Ablagen erzeugen, die sich den Ablagen aufgrund der unbekanntenen Störungen linear überlagern. Die Aufgabe der Closed Orbit Korrektur ist es nun, die Korrekturkicks  $\Theta_j$  so einzustellen, daß die Ablagen an den Monitoren minimal werden. Als Maß für die Güte der Korrektur betrachte ich den Kehrwert der Summe der Quadrate aller Monitorablagen, die sich durch Störungen und Korrekturkicks ergeben: Güte der Korrektur  $\sim \frac{1}{f(\Theta_1, \dots, \Theta_y)}$

mit 
$$f(\Theta_1, \dots, \Theta_y) = \sum_{m=1}^M \left( y_m^0 + \sum_{j=1}^y a_{mj} \Theta_j \right)^2$$

Da sowohl die Orte der Monitore wie die der Korrektur Elemente bekannt sind, ist die Matrix  $(a_{mj})$  aus der Optik der idealen Maschine bekannt.

Aus praktischen Gründen wird die Funktion  $f$  noch folgendermaßen modifiziert:

$$f(\Theta_1, \dots, \Theta_y) = \sum_{m=1}^M p_m \left( y_m^0 + \sum_{j=1}^y a_{mj} \Theta_j \right)^2 + \gamma \sum_{j=1}^y \beta_j \Theta_j^2$$

Die Faktoren  $p_m$  erlauben es, Ablagen an bestimmten Monitoren (, die etwa an Stellen besonders kleiner Apertur stehen) besonders zu bewichten. Der zweite Term hat die Aufgabe, bei besonders flachen Minima der Funktion  $f$  denjenigen Korrektursatz  $\Theta_1, \dots, \Theta_y$  zu finden, der den kleinsten Aufwand an Leistung erfordert (s. a. Abschnitt III). Die Aufgabe der Closed Orbit Korrektur ist es nun, einen Satz von Korrekturkicks  $\Theta_1, \dots, \Theta_y$  zu finden, der die Funktion  $f$  minimalisiert.

### III. Mathematisches Lösungsverfahren

Eine notwendige Bedingung für das Vorliegen eines Extremums ist das Verschwinden aller partieller Ableitungen. Da es endliche Maxima für  $f(\Theta_1 \dots \Theta_4)$  nicht gibt, ist dies eine notwendige Bedingung für das Vorliegen eines Minimums. Diese Bedingung führt auf ein homogenes System partieller Differentialgleichungen:

$$\frac{\partial}{\partial \Theta_j} f(\Theta_1 \dots \Theta_4) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, 4$$

Die partielle Ableitung z. B. nach  $\Theta_i$  läßt sich ausführen:

$$\frac{\partial}{\partial \Theta_i} f(\Theta_1 \dots \Theta_4) = \sum_{m=1}^M 2 p_m \left( \gamma_m^0 + \sum_{j=1}^4 a_{mj} \Theta_j \right) a_{mi} + 2 \gamma \beta_i \Theta_i = 0$$

$$0 = \sum_{m=1}^M p_m \left( a_{mi} \gamma_m^0 + \sum_{j=1}^4 a_{mi} a_{mj} \Theta_j \right) + \gamma \beta_i \Theta_i$$

$$\Rightarrow \sum_{j=1}^4 \underbrace{\left( \sum_{m=1}^M p_m a_{mi} a_{mj} + \gamma \delta_{ij} \beta_j \right)}_{B_{ij}} \Theta_j = - \underbrace{\sum_{m=1}^M p_m a_{mi} \gamma_m^0}_{\bar{T}_i}$$

$$\Rightarrow \sum_{j=1}^4 B_{ij} \Theta_j = - \bar{T}_i \quad (6)$$

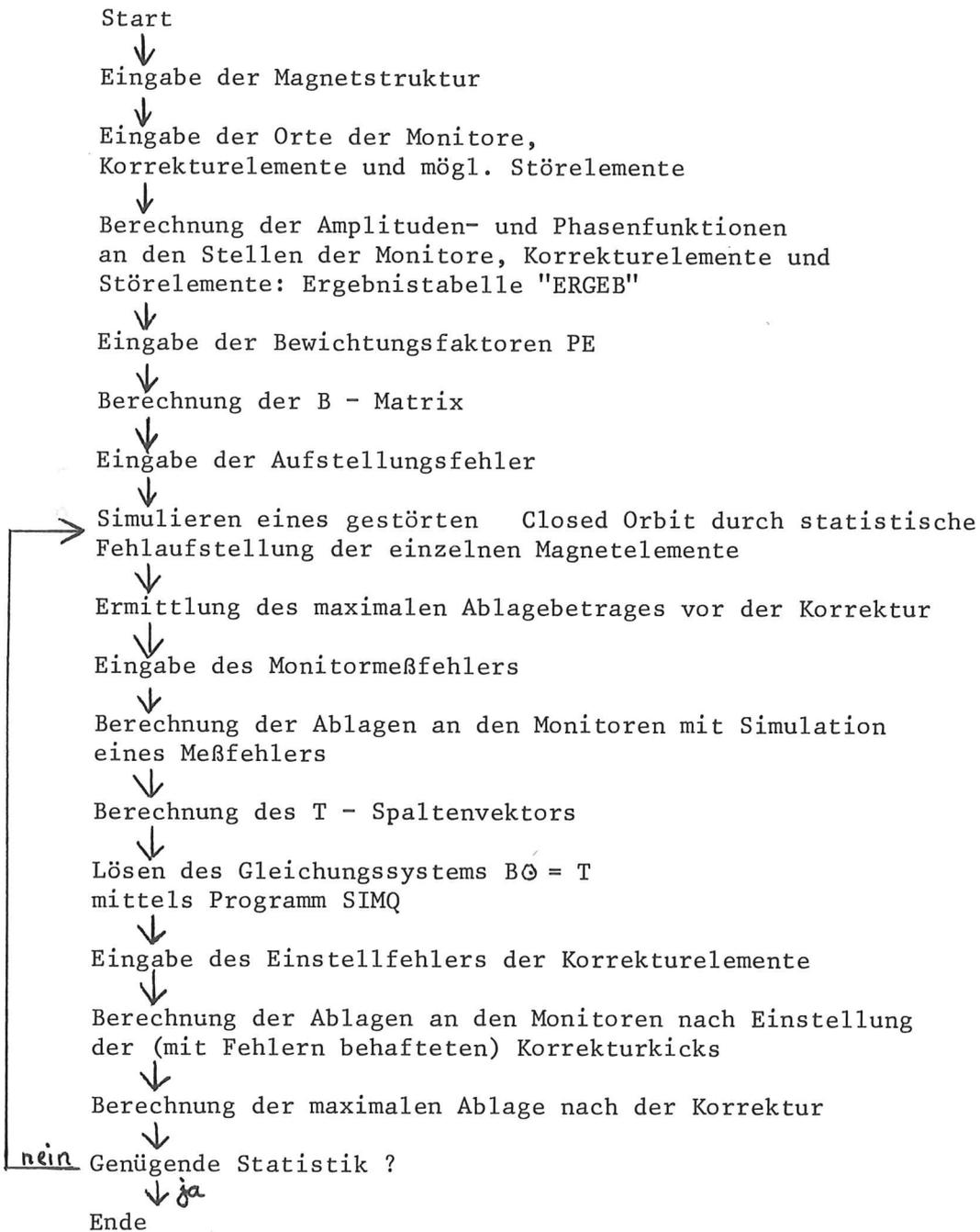
Damit ist die Closed Orbit Korrektur auf die Lösung des linearen, inhomogenen Gleichungssystems (6) zurückgeführt, das sich in Matrixschreibweise kurz darstellen läßt als

$$B \cdot \Theta = T$$

Ein solches inhomogenes Gleichungssystem ist lösbar, wenn der Rang der Matrix  $(B)$  gleich dem Rang der erweiterten Matrix  $(B, T)$  ist. Diese Bedingung ist im allgemeinen stets erfüllt: Da der gestörte Closed Orbit vor der Korrektur ein endliches  $f(\theta_1=0, \theta_2=0, \dots, \theta_j=0)$  hat, ist die Forderung nach einem Minimum von  $f$  zumindest trivial zu erfüllen. Wichtiger ist die Frage nach der Eindeutigkeit der Lösung. Dazu wird zunächst der Fall  $\gamma = 0$  betrachtet.

Dann ist die Matrix  $B$  symmetrisch mit der Zeilen- und Spaltenzahl  $J$ . Das Gleichungssystem ist eindeutig bestimmt, wenn der Rang von  $B$  gleich  $J$  ist. Der Rang von  $B$  ist aber gleich dem Rang von  $a_{kl}$ , da  $B$  als Produkt von  $a_{kl}$  mit  $a_{kl}^T$  eine Linearform von  $a_{kl}$  ist.  $a_{kl}$  verknüpft die  $M$  Monitore mit den  $J$  Korrekturkicks. Der Rang von  $a_{kl}$  ist also stets kleiner oder gleich der kleineren der beiden Zahlen  $M$  und  $J$ . Damit ist auch der Rang von  $B$  kleiner oder gleich der kleineren der beiden Zahlen  $M$  und  $J$ . Nimmt man an,  $a_{kl}$  sei nicht entartet, so gibt es eine eindeutige Lösung, wenn die Zahl der Monitore  $M$  größer oder gleich der Anzahl der Korrekturlemente  $J$  ist. In allen anderen Fällen, sei es, daß  $a$  entartet ist oder daß die Zahl der Monitore kleiner ist als die Zahl der Korrekturlemente, gibt es eine Vielfalt von Lösungen. Indem man  $\gamma \neq 0$  wählt, kann man in diesem Fall unter den möglichen Lösungen diejenige als eindeutige Lösung herausuchen, die mit den geringsten Korrekturwinkeln  $\theta_j$  auskommt.

Fig. 6: Flußdiagramm für das Programm "MUAIK"



#### IV. Aufgabe und Beschreibung des Programms "MUAIK"

---

Der DESY-Speicherring enthält Stellen mit einer etwa zehnmal größeren Amplitudenfunktion als in bisher gebauten Synchrotrons und Speicherringen (Fig. 5). Da Strahlablagen gemäß (5) proportional zur Wurzel aus der Amplitudenfunktion am Ort des Monitors und proportional zur Wurzel aus der Amplitudenfunktion am Ort der Störung anwachsen, sind Abschnitte mit großer Amplitudenfunktion besonders empfindlich gegenüber Closed Orbit Störungen. Für den DESY-Speicherring müssen daher neben Strahlpositionsmeßmöglichkeiten auch Korrektur Elemente vorgesehen werden. Um dieses Korrektursystem (sinnvoll) auslegen zu können, wurde ein Rechenprogramm aufgebaut, das folgende Aufgaben erfüllen muß (Fig.6):

1. Simulation eines gestörten Closed Orbit durch statistische Fehlaufstellung der Magnelemente mit einer vorgegebenen Standardabweichung (SOR).
2. Messung der Ablagen (aufgrund der in (1) erzeugten Störungen) an den Stellen von 50 Beobachtungsmonitoren. Bestimmung von Größe und Ort der maximalen Ablage.
3. Korrigieren dieses gestörten Closed Orbit, wobei zur Information für das Korrekturprogramm die mit einem "Meßfehler" (mit vorwählbarer Standardabweichung SIM) versehenen Angaben vorwählbarer Monitore benutzt werden. Das Korrekturprogramm berechnet dann Korrekturwinkel für die nach Anzahl und Ort vorwählbaren Korrekturspulen.
4. Messung der Ablagen, die aufgrund von Störungen und Korrekturkicks erzeugt werden, wobei die berechneten Korrekturkicks mit einem vorwählbaren "Einstellfehler" (SIE) versehen wurden. Bestimmung von Größe und Ort der maximalen Ablage nach der Korrektur.

Um die Güte der Korrektur statistisch testen zu können, wurden für jede Monitor/Korrekturspulen-Anordnung 50 statistisch verschiedene Maschinen durchgerechnet. Bei jeder Maschine wird die max. Ablage vor und nach der Korrektur bestimmt. Als Maß für die Güte der Korrektur wird der Kehrwert der mittleren maximalen Ablage nach der Korrektur YMN benutzt.

V. Ergebnisse der Simulationsrechnungen

Aufgabe der Simulationsrechnungen war die Festlegung der Orte und der Anzahl der Korrektur Elemente, die man für eine sinnvolle Closed Orbit Korrektur für den DESY-Speicherring benötigt. Dabei wurde zunächst eine Monitorkonfiguration gemäß Tabelle 1 vorausgesetzt. Diese Konfiguration wird durch die Notwendigkeit der Überwachung des Einschusses und des Kreuzungswinkels nahegelegt. Diese Konfiguration wird jedoch in Abschnitt b) auf Zweckmäßigkeit für die Closed Orbit Korrektur geprüft.

