

DEUTSCHES ELEKTRONEN - SYNCHROTRON **DESY**

DESY 66/28
Oktober 1966
Experimente

Vermessungsgrundlagen und
Justierung von Experimenten

von
Franz Löffler

2 HAMBURG 52 · NOTKESTIEG 1

V e r m e s s u n g s g r u n d l a g e n
u n d
J u s t i e r u n g v o n E x p e r i m e n t e n

von
Franz Löffler

Zusammenfassung: Im folgenden Bericht sind die Grundlagen für die Vermessung des Synchrotrons und der Experimente angegeben. Außerdem werden die Ausrüstung und das Verfahren bei der Justierung von Experimentiermagneten beschrieben.-

Summary: In this report, the basic parameters for the surveying of the synchrotron and experimental setups are given. The equipment of the surveying team and the methods applied in adjusting the experimental magnets are described.

August 1966

1.) Das Vermessungsachteck im Ringgebäude

1.1 Lagemessung

Ausgangspunkt für alle Vermessungsarbeiten bei DESY sind die tieffundierten und wärmeisolierten Vermessungspfeiler im Ringgebäude. Sie bilden die Eckpunkte eines regelmäßigen Achtecks, dessen Seiten durch zwei Nebenpfeiler in drei gleiche Abschnitte unterteilt werden. In seinem Schwerpunkt ist ein wuchtiger Zentralpfeiler errichtet, der wie alle anderen mit dem Beschleunigergebäude keine bauliche Verbindung hat, damit Einflüsse des Gebäudes auf die Pfeiler vermieden werden. Dieser Mittelpfeiler stellt den Nullpunkt eines Koordinatensystems dar, dessen positive x - Achse durch den Hauptvermessungspfeiler (= Eckpfeiler) Nr.6 und dessen positive y - Achse durch den Hauptvermessungspfeiler Nr.4 geht (siehe Abb.1). Allerdings nehmen die Vermarkungen auf den Pfeilern nur selten ihre Idealposition ein, was auf unvermeidliche Restfehler bei der Montage und Pfeilerbewegungen zurückzuführen ist. Ihre wirkliche Lage kann aber jederzeit durch Messungen der Seiten und Speichen in Bezug auf ein vermittelndes regelmäßiges Achteck (siehe DESY-Bericht 65/1) festgelegt werden. So ergaben sich am 11.7.66 die in der Tabelle 2 aufgeführten Koordinaten für die Hauptpfeiler.

1.2 Höhenmessung

Die Vermarkungen der Vermessungspfeiler dienen gleichzeitig als Höhenfixpunkte. Ihre Höhen werden auf die Soll-Lage des Elektronenstrahls bezogen und betragen am 12.7.66

für die Vermessungspfeiler Nr.	Zentrum	+ 417.0 mm
	1 a	+ 421.9 mm
	1 b	+ 417.6 mm
	1	+ 419.8 mm
	2 a	+ 418.4 mm
	2 b	+ 417.2 mm
	2	+ 422.1 mm

Pfeiler Nr. 3 a	+ 417.8 mm
3 b	+ 416.2 mm
3	+ 419.4 mm
4 a	-. -
4 b	+ 422.8 mm
4	+ 418.9 mm
5 a	- . -
5 b	+ 416.1 mm
5	+ 421.1 mm
6 a	+ 420.3 mm
6 b	+ 412.7 mm
6	+ 418.4 mm
7 a	+ 418.6 mm
7 b	+ 417.6 mm
7	+ 419.2 mm
8 a	+ 420.6 mm
8 b	+ 421.3 mm
8	+ 420.8 mm

2.) Die Sollbahn der Elektronen im Synchrotron

Der Nullpunkt des Koordinatensystems ist gleichzeitig auch Schwerpunkt des sog. Sollkreises d.h. der theoretischen Sollbahn der Elektronen im Synchrotron und setzt sich zusammen aus 48 Kreisbögen im Magnetfeld der Synchrotronmagnete mit einem Radius von

$$R = 31.702\ 32\ \text{m}$$

und einem Zentriwinkel von

$$2\sigma = 7.5^\circ ,$$

die durch feldfreie, im Bogenend- bzw. Anfangspunkt Bogen-tangenten bildende, gerade Stücke von

$$s_g = 2.450\ \text{m}$$

Länge verbunden sind (siehe Abb.3).