Positionen der Positionsmonitore für

<u>vertikale Richtung</u>	<u>horizontale Richtung</u>
4x PW 34	4x PW 34
4x PM 70	4x PM 181
4x PM 86	4x PM 227
4x PM 119	4x PM 328
4x PM 181	4x PM 373
4x PM 227	
4x PM 328	
4x PM 373	
1x PM 391	1x PM 391

Tabelle 1

a) Da man Störungen optimal da korrigieren kann, wo sie entstehen, und weil die Wahrscheinlichkeit, daß an einer Stelle im Ring eine Störung vorliegt, mit der Amplitudenfunktion ansteigt, wurde zur Festlegung der Orte und der Anzahl der Korrekturspulen so vorgegangen, daß zuerst an die Stelle mit der größten Amplitudenfunktion Korrekturspulen gesetzt wurden, dann an die Stelle mit der nächstgrößten Amplitudenfunktion, wenn diese Stelle zu den benachbarten Korrekturspulen einen genügend großen Phasenabstand  $\Delta\phi > 10^\circ$  aufweist. Von diesem Verfahren wurden nur die Magnetelemente ausgenommen, die zugleich auf beide Strahlen wirken. Statt dieser Elemente wurden jeweils die phasenmäßig nächstliegenden Magnetelemente benutzt, die nur auf einen Strahl wirken. Nacheinander wurden daher an folgende Stellen im Ring Korrekturspulen aufgestellt:

	HORIZONTAL		VERTIKAL	
	O r t	Ampl. Fkt.	O r t	Ampl. Fkt.
1. Schritt	4x DQ 100 (statt WQ 18)	13 m (86 m)	4x HS 78 (statt WQ 26)	60 m (642 m)
2. Schritt	4x DQ 387	30 m	4x DQ 314	43 m
3. Schritt	4x DQ 178	20 m	4x DQ 167	40 m
4. Schritt	4x DQ 143	14 m	4x DQ 382	22 m
etc.	etc.		etc.	

Tabelle 2

Als Maß für die Güte der Korrektur wird im folgenden wieder der Kehrwert der mittleren maximalen Ablage YMN nach der Korrektur benutzt, wobei jeweils über die maximalen Ablagen nach der Korrektur von 50 statistisch verschiedenen gestörten Closed Orbits gemittelt wurde. Aufgrund der Fehlinformation des Korrekturprogramms infolge des endlichen Meßfehlers des Positionsmonitors läßt sich YMN auch mit beliebig vielen Korrektur-elementen nicht beliebig klein machen. Der Monitormeßfehler wird im folgenden mit  $\Delta x = \pm 1$  mm angenommen. Berechnet man YMN mit diesem Monitorfehler und unter der Voraussetzung, daß der Closed Orbit nicht gestört ist und daß sich die Korrekturspulen beliebig genau einstellen lassen, so ergibt eine solche Rechnung das aufgrund der Fehlinformation des Korrekturprogramms minimal erreichbare YMN. Dieses minimal erreichbare YMN ist in Fig. 1 als Funktion der Anzahl der Korrekturspulen angegeben.

Daraus ergibt sich, daß es nicht sinnvoll ist, den Aufwand an Korrektur-elementen weiter zu treiben, als bis die ohne Meß- und Einstellfehler erreichte mittlere maximale Ablage nach der Korrektur mit diesen Werten vergleichbar wird. Als sinnvoll wurde daher eine Korrekturmöglichkeit bezeichnet, die es gestattet, YMN-Werte von 2 bis 3 mm zu erreichen unter den Voraussetzungen, daß erstens die Magnete auf  $\pm 0,1$  mm genau aufgestellt werden können und zweitens der Meßfehler des Positionsmonitors  $\Delta x = \pm 1$  mm beträgt.

Eine solche Korrektur läßt sich bereits mit 12 Korrektur-elementen pro Ring erreichen. Gegenüber der Korrektur-elemente-Konfiguration des Schritts 3 aus Tabelle 1 wurden aus folgenden Gründen Änderungen vorgenommen:

Horizontal:

Statt DQ 178 wurde DQ 143 benutzt, da zwischen DQ 100 und DQ 178 annähernd ein Phasenvorschub von  $\pi$  liegt, was zu einer Entartung der A-Matrix führt. Von den 4 Korrekturspulen in DQ 387 wurden 2 gestrichen, da sie phasenmäßig sehr nahe beieinander liegen und diese Maßnahme für die Korrektur keine Verschlechterung bedeutet. Außerdem wurde statt DQ 387 DQ 376 gewählt, da DQ 376 bei fast allen Arbeitspunkten außer dem Injektionsfall eine größere Amplitudenfunktion aufweist.

Vertikal:

DQ 314 wurde zugunsten von DQ 382 gestrichen, da die Quadrupole zwischen den Ablenkmagneten für Sextupolwindungen freigehalten werden sollten und diese Änderung weniger als 0,2 mm Verschlechterung in YMN bedeutet.

Als endgültig wurde daher folgende Korrekturspulen-Konfiguration gewählt:

	Horizontal	Vertikal
1. Quadrant	DQ 100, DQ 143,	HS 78, DQ 167, DQ 382
2. "	" " DQ 176	" " "
3. "	" "	" " "
4. "	" " "	" " "

Tabelle 3

Für diese Korrekturspulen-Konfiguration gibt Fig. 2 die mittleren maximalen Ablagen nach der Korrektur in Abhängigkeit von den Meß- und Einstellfehlern an Fig. 2 gilt für einen Aufstellfehler der Magnete von  $\pm 0,1$  mm. Dabei mußten die Korrekturspulen maximal so weit angesteuert werden, daß sie einen Winkel von 0,8 mrad im Strahl erzeugten. Da eine Einstellschrittweite für die Felder der Korrekturspulen von 1  $^{\circ}$ /oo technisch vertretbar ist, wurde die vorzusehende Schrittweite für die Korrekturspulen auf  $1 \cdot 10^{-6}$  rad festgelegt.

Berechnet man die mittlere maximale Ablage nach der Korrektur bei einem Monitor-meßfehler von 1 mm und einem Einstellfehler von  $1 \cdot 10^{-6}$  rad für größere Magnetaufstellfehler, so ergibt sich ein Verhalten der Korrektur gemäß Fig. 3. Für große Aufstellfehler steigt YMN proportional zum Aufstellfehler an.

b) Um zu testen, ob durch eine größere Anzahl Monitore die Korrektur verbessert werden könnte, wurde für die in Tabelle 3 angegebene Korrekturspulenkonfiguration die Anzahl der Monitore variiert. Fig. 4 zeigt die erreichbaren mittleren maximalen Ablagen YMN nach der Korrektur in Abhängigkeit von der Zahl der Monitore. Auch bei einer Vergrößerung der Anzahl der Korrektur-elemente mit der Zahl der Monitore dürfte sich die Güte der Korrektur mit steigender Monitorzahl nicht wesentlich erhöhen, da die durch den Monitorfehler von  $\pm 1$  mm gegebene untere Grenze für YMN bei 49 Monitoren und 12 bzw. 10 Korrekturspulen schon fast erreicht ist.

c) Um zu testen, ob die angegebene Korrekturmethode auch bei anderen Arbeitspunkten zufriedenstellende Ergebnisse liefert, wurden 18 verschiedene Modellfälle des DESY-Speicherringes mit unterschiedlichen Arbeitspunkten untersucht: Für jeden Modellfall wurden die Korrekturen für je 50 statistisch verschieden fehlaufgestellte Maschinen in der horizontalen und in der vertikalen Richtung berechnet. Die Arbeitspunkte und die über die 50 Fälle gemittelten maximalen Ablagen vor und nach der Korrektur sind in Tabelle 4 bzw. Fig. 6 und 7 zusammengestellt. Die Abhängigkeit der mittleren maximalen Ablagen YMN von  $Q_x$  bzw.  $Q_z$  in horizontaler bzw. vertikaler Richtung entspricht einer  $\frac{1}{\sin Q_x}$  bzw.  $\frac{1}{\sin Q_z}$  - Funktion. Die Ablagen in horizontaler Richtung nach der Korrektur sind auch in der Nähe ganzzahliger Resonanzen zufriedenstellend. In vertikaler Richtung wird in der Nähe einer ganzzahligen Resonanz die numerische Bestimmung des Rangs der Matrix B unsicher, was zu einer fehlerhaften Lösung des Gleichungssystems führen kann. ( Im Fall, daß man den Speicherring in der Nähe einer ganzzahligen Resonanz betreiben will, muß der Abschneideparameter EPS im Unterprogramm MFGR (SSP - LIB) der Größe der Matrixelemente angepaßt werden.)

Tabelle 4

$Q_x$	$Q_z$	YMN Vertikal	YMV Vertikal	YMN Horizontal	YMV Horizontal
9.1	4.1	0.0022	0.1380	0.0020	0.0228
9.055	3.525	0.0020	0.0531	0.0020	0.0402
9.035	4.349	0.0023	0.0500	0.0021	0.0649
9.072	4.855	0.0027	0.1508	0.0020	0.0317
9.264	4.694	0.0025	0.0752	0.0021	0.0096
9.238	4.085	0.0023	0.1500	0.0020	0.0102
9.439	3.741	0.0023	0.0861	0.0020	0.0069
9.439	4.497	0.0023	0.0506	0.0020	0.0070
9.493	4.947	XXXXXX	0.3301	0.0020	0.0069
9.618	4.606	0.0024	0.0596	0.0020	0.0072
9.603	3.928	XXXXXX	0.2348	0.0020	0.0070
9.758	3.926	XXXXXX	0.2296	0.0020	0.0096
9.767	4.606	0.0024	0.0598	0.0020	0.0099
9.935	4.948	XXXXXX	0.3428	0.0020	0.0306
9.886	4.499	0.0023	0.0510	0.0020	0.0183
9.907	3.736	0.0023	0.0853	0.0020	0.0217
10.017	4.078	0.0024	0.1647	0.0021	0.1075
10.030	4.693	0.0025	0.0759	0.0020	0.0632

Angabe der YMN und YMV ist in Metern.

## VI. ZUSAMMENFASSUNG

Die maximale Ablage des Strahls nach der Korrektur wird bestimmt durch

- a) Meßfehler des Positionsmonitors
- b) Einstellfehler der Korrekturspule
- c) Größe der Störungen vor der Korrektur
- d) Anzahl und Position der Monitore
- e) Anzahl und Position der Korrekturspulen

Da ein systematisches Durchtesten aller Kombinationen der aufgeführten Variablen unmöglich ist, wurden plausibel erscheinende Monitor/Korrekturspulen-Konfigurationen unter folgenden Voraussetzungen getestet.

- $\alpha$ ) Meßfehler des Positionsmonitors:  $\Delta x = \pm 1 \text{ mm}$
- $\beta$ ) Einstellfehler der Korrektur Elemente:  $\Delta \Theta = \pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$
- $\gamma$ ) Aufstellfehler der Magnelemente:  $\Delta x = \pm 0.1 \text{ mm}$  (Quadrupole)  
 $\Delta \Theta = \pm 0.1 \text{ mrad}$  (Ablenk magneten)

Als zweckmäßige Monitor/Korrekturspulen-Konfiguration wurde die in Tab. 1 bzw. 3 aufgeführte ausgewählt. Dieses System verhält sich gegenüber einer Variation von a und b gemäß Fig. 2 und gegenüber einer Variation von c gemäß Fig. 3. Unter der Voraussetzung der in  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  aufgeführten Fehler kann man nach der Korrektur maximale Ablagen von  $\leq 2,5 \text{ mm}$  erwarten.

A n h a n g 1

Die Lösung des Gleichungssystems  $B\Theta = T$  erfordert einen erheblichen Rechenaufwand ( $\sim 3$  sec bei IBM 360-75), der für jede Korrektur neu zu leisten ist. Um diesen Rechenaufwand zu verkleinern, wurde von Guignard folgendes Lösungsverfahren vorgeschlagen:

Die Matrix  $B$  stellt eine Transformation dar, die den Vektor  $\Theta$  in den Vektor  $T$  transformiert. Dabei ist  $\Theta$  in einer Basis dargestellt, in der jede einzelne Korrekturspule einen Basisvektor darstellt. Wählt man als eine neue Basis die Eigenvektoren  $\Theta^p$  zu dieser Transformation, so würde sich  $B$  als Diagonalmatrix darstellen. Die Eigenwerte  $\lambda_p$  zu den Eigenvektoren  $\Theta^p$  hängen mit  $B$  über

$$B \Theta^p = \lambda_p \Theta^p$$

zusammen. Die  $\lambda_p$  sind reel und positiv oder null. Aus den Eigenschaften von  $B$  folgt, daß man die Eigenwerte und Eigenvektoren zu  $B$  stets berechnen kann. Eigenvektoren zu verschiedenen Eigenwerten sind orthogonal, Eigenvektoren zu einem  $n$ -fach entarteten Eigenwert kann man z. B. mittels des Schmidt'schen Orthogonalisierungsverfahren orthogonalisieren. Alle Eigenvektoren kann man noch auf 1 normieren:

Im folgenden wird daher vorausgesetzt, daß es Eigenwerte  $\lambda_p$  und dazugehörend orthonormale Eigenvektoren gebe. Dann kann man über die Lösungsgesamtheit von  $B\Theta = T$  folgende Aussagen machen:

Das Gleichungssystem  $B\Theta = T$  ist genau dann eindeutig lösbar, wenn die Determinante der Koeffizientenmatrix  $B$  ungleich 0 ist. Da Determinante  $(B) = \prod \lambda_p$  ist, hat das Gleichungssystem genau dann eine Lösung, wenn alle  $\lambda_p \neq 0$  sind.

Rechnet man aber die  $\lambda_p$  auf der Maschine aus, so kommt  $\lambda_p = 0$  praktisch nie vor. Was  $\lambda_p \approx 0$  bedeutet, kann man folgendermaßen einsehen:

Zu dem fraglichen Eigenwert  $\lambda_p$  gehört ein Eigenvektor  $\Theta^p$ . Ich frage, welche Ablagen stellen sich an meinen  $M$  Monitoren ein, wenn ich an meinen Korrekturspulen den Eigenvektor

$$\Theta^P = \begin{pmatrix} \Theta_1^P \\ \Theta_2^P \\ \Theta_3^P \end{pmatrix}$$

einstelle? Als Maß für die Ablagen nehme ich wieder die Summe über die Ablagenquadrate:

$$\begin{aligned} \sum_m (Y_m)^2 &= \sum_m \sum_{l,k} a_{ml} \Theta_l^P \cdot a_{mk} \Theta_k^P \\ &= \sum_{l,k} \underbrace{\sum_m a_{ml} a_{mk}}_{B_{lk}} \Theta_l^P \Theta_k^P \\ &= \sum_{l,k} B_{lk} \Theta_l^P \Theta_k^P = \sum_l \lambda_P \Theta_l^P \Theta_l^P = \lambda_P \end{aligned}$$

Der Eigenwert  $\lambda_P$  ist also ein Maß dafür, wie der Eigenvektor  $\Theta^P$  bezüglich der Ablagen in den Monitoren wirkt. Ein Eigenwert  $\lambda_P = 0$  heißt also: Egal wie stark ich den Eigenvektor  $\Theta^P$  in meinen Korrekturspulen einstelle, an den Ablagen in meinen Monitoren ändert sich nichts. D. h.:

Stelle ich den Lösungsvektor  $\Theta$  dar, als Linearkombination der Eigenvektoren  $\Theta^P$

$$\Theta = \sum A^P \Theta^P$$

so kann ich die Summe aufspalten in Eigenvektoren  $\Theta^\alpha$  die zu Eigenwerten  $\lambda_\alpha \neq 0$  gehören und solchen Eigenvektoren  $\Theta^\beta$ , die zu Eigenwerten  $\lambda_\beta = 0$  gehören:

$$\Theta = \sum_\alpha A^\alpha \Theta^\alpha + \sum_\beta A^\beta \Theta^\beta$$

Die Koeffizienten  $A^\alpha$  sind dann wohl bestimmt, die Koeffizienten  $A^\beta$  jedoch frei wählbar. Unter diesen beliebig vielen Lösungen  $\Theta$  suche ich nun die sinnvollste:

Erstens möchte ich die Korrektur möglichst ökonomisch ausführen und zweitens möchte ich die Erzeugung unnötiger Winkel im Strahl verhindern:

Beide Forderungen werden durch

$$\sum_{j=1}^4 \Theta_j^2 = \min. \quad \text{bzw.} \quad \sum_{j=1}^4 \beta_j \Theta_j^2 = \min$$

erfüllt. Da aber

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^J \Theta_j^2 &= \sum_{j=1}^J \left( \sum_P A^P \Theta^P \cdot \sum_Q A^Q \Theta_j^Q \right) \\ &= \sum_P (A^P)^2 = \sum_\alpha (A^\alpha)^2 + \sum_\beta (A^\beta)^2 \end{aligned}$$

Die zweckmäßigste Lösung ist also die mit allen  $A^\beta = 0$

Man läßt also bei der Korrektur alle Eigenvektoren, die sehr kleines  $\lambda_P$  haben unberücksichtigt.

Wie sieht nun aber die tatsächliche Lösung des Gleichungssystems aus?

$$B \Theta = T$$

$$B \sum_P A^P \Theta^P = T$$

$$\sum_P A^P B \Theta^P = T$$

$$\sum_P A^P \lambda_P \Theta^P = T \quad | \cdot (\Theta^Q)^T$$

$$\sum_P A^P \lambda_P (\Theta^Q)^T \Theta^P = (\Theta^Q)^T \cdot T \quad \Rightarrow \quad A^P = \frac{(\Theta^P)^T \cdot T}{\lambda_P}$$

$$\Rightarrow \Theta = \sum_P \frac{1}{\lambda_P} (\Theta^P)^T \cdot T \cdot \Theta^P$$

Aus der Summe werden nun alle Eigenvektoren gestrichen, die sehr kleines  $\lambda_P$  haben, so daß sich ergibt:

$$\Theta_j = \sum_{\substack{P \\ \lambda_P > \varepsilon}} \frac{1}{\lambda_P} \sum_{l=1}^J \Theta_l^P \cdot T_l \cdot \Theta_j^P \quad j = 1, \dots, J \quad (10)$$

Wie wäre bei diesem Verfahren also der Rechengang der Korrektur?

Wenn die Optik des Speicherringes festliegt, ist A bekannt, damit wegen  $B = A^T A$  auch B. Damit kann ich die Eigenwerte und Eigenvektoren von B bestimmen. Die N Eigenvektoren zum N-fach entarteten Eigenwert  $\lambda$  orthogonalisiere ich z. B. nach

Schmidt. Die entstandenen Vektoren werden normiert.

Diese Rechnungen kann ich sämtlich ohne Kenntnis der von den Monitoren gemessenen Ablagen durchführen, also schon vor dem Einschuß.

Will ich nun tatsächlich eine Korrektur durchführen, so wird nur per Matrixmultiplikation

$$T = A^T \cdot Y^0$$

die  $T_i$  ausgerechnet und die Matrixmultiplikation in (10) ausgeführt, um einen Satz  $\odot$  von Korrekturkicks zu erhalten.

Man kann mit dieser Methode die Korrektur in einen "schweren optischen Teil", den man ausführen kann, wenn man die Optik kennt, und einen leichten aktuellen Teil, der die Kenntnis der Strahlablagen voraussetzt, aufteilen.

A n h a n g 2 :

Simulationsprogramm MUAIK :

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,  
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SUBROUTINE DATIN5

DATA IZ/1HZ/

COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),  
LMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM  
2,ORTOIV(4,2),ANFB(4,2),ERGB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRI  
REAL LAENG,LMTR

C  
C  
C

LESEN DER MONITORPOSITIONEN

DO 1 I=1,50  
READ(5,2) SM(I)  
2 FORMAT(F9.5)  
IF(SM(I).GE. 500.) GO TO 3  
1 CONTINUE

C  
C  
C

LESEN DER HORIZONTALEN STOERSPULENPOSITIONEN

3 CONTINUE  
DO 4 I = 1,220  
READ(5,2) SH(I)  
IF(SH(I).GE. 500.) GO TO 5  
4 CONTINUE

C  
C  
C

LESEN DER VERTIKALEN STOERSPULENPOSITIONEN

5 CONTINUE  
DO 7 I = 1,220  
READ(5,2) SV(I)  
IF(SV(I).GE. 500.) GO TO 8  
7 CONTINUE

C  
C  
C

LESEN DER HORIZONTALEN KORREKTURSPULENPOSITIONEN

8 CONTINUE  
DO 10 I=1,50  
READ(5,2)CH(I)  
IF(CH(I).GE. 500.) GO TO 11  
10 CONTINUE

C  
C  
C

LESEN DER VERTIKALEN KORREKTURSPULENPOSITIONEN

11 CONTINUE  
DO 12 I=1,50  
READ(5,2) CV(I)  
IF(CV(I).GE. 500.) GO TO 13  
12 CONTINUE

C  
C  
C  
C

LESEN DER MAGNETSTRUKTUR UND BILDEN DER GESAMMTLAENGE SL(I)  
BIS ZUM I-TEN ELEMENT

13 CONTINUE  
SUM = 0.  
DO 14 I=1,240  
READ(5,15) LB(I),(PAR(I,L),L=1,6)  
15 FORMAT(A1,F9.0,5F10.0)

```

SUM=SUM+PAR(I,6)
SL(I)=SUM
IF(LB(I).EQ. IZ) GO TO 16
14 SL(I) = SUM
16 CONTINUE

```

C  
C  
C

```

LESEN DER ANFANGSBEDINGUNGEN DER ORTHOGONALTRAJEKTORIEN

READ(5,17)ANFB(1,1),ANFB(2,1),ANFB(3,1),ANFB(4,1)
READ(5,17)ANFB(1,2),ANFB(2,2),ANFB(3,2),ANFB(4,2)
17 FORMAT(4F12.4)
CALL SCR16
RETURN
END

```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 51 ,PROGRAM SIZE = 1202

NO DIAGNOSTICS GENERATED

IF COMPILATION \*\*\*\*\*

119K BYTES OF CORE NOT U

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

OMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,  
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

```

SUBROUTINE SCR15
COMMON/INTERN/SM(50),SH(50),SV(50),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),
LUMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGB(500,8),IK,K7,Q,QX,QZ,IRICHT
REAL LAENG,LMTR
WRITE(6,32) SUM
32 FORMAT(36H TRANSFORMATIONSMATRIX BEI LAENGE=,F6.2,5HMETER)
WRITE(6,34) ((VMTR(I,M),M=1,4),I=1,4)
34 FORMAT(1H ,8X,4F12.4)
WRITE(6,34) ((LUMTR(I,M),M=1,4),I=1,4)
WRITE(6,34) ((LMTR(I,M),M=1,4),I=1,4)
WRITE(6,35)
35 FORMAT(1H ,130(1H-))
RETURN
END

```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 13 ,PROGRAM SIZE = 766

NO DIAGNOSTICS GENERATED

IF COMPILATION \*\*\*\*\*

123K BYTES OF CORE NOT U

SEPT 69 1

OS/360 FORTRAN H

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,  
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SUBROUTINE SCRI6  
COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),  
1UMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM  
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGER(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT  
REAL LAENG,LMTR

C  
C  
C

SCRI6 SCHREIBT DIE EINGABE - DATEN AUS

```
76 FORMAT(1H ,F9.5,7H METER )  
WRITE(6,74)  
74 FORMAT(/,1H1,22HMAGNETSTRUKTUR /1H ,130(1H-))  
DO 20 I=1,240  
WRITE(6,16) LB(I),(PAR(I,L),L=1,6),SL(I)  
16 FORMAT(1H ,A1,7F11.5)  
20 CONTINUE  
WRITE(6,75)  
75 FORMAT(1H ,41HMONITORPOSITIONEN )  
DO 30 I=1,50  
WRITE(6,76) SM(I)  
30 CONTINUE  
WRITE(6,85)  
85 FORMAT(1H ,42HPOSITIONEN DER HORIZONTALEN STOERSPULEN)  
DO 40 I = 1,100  
WRITE(6,76) SH(I)  
40 CONTINUE  
WRITE(6,95)  
95 FORMAT(1H ,40HPOSITIONEN DER VERTIKALEN STOERSPULEN)  
DO 50 I=1,100  
WRITE(6,76) SV(I)  
50 CONTINUE  
WRITE(6,105)  
105 FORMAT(1H ,46HPOSITIONEN DER HORIZONTALEN KORREKTURSPULEN)  
DO 60 I=1,50  
WRITE(6,76) CH(I)  
60 CONTINUE  
WRITE(6,115)  
115 FORMAT(1H ,44HPOSITIONEN DER VERTIKALEN KORREKTURSPULEN)  
DO 70 I=1,50  
WRITE(6,76) CV(I)  
70 CONTINUE  
WRITE(6,1)  
1 FORMAT(1H ,18HANFANGSBEDINGUNGEN)  
WRITE(6,2)ANFB(1,1),ANFB(2,1),ANFB(3,1),ANFB(4,1)  
WRITE(6,2)ANFB(1,2),ANFB(2,2),ANFB(3,2),ANFB(4,2)  
2 FORMAT(1H ,4F9.4)  
RETURN  
END
```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 42 ,PROGRAM SIZE = 1458

NO DIAGNOSTICS GENERATED

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

```
COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
BLOCK DATA
COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),
1UMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGEB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT
REAL SM/50*0./,SH/220*0./,SV/220*0./,CH/50*0./,CV/50*0./,VMTR/16*0
1./,UMTR/16*0./,LMTR/16*0./,PAR/1440*0./,SL/240*0./,LAENG/0./
2,ERGEB/4000*0./
END
```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 4 ,PROGRAM SIZE = 8

NO DIAGNOSTICS GENERATED

IF COMPILATION \*\*\*\*\*

127K BYTES OF CORE NOT U

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

```
COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
SUBROUTINE MATVKL(AAS,AAK,AS,AK)
DIMENSION AAS(50,220),AAK(50,50),AS(50,220),AK(50,50),N(50)
DO 5 I=1,50
DO 6 K=1,220
6 AS(I,K)=0.
DO 5 K=1,50
5 AK(I,K)=0.
C EINLESEN DER NUMMERN DER EINGEBAUTEN MONITORE
READ(5,1) N
1 FORMAT(16I5)
DO 10 I=1,50
DO 3 M=1,50
IF(N(M).EQ.I) GOTO 9
3 CONTINUE
GOTO 10
9 DO 11 K=1,220
11 AS(I,K)=AAS(I,K)
DO 12 K=1,50
12 AK(I,K)=AAK(I,K)
10 CONTINUE
50 FORMAT(' *',10(F10.5,2X))
60 FORMAT(' **',10(F10.5,2X))
RETURN
END
```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 24 ,PROGRAM SIZE = 1158