Der Abstand vergleichbarer Punkte der Sollbahn vom Koordinatenursprung ist derselbe. So beträgt die Entfernung zu den Bogenenden

$$R_e = 50.407 \text{ 10 m}$$

zu den Bogenscheiteln

$$R_a = 50.432 \text{ 31 m}$$

und zu den Mitten der geraden Stücke

$$R_i = 50.392 \text{ 21 m.}$$

Die geraden Stücke erscheinen vom Zentrum unter einem Winkel

$$2\tau = 3.0945 \text{ 5 }^\circ,$$

die Kreisbögen unter

$$2\nu = 5.2387 \text{ 9}^\circ.$$

3.) Die Magnetpositionen im Synchrotron

Um die Elektronen auf diese Sollbahn zu zwingen, werden die 48 Synchrotronmagnete auf ihrem Trägerring so horizontalisiert, daß die Oberflächen der fokussierenden F - Magnete eine Höhe von

$$+ 354.0 \text{ mm,}$$

die der defokussierenden D - Magnete dagegen von

$$+ 385.0 \text{ mm}$$

über dem Sollkreis bekommen. In radialer Richtung werden die Magnete so justiert, daß die Abstände ihrer Vermessungsmarken vom Zentrum für die F - Magnete

$$R_{PF} = 50.414\ 48\ \text{m}$$

und für die D - Magnete

$$R_{PD} = 50.410\ 88\ \text{m}$$

betragen.

Jeder Magnet ist mit zwei dieser Vermessungsmarken ausgerüstet, deren linearer Abstand vom geometrischen Magnetende bei den D - Magneten 247.0 mm, bei den F - Magneten dagegen 247.4 mm beträgt. Ihre Abstände vom Anfang bzw. Ende der anliegenden geraden Stücke werden vom Zentrum aus unter einem Winkel

$$\Delta\varepsilon_D = 0.3141\ 8\ \text{g}$$

bei den D - Magneten, bei den F - Magneten dagegen unter

$$\Delta\varepsilon_F = 0.3143\ 5\ \text{g}$$

gesehen.

In azimutaler Richtung wird bei der Magnetjustierung dafür gesorgt, daß die Abstände zwischen den vom Zentrum aus gesehen linken Marken eines D - und des im Uhrzeigersinn folgenden F - Magneten

$$s_{DF} = 6.594\ 43\ \text{m}$$

werden, während die linke Marke des daran anschließenden D - Magneten davon um den Betrag

$$s_{FD} = 6.594\ 16\ \text{m}$$

entfernt ist (siehe Abb.4).

Die Sehnen s_{DF} erscheinen dann vom Zentrum unter einem Winkel

$$\vartheta_{DF} = 8.3335 \text{ } 0 \text{ } ^{\circ},$$

die Sehnen s_{FD} unter einem Winkel

$$\vartheta_{FD} = 8.3331 \text{ } 7 \text{ } ^{\circ}.$$

Der Winkel zwischen entsprechenden Marken benachbarter Magnete des gleichen Typs beträgt

$$\vartheta_{DF} + \vartheta_{FD} = \Theta = 16.6666 \text{ } 7^{\circ} \pm 15.000 \text{ } 000 \text{ } ^{\circ},$$

während zwischen der rechten Marke des vorangehenden und der linken Marke des folgenden Sektors

$$2 \vartheta = 3.7230 \text{ } 8^{\circ}$$

gemessen werden.

Außerdem werden die Magnete zum Vermessungsachteck so orientiert, daß in die Verlängerung einer Achteckspeiche jeweils die linke Marke eines D - Magneten zu liegen kommt. In der positiven x - Achse (Pfeiler 6) ist dies die Marke des Magneten Nr.32, in der positiven y - Achse (Pfeiler 4) die des Magneten Nr.20. Entsprechend liegen die Marken Nr.8 li und 44 li in der negativen x - Achse bzw. y - Achse, wenn sie ihre Sollposition innehaben (siehe Abb.1).

Mit Hilfe der angegebenen Winkel und Entfernungen vom Zentrum kann auch jede andere Vermessungsmarke koordinatenmäßig festgelegt werden!

Die angegebenen Sollpositionen der Magnete lassen sich allerdings nur selten mit letzter Genauigkeit erreichen. Gewisse Restabweichungen sind bei der Justierung nicht zu verhindern, bedingt durch die mechanischen Justiermöglich-

keiten an den Magnetfüßen. Dazu kommen zeitliche Änderungen der Magnetpositionen, die in der Hauptsache auf Deformationen, Radiusänderungen oder Kippungen des Betonringes zurückzuführen sind, auf dem die Magnete stehen. Daher müssen in regelmäßigen Abständen genaue Magnetvermessungen durchgeführt werden (DESY-Bericht 65/1), die darüber Aufschluß geben, wo die Magnete stehen und wann eine Neujustierung durchgeführt werden muß.

4.) Das Festpunktnetz in den Experimentierhallen.