NO DIAGNOSTICS GENERATED

IF COMPILATION \*\*\*\*\*

127K BYTES OF CORE NOT U

NO DIAGNOSTICS THIS STEP

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,  
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

```
SUBROUTINE REMA90
COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),
LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT
REAL LAENG,LMTR
RHO = PAR(LP,3)
EL = LAENG
PHI = EL / RHO
W = PHI * 0.5
```

C  
C  
C

TRANSFORMATIONSMATRIX FUER RECHTECKMAGNETEN

```
LMTR(1,1) = 1. - PHI * TAN(W)
LMTR(1,2) = RHO * PHI
LMTR(1,3) = 0.
LMTR(1,4) = 0.
LMTR(2,1) = ( -TAN(W) / RHO ) * ( 2. - PHI * TAN(W) )
LMTR(2,2) = 1.-PHI * TAN(W)
LMTR(2,3) = 0.
LMTR(2,4) = 0.
LMTR(3,1) = 0.
LMTR(3,2) = 0.
LMTR(3,3) = 1.
LMTR(3,4) = RHO * SIN(PHI)
LMTR(4,1) = 0.
LMTR(4,2) = 0.
LMTR(4,3) = 0.
LMTR(4,4) = 1.
RETURN
END
```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

: SOURCE STATEMENTS = 25 ,PROGRAM SIZE = 588

: NO DIAGNOSTICS GENERATED

JF COMPILATION \*\*\*\*\*

123K BYTES OF CORE NOT U

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

```
COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
SUBROUTINE SEMA90
COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),
1UMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGEB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT
REAL LAENG,LMTR
RHO = PAR(LP,3)
EL = LAENG
PHI = EL / RHO
C TRANSFORMATIONSMATRIX FUER SEKTORMAGNETEN( 90 GRAD GEDREHT)
LMTR(1,1) = 1.
LMTR(1,2) = EL
LMTR(1,3) = 0.
LMTR(1,4) = 0.
LMTR(2,1) = 0.
LMTR(2,4) = 0.
LMTR(3,1) = 0.
LMTR(2,2) = 1.
LMTR(2,3) = 0.
LMTR(3,2) = 0.
LMTR(3,3) = COS(PHI)
LMTR(3,4) = RHO * SIN(PHI)
LMTR(4,1) = 0.
LMTR(4,2) = 0.
LMTR(4,3) = -SIN(PHI) / RHO
LMTR(4,4) = COS(PHI)
RETURN
END
```

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

```
COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
SUBROUTINE SEMAGN
COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),
1UMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGEB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT
REAL LAENG,LMTR
RHO = PAR(LP,3)
EL = LAENG
PHI = EL / RHO
C
C TRANSFORMATIONSMATRIX FUER SEKTORMAGNETEN
C
LMTR(1,1) = COS(PHI)
LMTR(1,2) = RHO * SIN(PHI)
LMTR(1,3) = 0.
LMTR(1,4) = 0.
LMTR(2,1) = -SIN(PHI) / RHO
LMTR(2,2) = COS(PHI)
LMTR(2,3) = 0.
LMTR(2,4) = 0.
LMTR(3,1) = 0.
LMTR(3,2) = 0.
LMTR(3,3) = 1.
LMTR(3,4) = EL
LMTR(4,1) = 0.
LMTR(4,2) = 0.
LMTR(4,3) = 0.
LMTR(4,4) = 1.
RETURN
END
```

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

OMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,  
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SUBROUTINE QUADRU  
COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),  
LMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM  
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGEB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT

REAL LAENG,LMTR  
IF(ABS(PAR(LP,6)-1.10).LE. 0.001) GO TO 13  
QK = PAR(LP,1) \* (1. - 0.0205)  
WQK = SQRT(ABS(QK))  
FI = LAENG \* 1.021 \* WQK  
GO TO 14

13 QK = PAR(LP,1) \* (1. - 0.0162)  
WQK = SQRT(ABS(QK))  
FI = LAENG \* 1.0166 \* WQK  
GO TO 14

14 CONTINUE  
IF(PAR(LP,1).GT.0.) GO TO 11

C  
C  
C

QUADRUPOLE FOCUSSIEREND IN X

LMTR(1,1) = COS(FI)  
LMTR(1,2) = SIN(FI) / WQK  
LMTR(1,3) = 0.  
LMTR(1,4) = 0.  
LMTR(2,1) = -WQK \* SIN(FI)  
LMTR(2,2) = COS(FI)  
LMTR(2,3) = 0.  
LMTR(2,4) = 0.  
LMTR(3,1) = 0.  
LMTR(3,2) = 0.  
LMTR(3,3) = COSH(FI)  
LMTR(3,4) = SINH(FI) / WQK  
LMTR(4,1) = 0.  
LMTR(4,2) = 0.  
LMTR(4,3) = WQK \* SINH(FI)  
LMTR(4,4) = COSH(FI)  
GO TO 12

11 B=B

C  
C  
C

QUADRUPOLE DEFOCUSSIEREND IN X

LMTR(1,1) = COSH(FI)  
LMTR(1,2) = SINH(FI) / WQK  
LMTR(1,3) = 0.  
LMTR(1,4) = 0.  
LMTR(2,1) = WQK \* SINH(FI)  
LMTR(2,2) = COSH(FI)  
LMTR(2,3) = 0.  
LMTR(2,4) = 0.  
LMTR(3,1) = 0.  
LMTR(3,2) = 0.  
LMTR(3,3) = COS(FI)  
LMTR(3,4) = SIN(FI) / WQK  
LMTR(4,1) = 0.  
LMTR(4,2) = 0.  
LMTR(4,3) = -WQK \* SIN(FI)

```

      LMTR(4,4) = COS(FI)
12  B=B
      RETURN
      END

```

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

```

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
                  SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
SUBROUTINE ERGEBN
COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),
1UMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAFNG,LP,SUM
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGEB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT
REAL LAENG,LMTR

```

```

C
C      'ERGEBN' BERECHNET AUS DEN TRANSFORMATIONSMATRIZEN
C      UND DEN ANFANGSBEDINGUNGEN DIE AMPLITUDEFUNKTIONEN
C      UND DIE COSINI BEZW. SINI DER PHASENFUNKTIONEN AN VOR-
C      GEGEBENEN STELLEN. DABEI IST 'SUM' DIE GESAMTLAENGE UND
C      KZ = 1          MONITOR
C      KZ = 2          HORIZONTALE STOERSPULE
C      KZ = 3          VERTIKALE STOERSPULE
C      KZ = 4          HORIZONTALE KORREKTURSPULE
C      KZ = 5          VERTIKALE KORREKTURSPULE
C      KZ = 6          ENDE EINES MAGNETSTRUKTURELEMENTES
C

```

```

      IK = IK + 1
      ORTDIV(1,1)=VMTR(1,1)*ANFB(1,1)+VMTR(1,2)*ANFB(2,1)*0.1
      ORTDIV(3,1)=VMTR(3,3)*ANFB(3,1)+VMTR(3,4)*ANFB(4,1)*0.1
      ORTDIV(1,2)=VMTR(1,1)*ANFB(1,2)+VMTR(1,2)*ANFB(2,2)*0.1
      ORTDIV(3,2)=VMTR(3,3)*ANFB(3,2)+VMTR(3,4)*ANFB(4,2)*0.1
      EPSX = ABS(ANFB(2,2)*ANFB(1,1) - ANFB(2,1) * ANFB(1,2))
      EPSZ = ABS(ANFB(4,2)*ANFB(3,1) - ANFB(4,1) * ANFB(3,2))
      BETAX = 10. * (ORTDIV(1,1)**2 + ORTDIV(1,2)**2)/EPSX
      BETAZ = 10. * (ORTDIV(3,1)**2 + ORTDIV(3,2)**2)/EPSZ
      SINFIX = ORTDIV(1,2)*SQRT(10.)/SQRT(EPSX*BETAX)
      COSFIX = ORTDIV(1,1) * SQRT(10.)/SQRT(EPSX*BETAX)
      SINFIZ = ORTDIV(3,2) * SQRT(10.)/SQRT(EPSZ*BETAZ)
      COSFIZ = ORTDIV(3,1) * SQRT(10.)/SQRT(EPSZ*BETAZ)
      ERGEB(IK,1) = SUM
      ERGEB(IK,2) = KZ
      ERGEB(IK,3) = BETAX
      ERGEB(IK,4) = BETAZ
      ERGEB(IK,5) = SINFIX
      ERGEB(IK,6) = COSFIX
      ERGEB(IK,7) = SINFIZ
      ERGEB(IK,8) = COSFIZ
      RETURN
      END

```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 26 ,PROGRAM SIZE = 1376

NO DIAGNOSTICS GENERATED

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

```
COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,  
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF  
SUBROUTINE DRIFTS  
COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),  
LMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM  
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGEB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT  
REAL LAENG,LMTR
```

C  
C  
C

TRANSFORMATIONSMATRIX FUER EINE DRIFTSTRECKE

```
LMTR(1,1) = 1.  
LMTR(1,2) = LAENG  
LMTR(1,3) = 0.  
LMTR(1,4) = 0.  
LMTR(2,1) = 0.  
LMTR(2,2) = 1.  
LMTR(2,3) = 0.  
LMTR(2,4) = 0.  
LMTR(3,1) = 0.  
LMTR(3,2) = 0.  
LMTR(3,3) = 1.  
LMTR(3,4) = LAENG  
LMTR(4,1) = 0.  
LMTR(4,2) = 0.  
LMTR(4,3) = 0.  
LMTR(4,4) = 1.  
RETURN  
END
```

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

```
COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,  
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF  
SUBROUTINE SCR17  
COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),  
LMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM  
2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGEB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT  
REAL LAENG,LMTR
```

C  
C  
C

SCR17 SCHREIBT DIE ERGEBNISMATRIX 'ERGEB' AUS

```
WRITE(6,1)  
1 FORMAT(//1H1,14HERGEBNISMATRIX//1H ,130(1H-)//1H ,  
11H SUM ,11H KZ ,11H BETAX ,11H BETAZ ,  
211H SINFIX ,11H COSFIX ,11H SINFIX ,11H COSFIX /  
3/1H ,130(1H-))  
DO 3 IB=1,490  
WRITE(6,2) (ERGEB(IB,I),I=1,8)  
IF(IB.GE.IK) GO TO 4  
2 FORMAT(1H ,8F11.5)  
3 CONTINUE  
4 WRITE(6,5) QX,QZ  
5 FORMAT(1H ,///14HQX-WERT = N + ,F6.4,20H QZ-WERT = N + ,F6.4)  
RETURN  
END
```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 15 ,PROGRAM SIZE = 658

NO DIAGNOSTICS GENERATED

SEPT 69 )

OS/360 FORTRAN H

OMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,  
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SUBROUTINE CORR1

COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),  
LMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM

2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGEB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRICHT

DIMENSION TS(220),YS(50),YK(50),Y(50),YSS(50),

1PE(50),BM(50),BS(220),BK(50),

1AAS(50,220),AAK(50,50),AS(50,220),AK(50,50),

1CPM(50),CPS(220),CPK(50),

1SPM(50),SPS(220),SPK(50),

IS(220),C(50),IYMV(1001),IYMN(1001),YSV(50)

REAL BM/50\*0./,SPM/50\*0./,CPM/50\*0./,

1BS/220\*0./,SPS/220\*0./,CPS/220\*0./,S/220\*0./,

1BK/50\*0./,SPK/50\*0./,CPK/50\*0./,C/50\*0./

INTEGER IYMV/1001\*0/,IYMN/1001\*0/

DATA MB/1HB/

DO 1370 I=1,50

BM(I)=0.

SPM(I)=0.

CPM(I)=0.

BK(I)=0.

SPK(I)=0.

CPK(I)=0.

C(I)=0.

1370 CONTINUE

DO 1371 I=1,220

RS(I)=0.

SPS(I)=0.

CPS(I)=0.

S(I)=0.

1371 CONTINUE

DO 1372 I=1,1001

IYMV(I)=0

IYMN(I)=0

1372 CONTINUE

READ(5,1) PE

1 FORMAT((6(8F9.4/),2F9.4))

C

C

C

C

G=1.

IFAZAE=0

ISIM=123456789

ISIE=123456789

IX=123456789

SIM=1.0E-03

SIE=1.0E-06

IEF=0

YMV=0.

YMN=0.