Für den Aufbau der Experimente in den Hallen stehen Festpunkte zur Verfügung, die eine Einmessung der Ablenkmagnete, Quadrupole, Targets usw. in Bezug auf die Maschine zulassen, ohne daß eine Sicht durch die Abschirmwände in den Ring notwendig ist. Es handelt sich dabei um in den Fußboden einbetonierte Messingbolzen mit zentrischer Bohrung zum Einsetzen kleiner Zielspitzen für die Lagemessung, sowie um Stahlbolzen mit balliger Oberfläche zum Aufsetzen der Nivellierlatten für die Höhenmessung. Die Lagebolzen sitzen in den Eckpunkten eines Quadratnetzes, dessen Gitterlinien zu den Hallenwänden parallel laufen. Die Abstände der Gitterlinien betragen 5 m. Die erste Bolzenreihe in der Längsrichtung (Kennzeichen A) ist von der Hallenwand 2,50 m entfernt, die erste Reihe in der Querrichtung (Nummern 1) von der Stirnwand der Halle dagegen 2,15 m. Der erste Höhenbolzen ist dicht neben dem Lagebolzen A1 eingebracht, die übrigen sind in Abständen von 10 m bei jedem zweiten Lagepunkt zu finden.

Die Abbildungen 5 und 6 geben einen Überblick über die Verteilung und Numerierung der Festpunkte in den beiden Experimentierhallen!

Soweit die Messingbolzen für Lagemessungen zugänglich waren, sind sie im System des Vermessungsachthecks koordiniert worden. In beide Hallen wurde dafür vom Achteck ausgehend

ein Streckenzug über die sog. Hauptpunkte geführt, solange die Abschirmwände zwischen Ring und Halle noch nicht geschlossen waren. Erst später folgte dann die Einmessung der übrigen Lagebolzen von diesen Hauptpunkten aus.

Eine Kontrolle der eingemessenen Punkte in Bezug auf das Vermessungsachteck konnte seit dem Aufbau der Abschirmung leider nicht mehr durchgeführt werden. Bisher ist noch keine Aussage darüber vorhanden, inwieweit die Bolzen Lageverschiebungen durch Bewegungen des Hallenfußbodens unterworfen sind. So kann lediglich der mittlere quadratische Punktfehler der Festpunkte abgeschätzt werden, der sich aus den Meßfehlern ergibt. Er kann bis zu

$$m_P = \pm 1.0 \text{ mm}$$

betragen. In den Tabellen (Abb.7 und 8) sind die Koordinaten der Vermessungsbolzen trotzdem auf 0.1 mm angegeben, um Aufrundungsfehler auszuschalten!

Die Punktgenauigkeit der Vermessungsbolzen in den Hallen ist also wesentlich geringer, als die für die Vermessungspfeiler im Ring, wo sie etwa $m = \pm 0.1$ mm beträgt. Das kommt daher, daß für die zur Punktbestimmung notwendigen Winkel- und Streckenmessungen zwar Hochleistungstheodolite DKM 3, aber keine Invarbänder benutzt werden können. Der Streckenmeßfehler mit dem Stahlband kann unter ungünstigen Umständen bis zu ± 0.5 mm erreichen, trotz Temperaturkorrektur und Eichverbesserungen für das Band. Der Einfluß des Winkelmeßfehlers auf den Punktfehler fällt dagegen kaum ins Gewicht!

Die Höhen der Höhenbolzen A1 ergeben sich aus herkömmlichen Feinnivellements, die von den Hauptpfeilern 3 bzw.4 aus durch die winkligen Verbindungsgänge in die Hallen 1 bzw. 2 geführt und in regelmäßigen Abständen wiederholt werden.

Sie bleiben innerhalb weniger 0.1 mm konstant, da in ihrer nächsten Nachbarschaft die Bodenbelastungen kaum verändert werden. Deshalb dienen uns die Höhenpunkte A1 in der Regel als Ausgangspunkte für unsere Höhenmessungen in den Hallen! Die Höhenbolzen bei den Lagepunkten A3, A5 bzw. C1, C3, C5 u.s.w. werden nur von Fall zu Fall bei der Übertragung der Sollkreishöhe von den Punkten A1 zu einem bestimmten Experiment als Aufsetzpunkte für die Nivellierlatte verwendet. Sie liegen überwiegend in engster Nachbarschaft mit Abschirmmauern und Experimenten und sind erheblichen Höhenänderungen bei eventuellen Umbauten unterworfen (siehe auch den "Internen Bericht" vom Juli 1965 "Auswirkung großer Lasten auf den Hallenfußboden").