DO 713 K=1,50

713 SM(K)=0.0

C

C

C

AUS ERGEB BM,SPM,CPM

```

C   IRICT= 1 BEDEUTET HORIZONTAL/  IRICT=2 VERTIKAL
    IF(IRICT.EQ.1) GO TO 1102
    Q=QZ
    K=1
    DO 41 I=1,500
    IF(ABS(ERGEB(I,2)-1.0).LE.0.0001) GOTO 40
    GOTO 41
40  BM(K)=ERGEB(I,4)
    SPM(K)=ERGEB(I,7)
    CPM(K)=ERGEB(I,8)
    SM(K)=ERGEB(I,1)
    K=K+1
41  CONTINUE
C   AUS ERGEB BS,SPS,CPS
    K=1
    DO 43 I=1,500
    IF(ABS(ERGEB(I,2)-3.0).LE.0.0001) GOTO 42
    GOTO 43
42  BS(K) = ERGEB(I,4)
    SPS(K) = ERGEB(I,7)
    CPS(K)=ERGEB(I,8)
    S(K) = ERGEB(I,1)
    K=K+1
43  CONTINUE
C   AUS ERGEB BK,SPK,CPK
    K=1
    DO 45 I=1,500
    IF(ABS(ERGEB(I,2)-5.0).LE.0.0001)GOTO 44
    GOTO 45
44  BK(K) = ERGEB(I,4)
    SPK(K) = ERGEB(I,7)
    CPK(K) = ERGEB(I,8)
    C(K) = ERGEB(I,1)
    K=K+1
45  CONTINUE
    GO TO 1180
1102 K=1
    DO 1141 I=1,500
    IF(ABS(ERGEB(I,2)-1.0).LE.0.0001) GO TO 1140
    GO TO 1141
1140 BM(K)=ERGEB(I,3)
    SPM(K)=ERGEB(I,5)
    CPM(K)=ERGEB(I,6)
    SM(K)=ERGEB(I,1)
    K=K+1
1141 CONTINUE
    K=1
    DO 1143 I=1,500
    IF(ABS(ERGEB(I,2)-2.0).LE. 0.0001) GO TO 1142
    GO TO 1143
1142 BS(K)=ERGEB(I,3)
    SPS(K)=ERGEB(I,5)
    CPS(K)=ERGEB(I,6)
    S(K)=ERGEB(I,1)
    K=K+1
1143 CONTINUE
    K=1
    DO 1145 I=1,500

```

```

        IF(ABS(ERGEB(I,2)-4.0).LE. 0.0001) GO TO 1144
        GO TO 1145
1144  BK(K)=ERGEB(I,3)
        SPK(K)=ERGEB(I,5)
        CPK(K)=ERGEB(I,6)
        C(K)=ERGEB(I,1)
        K=K+1
1145  CONTINUE
1180  PI=3.141593
C
C    MATRIX DER KORREKTURSPULEN
C
        DO 201 K=1,50
        DO 201 I=1,50
        IF(SM(I).GT.C(K)) GOTO 202
        AAK(I,K)=.5*SQRT(BM(I)*BK(K))*(COTAN(Q*PI)*CPM(I)*CPK(K)+
1COTAN(Q*PI)*SPM(I)*SPK(K)-SPM(I)*CPK(K)+CPM(I)*SPK(K))
        GOTO 201
202  AAK(I,K)=0.5*SQRT(BM(I)*BK(K))*(COTAN(Q*PI)*CPM(I)*CPK(K)+
1COTAN(Q*PI)*SPM(I)*SPK(K)+SPM(I)*CPK(K)-CPM(I)*SPK(K))
201  CONTINUE
C
C    MATRIX DER TOERSSPULEN
C
        DO 203 K=1,220
        DO 203 I=1,50
        IF(SM(I).GT.S(K)) GOTO 204
        AAS(I,K)=.5*SQRT(BM(I)*BS(K))*(COTAN(Q*PI)*CPM(I)*CPS(K)+
1COTAN(Q*PI)*SPM(I)*SPS(K)-SPM(I)*CPS(K)+CPM(I)*SPS(K))
        GOTO 203
204  AAS(I,K)=.5*SQRT(BM(I)*BS(K))*(COTAN(Q*PI)*CPM(I)*CPS(K)+
1COTAN(Q*PI)*SPM(I)*SPS(K)+SPM(I)*CPS(K)-CPM(I)*SPS(K))
203  CONTINUE
        WRITE(6,2)BM
2    FORMAT(' 1M-AMPLITUDENFKT.',(/,X,10F9.4))
        WRITE(6,3)BS
3    FORMAT('  S-AMPLITUDENFKT.',(/,X,10F9.4))
        WRITE(6,4)BK
4    FORMAT('  C-AMPLITUDENFKT.',(/,X,10F9.4))
        DIMENSION B(50,50), T(50)
        CALL MATVKL(AAS,AAK,AS,AK)
C
C    B-MATRIX
C
226  DO 205 J=1,50
        DO 205 I=1,50
        H=0.
        DO 206 K=1,50
206  H=PE(K)*AK(K,I)*AK(K,J)+H
        B(I,J)=H
205  CONTINUE
        DO 207 I=1,50
207  B(I,I)=B(I,I)+G*BK(I)
700  FORMAT(' 1B-MATRIX',(/,X,10F9.1))
701  FORMAT(' 1S-EINFLUSSMATRIX',(/,X,10F9.4))
        DIMENSION CE(50,50),IRO(50),ICO(50)
        DIMENSION IROA(50),ICOA(50)
        DIMENSION BE(50,50),BD(2500)

```

```

DO 315 I=1,50
DO 315 J=1,50
CE(I,J)=AK(I,J)
315 BE(I,J)=B(I,J)
IRA=70
IRAE=70
EPSE=1.0E-06
EPS=1.0E-04
CALL MFGR(BE,50,50,EPSE,IRA,IRO,ICO)
CALL MFGR(CE,50,50,EPS,IRAE,IROA,ICOA)
WRITE(6,312) IRA,IRAE
312 FORMAT(' RANG(B),RANG(A)',(/,X,2I6))
WRITE(6,313) IRO
313 FORMAT(' IROW(B)',(/,X,25I4))
WRITE(6,802) IROA
802 FORMAT(' IROW(AK)',(/,X,25I4))
DO 46 K=1,50
46 IRO(K)=0
DO 837 K=1,50
837 IROA(K)=0

```

```

C
C BEGINN DER FALLSCHLEIFE ST-NR 5 ZUF. FEHLAUFSTEL. SER SR-EL.
C

```

```

C IF(IRICHT.EQ.2) GO TO1151
C VORSICHT HIER WIRD SV UEBERSCHRIEBEN
DO 1152 I=1,220
1152 SV(I)=SH(I)
1151 CONTINUE

```

```

C
C BEGINN DRE FALLSCHLEIFE
C

```

```

5 BELLA=BELLA
DO 1207 I=1,220
1207 TS(I) = 0.
MU=0
AM=0.
SOR=0.1
DO 1202 ISH = 1,220
IF(SV(ISH).GE. 500.) GO TO 1205
DO 1201 LA = 1,240
IF(SL(LA).GE. SV(ISH)) GO TO 1203
1201 CONTINUE
1203 CALL GAUSS(IX,SOR,AM,V)
IF(LB(LA).EQ. MB) GO TO 1208
TS(ISH) = PAR(LA,6) * V / PAR(LA,3)
GO TO 1202
1208 TS(ISH) = PAR(LA,6) * PAR(LA,1) * V
1202 CONTINUE
1205 BELLA = BELLA

```

```

C
C ABLAGE DURCH STOERSPULEN
C

```

```

DO 60 I=1,50
HT=0.
H=0.
DO 61 K=1,220
HT=AAS(I,K)*TS(K)*1.E-3+HT
61 H=AS(I,K)*TS(K)*1.0E-3+H

```

```

        YSS(I)=HT
        YS(I)=H
    60 CONTINUE
        WRITE(6,705)YSS
    705 FORMAT(' YS-STOER.',(/,X,10F9.4))
C
C        MAXIMALER ABLAGEBETRAG (|YS MAX| VOR DER KORREKTUR
C
        A=1.0E-70
        DO 600 I=1,50
        IF(ABS(YSS(I)).GE.A) GOTO 601
        GOTO 600
    601 A=ABS(YSS(I))
C        IMAX IST DIE NUMMER DES MONITORS MIT GROESSTEM Y
        IMAX=I
    600 CONTINUE
        YMV=YMV+A
C
C        ORTSVERTEILUNG DER MAXIMA UEBER 1000 FAELLE
C
        IRO(IMAX)=IRO(IMAX)+1
C
C        IN WELCHEN KANAL FAELLT YS MAX=A?
C
        IF(A.GT..1) GOTO 606
        GOTO 605
    606 IYMV(1001)=IYMV(1001)+1
        GOTO 604
    605 DO 602 I=1,1000
        IF(A*1.E+2.LE.I*1.E-2) GOTO 603
        GOTO 602
    603 IYMV(I)=IYMV(I)+1
        GOTO 604
    602 CONTINUE
C
C        RETTEN DES STOERZUSTANDES VOR DER MESSUNG
C
    604 DO 608 I=1,50
    608 YSV(I)=YSS(I)
C
C        SIMULATION DES MONITORMESSFEHLERS
C
        DO 607 I=1,50
    607 CALL GAUSS(ISIM,SIM,YS(I),YS(I))
C
C        BERRECH. DER T(I) RECHTE SEITE DES LINEAREN GLEICHUNGSSYSTEM
C
        DO 300 I=1,50
        H=0.
        DO 301 K=1,50
    301 H=(-1)*PE(K)*AK(K,I)*YS(K)+H
        T(I)=H
    300 CONTINUE
        N=IRA
C
C        UMSPEICHERN VON T(I)
C
        DO 302 I=1,50

```

```

302 TS(I)=T(I)
C
C   DICHTER PACKUNG DER B MATRIX
C
      DO 303 J=1,N
      DO303 I=1,N
      M=I+(J-1)*IRA
303  BD(M)=B(I,J)
      KS=4
C
C   BERECHNUNG DER KICKS IN DEN KORREKTURSPULEN DURCH SIMQ
C
      CALL SIMQ(BD,TS,N,KS)
1101 FORMAT(' KORR.-KICKS ',(/,X,10F9.6))
      IF(KS.EQ.0) GOTO 402
      GOTO 404
C
C   SIMQTEST M.MULTIP. VERGLEICH M. D. RECHTEN SEITE
C
      DIMENSION TEST(50)
      REAL TEST/50*0./
402  DO 304 I=1,N
      H=.0
      DO 305 J=1,N
305  H=B(I,J)*TS(J)+H
304  TEST(I)=H
C
C   SIMULATION DES EINSTELLENS V. KORREKTURKICKS
C
      DO 610 I=1,50
610  CALL GAUSS(ISIE,SIE,TS(I),TS(I))
C
C   ABLAGE DURCH KORREKTURSPULEN
C
      DO 580 I=1,50
      H=0.
      DO 581 K=1,50
581  H=AAK(I,K)*TS(K)+H
580  YK(I)=H
C   ABLAGE DURCH STOER- UND KORREKTURSPULEN
      DO 515 I=1,50
515  Y(I)=YSV(I)+YK(I)
      WRITE(6,836)Y
836  FORMAT(' Y NACH KORR ',(/,X,10F9.4))
C
C   MAXIMALER ABLAGEBETRAG 'Y-MAX| NACH DERKORREKTUR
C
      A=1.E-70
      DO 611 I=1,50
      IF(ABS(Y(I)).GE.A) GOTO 612
      GOTO 611
612  A=ABS(Y(I))
      IMOX=I
611  CONTINUE
      YMN=YMN+A
      IROA(IMOX)=IROA(IMOX)+1
C
C   IN WELCHEN KANAL FAELLT Y-MAX=A N. KORR

```

```

C      IF(A.GT.0.10)GOTO 613
      GOTO 614
613  IYMN(1001)=IYMN(1001)+1
      GOTO 617
614  DO 615 I=1,1000
      IF(A*1.E+2.LE.I*1.E-2) GOTO 616
      GOTO 615
616  IYMN(I)=IYMN(I)+1
      GOTO 617
615  CONTINUE
C
C      404 LINEARES GL.SYSTEM NICHT LOESBAR
C
C      404 IEF=IEF+1
617  IFAZAE=IFAZAE+1
      IF(IFAZAE.EQ.50) GOTO618
C
C      ES BEGINNT EIN NEUER FALL
C
C      GOTO 5
C
C      ALLE 50 FAELLE DURCH
C
C      AUSDRUCK DER MAXIMAVERTeilUNG VOR U. NACH DER KORREKTUR
C
618  YMV=YMV/50.
      YMN=YMN/50.
      WRITE(6,714) YMN,YMV
714  FORMAT('1YMN YMV',X,2F9.4)
      WRITE(6,619)IYMV
619  FORMAT('1IYMV-MAX.VERT.V.D.KORR.',(/,X,30I4))
      WRITE(6,620) IYMN
620  FORMAT('1IYMN-MAX.VERT.N.D.KORR.',(/,X,30I4))
      WRITE(6,621) IEF
621  FORMAT('1IFE-LI. GL.SYST. KEINE LOES',(/,X,114))
      WRITE(6,313) IRO
      WRITE(6,802)IROA
      RETURN
      END

```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 309 ,PROGRAM SIZE = 173626

NO DIAGNOSTICS GENERATED

F COMPILATION \*\*\*\*\*

67K BYTES OF CORE NOT U

```

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
                  SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXRI
                  DATA MA/1HA/,MB/1HB/,MF/1HF/,MC/1HC/,MD/1HD/
                  COMMON/INTERN/SM(50),SH(220),SV(220),CH(50),CV(50),VMTR(4,4),
                  IUMTR(4,4),LMTR(4,4),LB(240),PAR(240,6),SL(240),LAENG,LP,SUM
                  2,ORTDIV(4,2),ANFB(4,2),ERGB(500,8),IK,KZ,Q,QX,QZ,IRI
                  REAL LAENG,LMTR

```

```

C
C   RAHMENPROGRAMM 'MUAIK'
C
  CALL DATIN5
  DO 1 I=1,4
    VMTR(I,I)=1.
1  A=C.
   IK=0
   B=C.
   LP=1
C
C   ORDNER DER POSITIONEN
C
   ISL=0
   ISM=0
   ISH=0
   ISV=0
   ICH=0
   ICV=0
100 ISL=ISL+1
    IF((288.00-SL(ISL)).LT. 0.0001) GO TO 1500
C
   ISM=ISM+1
   IF(SM(ISM).GE. SL(ISL)) GO TO 2
   GO TO 1000
2  ISM=ISM-1
C
   ISV=ISV+1
   IF(SV(ISV).GE. SL(ISL)) GO TO 3
   GO TO 2000
3  ISV=ISV-1
C
   ICH=ICH+1
   IF(CH(ICH).GE. SL(ISL)) GO TO 4
   GO TO 3000
4  ICH=ICH-1
C
   ICV=ICV+1
   IF(CV(ICV).GE. SL(ISL)) GO TO 5
   GO TO 4000
5  ICV=ICV-1
C
  A=SL(ISL)
  KZ=6
  ISH=ISH+1
  IF(SH(ISH).GE. A) GO TO 66
  ISL=ISL-1
  A=SH(ISH)
  KZ=2
  GO TO 20

```

```

66 ISH=ISH-1
   SUM=A
   LAENG=A-B
   IF(LB(LP).EQ. MA) CALL DRIFTS
   IF(LB(LP).EQ. MB) CALL QUADRU
   IF(LB(LP).EQ. MC) CALL SEMAGN
   IF(LB(LP).EQ. MF) CALL REMA90
   IF(LB(LP).EQ. MD) CALL SEMA90
   CALL MCPY(VMTR,UMTR,4,4,0)
   CALL GMPRD(LMTR,UMTR,VMTR,4,4,4)
   CALL ERGEBN
   B=A
   LP=LP+1
   GO TO 100
4000 A=CV(ICV)
     KZ=5
     ISL=ISL-1
     GO TO 20
20  LAENG=A-B
     ISH=ISH+1
     IF(SH(ISH).GE. A) GO TO 77
     A=SH(ISH)
     GO TO (6001,6002,6003,6004,6005), KZ
6001 ISM = ISM - 1
     GO TO 6100
6002 GO TO 6100
6003 ISV = ISV - 1
     GO TO 6100
6004 ICH = ICH - 1
     GO TO 6100
6005 ICV=ICV-1
     GO TO 6100
6100 KZ = 2
     LAENG=A-B
     GO TO 21
77  ISH=ISH-1
21  SUM=A
     IF(LB(LP).EQ. MA) CALL DRIFTS
     IF(LB(LP).EQ. MB) CALL QUADRU
     IF(LB(LP).EQ. MC) CALL SEMAGN
     IF(LB(LP).EQ. MF) CALL REMA90
     IF(LB(LP).EQ. MD) CALL SEMA90
     CALL MCPY(VMTR,UMTR,4,4,0)
     CALL GMPRD(LMTR,UMTR,VMTR,4,4,4)
     CALL ERGEBN
     R=A
     GO TO 100
C
C
3000 ICV=ICV+1
     IF(CV(ICV).GE. CH(ICH)) GO TO 3001
     GO TO 3002
3001 ICV=ICV-1
C
     A=CH(ICH)
     KZ=4
     ISL=ISL-1
     GO TO 20

```

```

C
3002 A=CV(ICV)
      KZ=5
      ICH=ICH-1
      ISL=ISL-1
      GO TO 20

C
2000 ICH=ICH+1
      IF(CH(ICH).GE. SV(ISV)) GO TO 2001
      ISV=ISV-1
      GO TO 2100
2001 ICH=ICH-1

C
      ICV=ICV+1
      IF(CV(ICV).GE. SV(ISV)) GO TO 2002
      ISV=ISV-1
      GO TO 2200
2002 ICV=ICV-1

C
      A=SV(ISV)
      KZ=3
      ISL=ISL-1
      GO TO 20

C
2200 A=CV(ICV)
      KZ=5
      ISL=ISL-1
      GO TO 20

C
2100 ICV=ICV+1
      IF(CV(ICV).GE. CH(ICH)) GO TO 2101
      ICH=ICH-1
      GO TO 2110
2101 ICV=ICV-1

C
      A=CH(ICH)
      KZ=4
      ISL=ISL-1
      GO TO 20

C
2110 A=CV(ICV)
      KZ=5
      ISL=ISL-1
      GO TO 20

C
1000 ISV=ISV+1
      IF(SV(ISV). GE. SM(ISM)) GO TO 1001
      ISM=ISM-1
      GO TO 1100
1001 ISV=ISV-1

C
      ICH=ICH+1
      IF(CH(ICH).GE. SM(ISM)) GO TO 1002
      ISM=ISM-1
      GO TO 1200
1002 ICH=ICH-1

C
      ICV=ICV+1

```

```

        IF(CV(ICV).GE. SM(ISM)) GO TO 1003
        ISM=ISM-1
        GO TO 1300
1003 ICV=ICV-1
C
        A=SM(ISM)
        KZ=1
        ISL=ISL-1
        GO TO 20
C
1300 A=CV(ICV)
        KZ=5
        ISL=ISL-1
        GO TO 20
C
1200 ICV=ICV+1
        IF(CV(ICV).GE. CH(ICH)) GO TO 1201
        ICH=ICH-1
        GO TO 1210
1201 ICV=ICV-1
C
        A=CH(ICH)
        KZ=4
        ISL=ISL-1
        GO TO 20
C
1210 A=CV(ICV)
        KZ=5
        ISL=ISL-1
        GO TO 20
C
1100 ICH=ICH+1
        IF(CH(ICH).GE. SV(ISV)) GO TO 1101
        ISV=ISV-1
        GO TO 1110
1101 ICH=ICH-1
C
        ICV=ICV+1
        IF(CV(ICV).GE. SV(ISV)) GO TO 1102
        ISV=ISV-1
        GO TO 1120
1102 ICV=ICV-1
C
        A=SV(ISV)
        KZ=3
        ISL=ISL-1
        GO TO 20
C
1120 A=CV(ICV)
        KZ=5
        ISL=ISL-1
        GO TO 20
1110 ICV=ICV+1
        IF(CV(ICV).GE. CH(ICH)) GO TO 1112
        ICH=ICH-1
        GO TO 1111
1112 ICV=ICV-1
C

```

```
A=CH(ICH)
KZ=4
ISL=ISL-1
GO TO 20
```

C

```
1111 A=CV(ICV)
KZ=5
ISL = ISL-1
GO TO 20
```

C

```
1500 CONTINUE
IF(ERGEB(IK,6).GT. 0.) GO TO 5000
QX=(3.1415927-ARSIN(ERGEB(IK,5)))/(2. * 3.1415927)
GO TO 5100
5000 QX=ARSIN(ERGEB(IK,5))/(2. * 3.1415927)
5100 IF(ERGEB(IK,8).GT. 0.) GO TO 5200
QZ=(3.1415927-ARSIN(ERGEB(IK,7)))/(2. * 3.1415927)
GO TO 5300
5200 QZ=ARSIN(ERGEB(IK,7))/(2. * 3.1415927)
5300 Q=QZ
CALL SCR17
IRICHT=2
WRITE(6,5315)
5315 FORMAT(//1H1,24H VERTIKALE RICHTUNG /1H,130(1H-))
CALL CORR1
WRITE(6,5314)
5314 FORMAT(//1H1,25H HORIZONTALE RICHTUNG/1H ,130(1H-))
Q=QX
IRICHT=1
CALL CORR1
STOP
END
```

EFFECT\* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,

EFFECT\* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NUDECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SOURCE STATEMENTS = 252 ,PROGRAM SIZE = 4426

NO DIAGNOSTICS GENERATED

COMPILATION \*\*\*\*\*

99K BYTES OF CORE NOT U

A n h a n g 3 :

Eingabe der Daten für das Korrektur-Simulationsprogramm MUAIK:

LESEN DER MONITORPOSITIONEN

```
DO 1 I=1,50  
  READ(5,2) SM(I)  
2  FORMAT(F9.5)  
  IF(SM(I).GE. 500.) GO TO 3  
1  CONTINUE
```

LESEN DER HORIZONTALEN STOERSPULENPOSITIONEN

```
3  CONTINUE  
  DO 4 I = 1,220  
  READ(5,2) SH(I)  
  IF(SH(I).GE. 500.) GO TO 5  
4  CONTINUE
```

LESEN DER VERTIKALEN STOERSPULENPOSITIONEN

```
5  CONTINUE  
  DO 7 I = 1,220  
  READ(5,2) SV(I)  
  IF(SV(I).GE. 500.) GO TO 8  
7  CONTINUE
```

LESEN DER HORIZONTALEN KORREKTURSPULENPOSITIONEN

```
8  CONTINUE  
  DO 10 I=1,50  
  READ(5,2)CH(I)  
  IF(CH(I).GE. 500.) GO TO 11  
10  CONTINUE
```

LESEN DER VERTIKALEN KORREKTURSPULENPOSITIONEN

```
11  CONTINUE  
  DO 12 I=1,50  
  READ(5,2) CV(I)  
  IF(CV(I).GE. 500.) GO TO 13  
12  CONTINUE
```

LESEN DER MAGNETSTRUKTUR UND BILDEN DER GESAMMTLAENGE SL(I)  
BIS ZUM I-TEN ELEMENT

```
13  CONTINUE  
  SUM = 0.  
  DO 14 I=1,240  
  READ(5,15) LB(I),(PAR(I,L),L=1,6)  
15  FORMAT(A1,F9.0,5F10.0)
```

LESEN DER ANFANGSBEDINGUNGEN DER ORTHOGONALTRAJEKTORIEN

```
  READ(5,17)ANFB(1,1),ANFB(2,1),ANFB(3,1),ANFB(4,1)  
  READ(5,17)ANFB(1,2),ANFB(2,2),ANFB(3,2),ANFB(4,2)  
17  FORMAT(4F12.4)  
  CALL SCR16  
  RETURN  
  END
```

Eingabe der Daten für das Korrektur-Simulationsprogramm MUAIK:

---

a) Zu den Positionen der Monitore, hor. und vert. Störspulen, hor. und vert. Korrekturspulen:

Die maximale Anzahl der jeweils möglichen Positionen ergibt sich aus den DO-Schleifen. Werden weniger Positionen angegeben als es der maximal möglichen Anzahl entspricht, so muß der letzten Positionsangabe eine Karte mit einer Position > 500.00 folgen. Alle Positionsangaben zählen ab WWP und müssen in steigender Reihenfolge in Metern angegeben werden.

Zur Magnetstruktur:

LB(I)	kennzeichnet das Magnelement
A	Driftstrecken
B	Quadrupol
C	Sektormagnet
F	Um 90° gedrehter Rechteckmagnet
D	Um 90° gedrehter Sektormagnet
PAR(I,1) :	Quadrupolstärke K in $m^{-2}$
PAR(I,2) :	entfällt : 0
PAR(I,3) :	Ablenkradius der Ablenkmagnete
PAR(I,4) :	entfällt : 0
PAR(I,5) :	" : 0
PAR(I,6) :	Länge der Magnelemente in m

Die letzte Karte der Magnetstruktur muß LB(I) = Z enthalten und  
PAR(I,6) = 500.00

ANFB(1,1), ANFB(2,1), ANFB(3,1), ANFB(4,1) : Anfangsbedingungen der ersten  
Orthogonaltrajektorie  
(x,x', z, z') in cm bzw. mrad

ANFB(1,2), ANFB(2,2), ANFB(3,2), ANFB(4,2) : Anfangsbedingungen der zweiten  
Orthogonaltrajektorie  
(x,x', z,z') in cm bzw. mrad

- b) Einlesen der Bewichtungsfaktoren der Monitore PE (in Subroutine CORR 1) für die Korrektur in vertikaler Richtung.

```
READ(5,1)PE
```

```
1 FORMAT((6(8F9.4/),2F9.4)
```

```
Normal: PE = 1 .
```

- c) Einlesen der Nummern N derjenigen Monitore, deren Messung für das Korrekturprogramm in vertikaler Richtung benutzt werden soll (in Subroutine MATVKL)

```
DIMENSION N(50)
```

```
READ(5,1) N
```

```
1 FORMAT(16I5)
```

- d) Einlesen der Bewichtungsfaktoren der Monitore PE (in Subroutine (CORR 1) für die Korrektur in horizontaler Richtung: Wie b)

- e) Einlesen der Nummern N derjenigen Monitore, deren Messung für das Korrekturprogramm in horizontaler Richtung benutzt werden soll (in Subroutine MATVKL):  
Wie c)

/

Bildunterschriften:

- Fig. 1: Mittlere maximale Ablage YMN nach der Korrektur eines idealen Orbit, der mit einem Monitormeßfehler von  $\Delta x = \pm 1$  mm gemessen wurde. Monitorkonfiguration wie in Tabelle 1. SIE = 0, SOR = 0.1 mm.
- Fig. 2: Mittlere maximale Ablage YMN nach der Korrektur als Funktion der Fehler des Positionsmonitors (SIM) und der Korrekturspuleneinstellung (SIE). Monitor/Korrekturspulen-Konfiguration wie in Tabelle 1 bzw. 3. Aufstellgenauigkeit der Magnete: SOR =  $\pm 0.1$  mm.
- Fig. 3: Mittlere maximale Ablage vor und nach der Korrektur (YMV bzw. YMN) als Funktion der Aufstellgenauigkeit der Magnete (SOR). Monitor/Korrekturspulen-Konfiguration wie in Tabelle 1 bzw. 3. SIM = 1 mm, SIE =  $1 \cdot 10^{-6}$  rad .
- Fig. 4: Mittlere maximale Ablage YMN nach der Korrektur als Funktion der Anzahl der Monitore. Korrekturspulen-Konfiguration wie in Tab. 3. SIM = 1 mm, SIE =  $1 \cdot 10^{-6}$  rad, SOR = 0,1 mm, G = 1 .
- Fig. 5: Strahlenveloppen des DESY-Speicherrings
- Fig. 6: Flußdiagramm für das Programm "MUAIK" (Seite 8)
- Fig. 7: Mittlere maximale Ablage vor und nach der Korrektur(YMV bzw. YMN) in horizontaler Richtung als Funktion des  $Q_x$ - Wertes. Monitor/Korrekturspulen-Konfiguration wie in Tabelle I bzw.3. SIM = 1 mm, SIE =  $1 \cdot 10^{-6}$  rad, SOR = 0.1 mm, G = 1 .
- Fig. 8: Mittlere maximale Ablage vor und nach der Korrektur(YMV bzw. YMN) in vertikaler Richtung als Funktion des  $Q_z$ - Wertes. Monitor/Korrekturspulen-Konfiguration wie in Tabelle 1 bzw. 3. SIM = 1 mm, SIE =  $1 \cdot 10^{-6}$  rad, SOR = 0.1 mm, G = 1 .

Literatur

- K. G. Steffen: Selected Topics of Beam Optics Relevant to Storage Ring Design.  
Konferenz Varenna 1969, Int. Ber. DESY H-69/19
- G. Guignard: Effets Des Champs Magnetiques Perturbateurs d'un Synchrotron  
sur l'Orbite Fermee et les Oscillations Betatroniques, Ainsi  
que leur Compensation. CERN 70-24, 1970
- R.Appel, H.Wiedemann: Geometrie des Speicherrings, Int. Ber. DESY H5-71/2, 1971

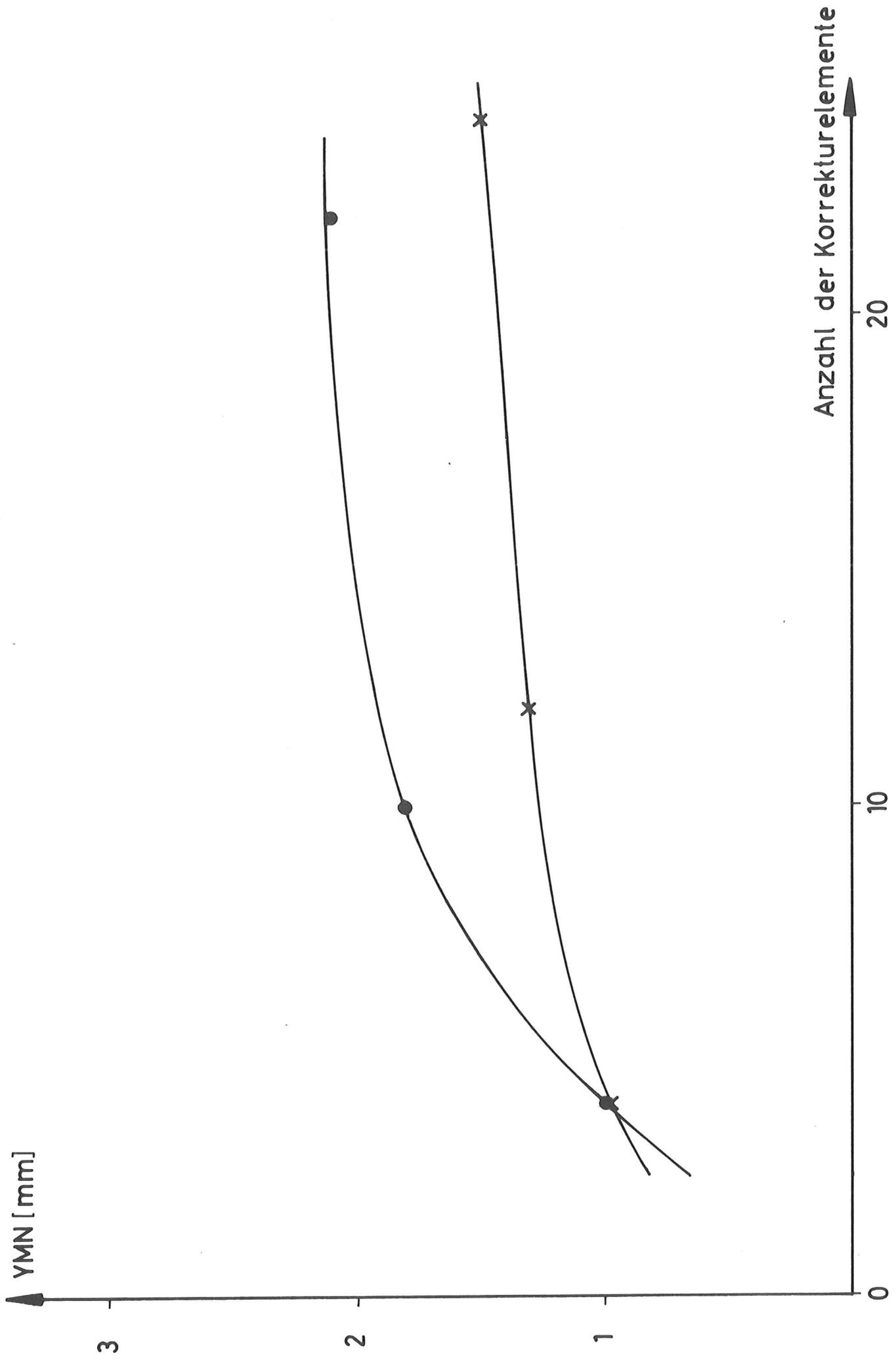


Fig. 1

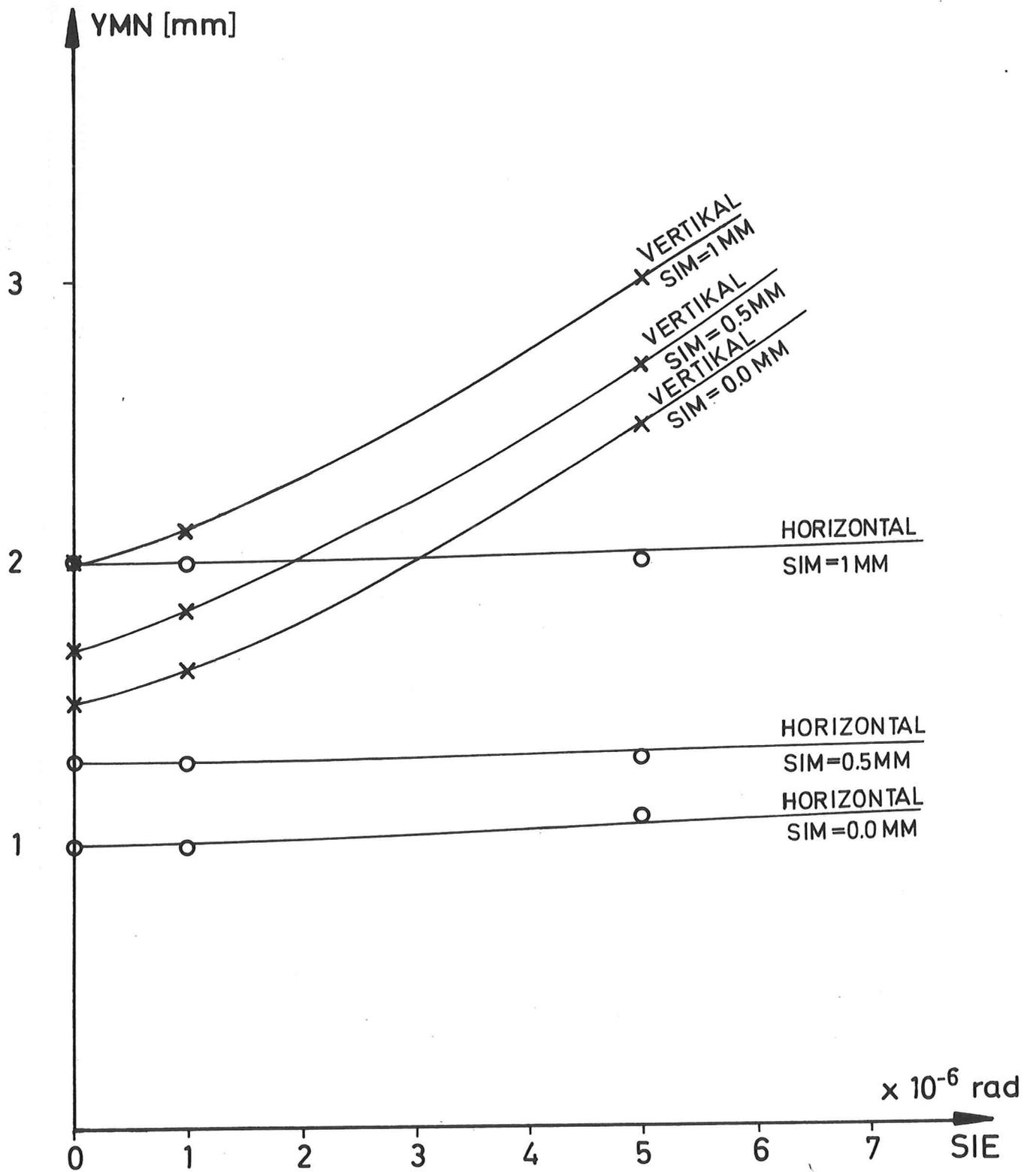


Fig.2

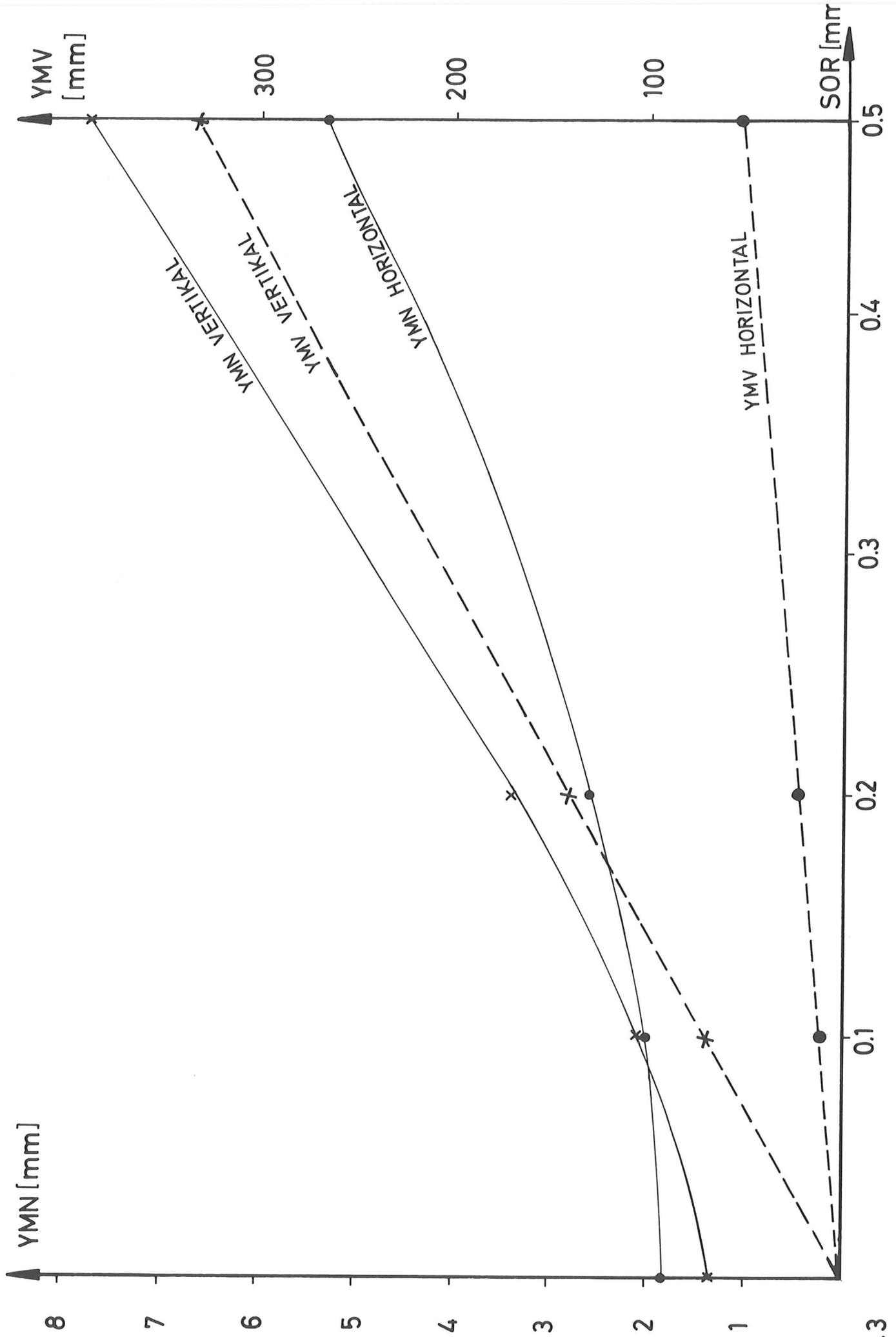


Fig. 3

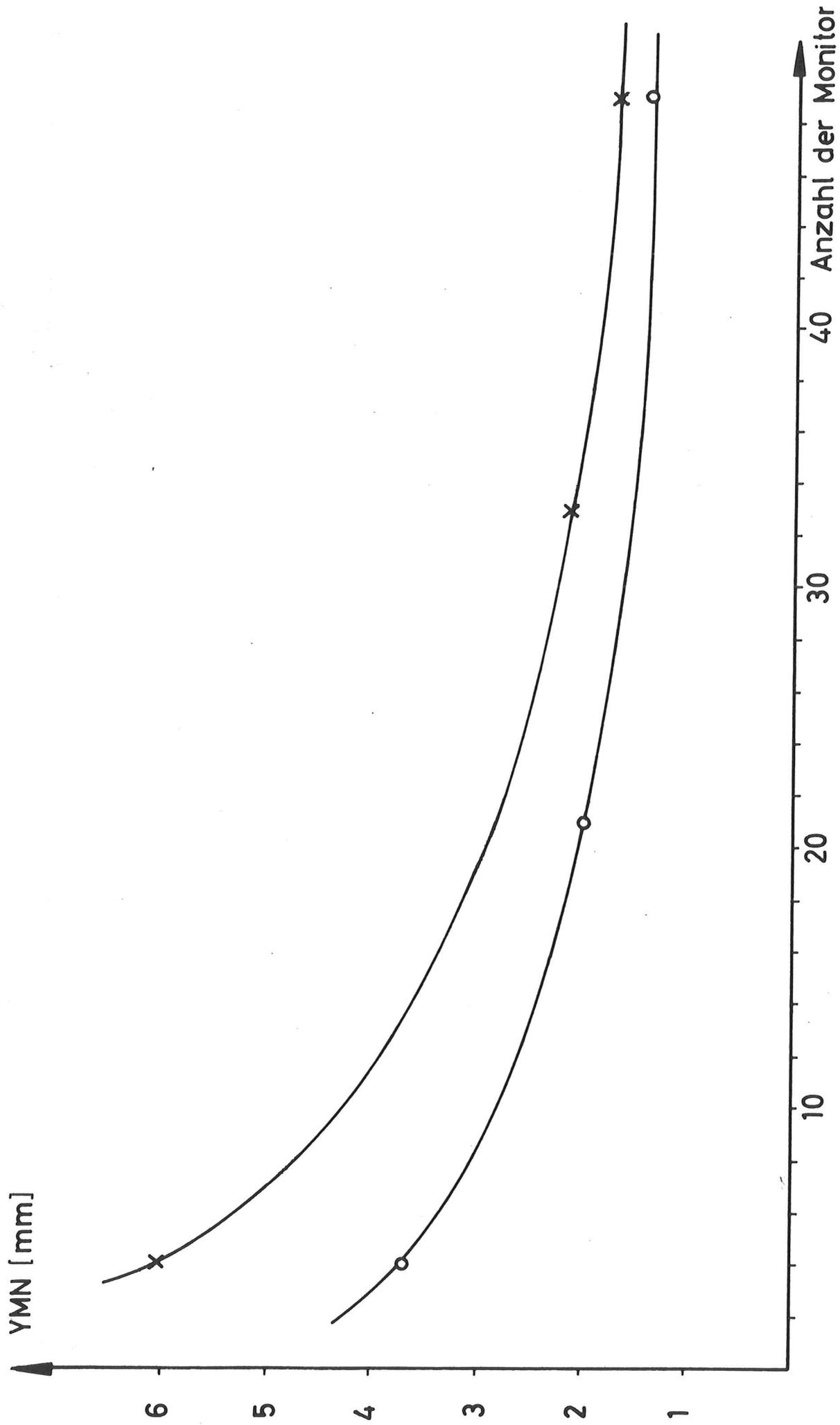


Fig. 4



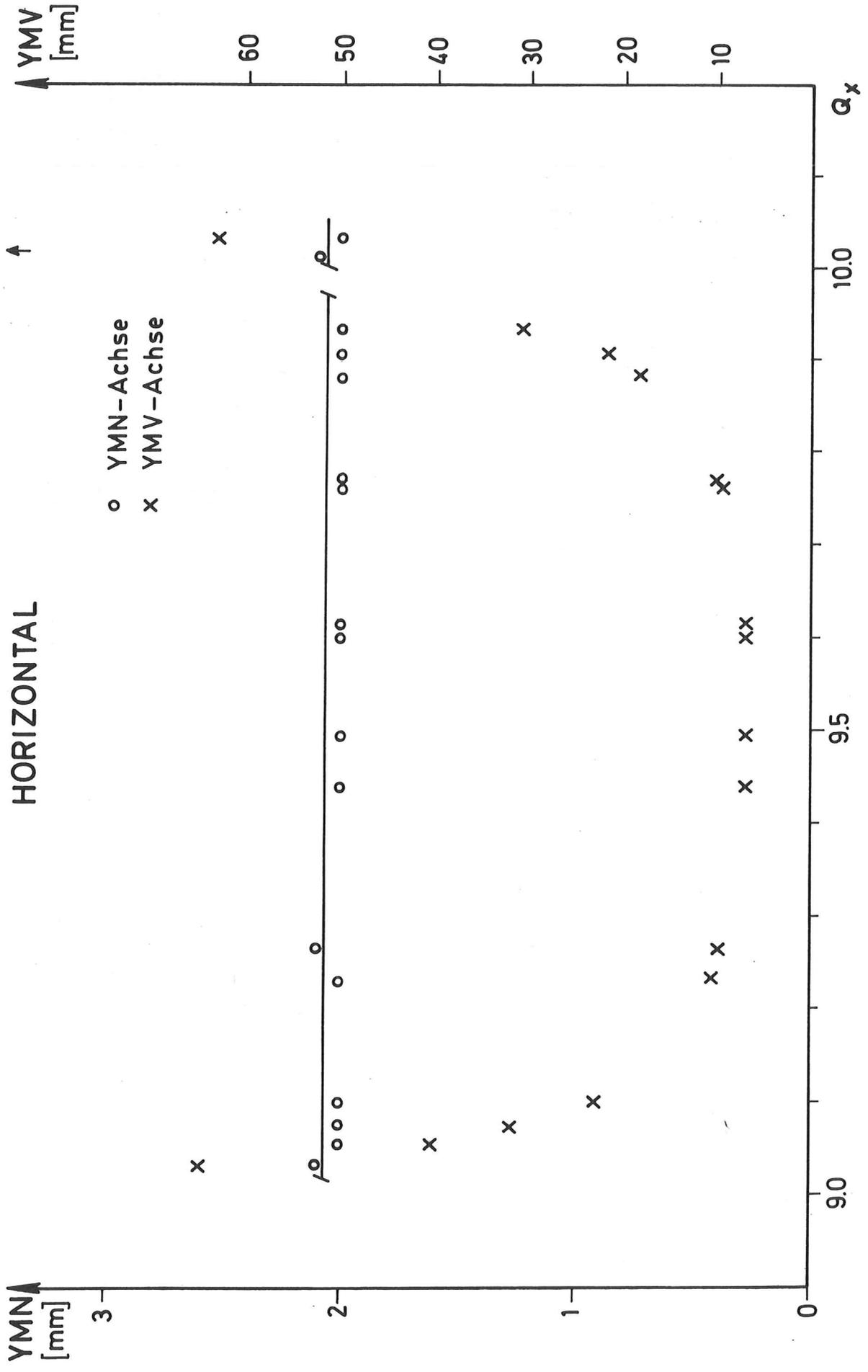


Fig. 7

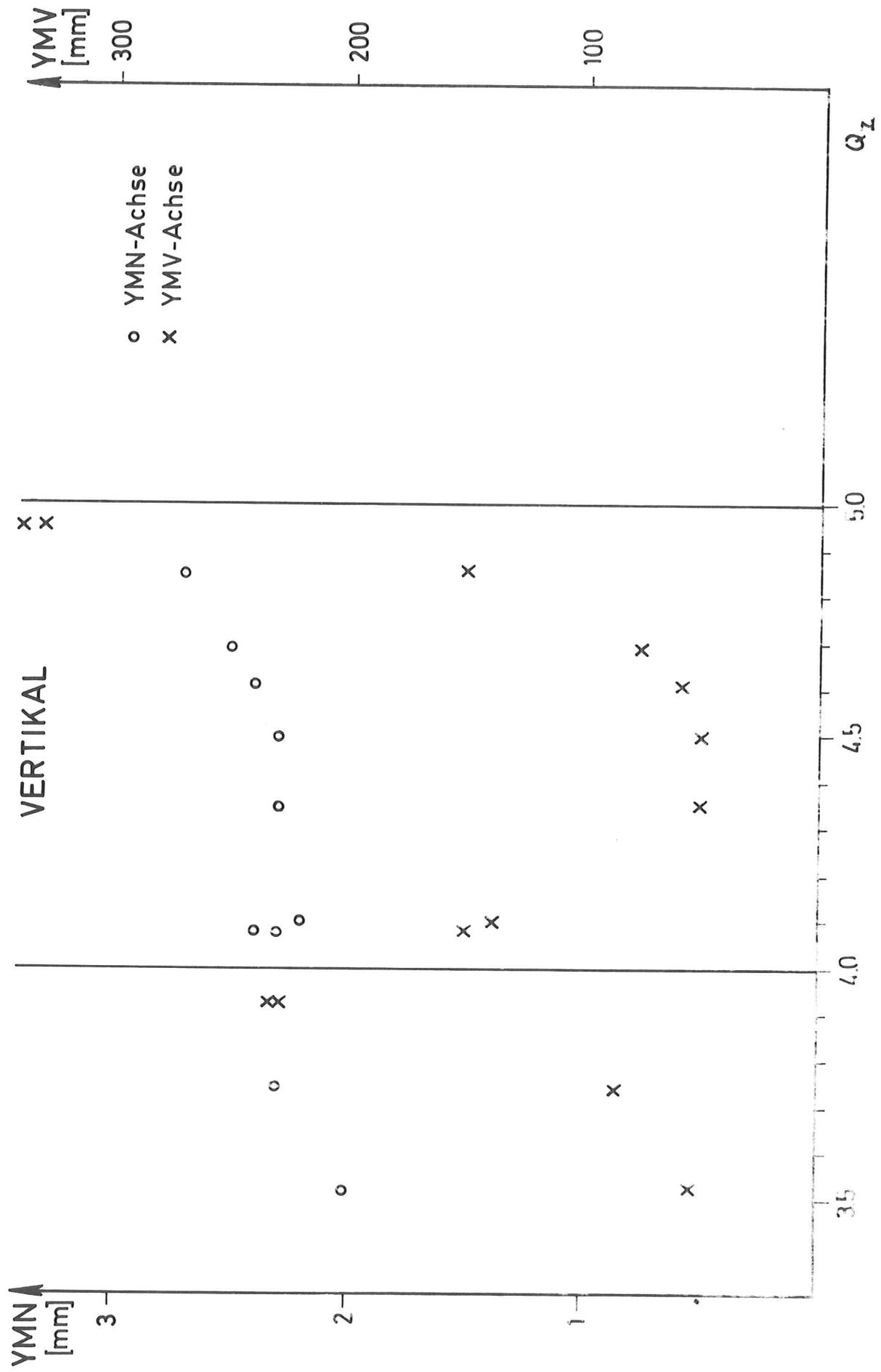


Fig. 8