Die Höhen der Punkte A1 betragen am 26.7.66 in Bezug auf den Sollkreis

in Halle 1 : - 1705.8 mm

in Halle 2 : - 1716.0 mm

5.) Die Justierung von Experimentiermagneten.

5.1) Die Vermessungsausrüstung.

Die Quadrupole und Ablenkmagnete, die den Strahl zu den Experimenten transportieren sollen, müssen in der Regel sehr genau justiert werden. Um diese Justierung auf optischem Wege zu ermöglichen, sind Meßmarken entwickelt worden, die auf den Magneten aufgebracht werden und sich auch bei anderen genau in den Strahl einzurichtenden Apparaturen, wie z.B. Blenden bewährt haben. In jedem Falle, wo Geräte geplant und entwickelt werden, die später genau in den Strahlverlauf eingebaut werden müssen, sollte das Vorhandensein dieser Meßmarken rechtzeitig berücksichtigt werden!

Es handelt sich um kreisrunde Stahlplatten, die eine dreifache Funktion zu erfüllen haben. Einmal sollen Magnetneigungen um die Längsachse (= Strahlachse) ermittelt

werden können, dann die Magnetachsen auf Strahlhöhe gebracht und zum Dritten genau in die Strahlachse eingefluchtet werden. Für die Messung der Neigungen sind die Oberflächen der Vermessungsplatten plangeschliffen, so daß Koinzidenzlibellen aufgesetzt werden können (Abb.9). Für die Höhen- und Lagemessung besitzen sie zur Oberfläche senkrechte, zentrische Bohrungen, die das wahlweise Einsetzen von Nivelliermaßstäben bzw. Zielspitzen erlauben (Abb.10). Die Magnete sind mit Referenzflächen versehen, auf denen die Platten festgeschraubt werden, wobei die Quadrupole je zwei Vermessungsmarken an den Magnetenden, die Ablenkmagnete zusätzlich noch eine dritte in Magnetmitte erhalten. Sämtliche Vermessungsmarken werden während der genauen Felddausmessung mit Hilfe einer Hall - Sonde bei horizontierten Magneten aufgebracht und so justiert, daß sie senkrecht über den Längsachsen liegen und ihre Querneigung gleich Null ist. Außerdem wird die Höhe der Marken über den Magnetachsen festgehalten.

Zu den Vermessungsplatten wurde einiges Zubehör geschaffen, das die Arbeiten bei der Magnetjustierung erheblich erleichtert und in den Abbildungen 11 bis 13 dargestellt ist. In der Hauptsache sind es zylindrische Zwischenstücke von unterschiedlicher Länge, die auf den Rezeß der Grundplatten passen und mit Spannringen festgesetzt werden. Die zentrisch gebohrten Kopfplatten der Zwischenstücke sind planparallel zur Grundplatte und mit einer Nut zur Aufnahme der sog. Führungsschiene versehen. In diese Führungsschiene ist ein genauer Maßstab mit einem Skalenbereich von Null bis 240 mm eingraviert. Darüber ist ein verschiebbarer Nonius mit Feineinstellung montiert, der eine Aufnahmebohrung für die Zielspitze enthält. Auch die Führungsschiene selbst weist eine solche Bohrung auf, die mit der des Nonius genau übereinstimmt, wenn am Maßstab die Ablesung 0.00 mm erscheint. Die Führungsschiene wird mit einer Zentrierlibelle so ausgerichtet und mit zwei Inbusschrauben auf dem Zwischenstück

festgesetzt, daß ihre Aufnahmebohrung bei horizontiertem Magneten senkrecht über der Bohrung der Vermessungsgrundplatte liegt. Nun sind die Vermessungsplatten mit einer Nut in Strahlrichtung versehen, in die ein Paßstift des Zwischenstückes greift. Der Paßstift liegt auf der Senkrechten zur Führungsschienen-Nut durch die Drehachse des Zwischenstücks und an einem Anschlagbolzen der Grundplatte an. Der aber wird bereits bei der Montage und Justierung der Grundplatten auf den Magneten mit Hilfe einer Schablone so festgesetzt, daß der Paßstift in die Achsrichtung des Magneten gelangt. Die Nut auf der Kopfplatte und damit die Führungsschiene stehen infolgedessen senkrecht zur Magnetachse. Deshalb geben die Ablesungen am Maßstab direkt den Abstand der Zielspitzen im Nonius von der Magnetachse an!

5.2 Der Justiervorgang

Vor dem Aufbau der Magnete für eine Strahlführung vom Ring zu einem bestimmten Experiment wird in der Regel die Position der Magnetuntergestelle auf dem Fußboden angegeben. Die Justiervorrichtungen an diesen Gestellen erlauben eine präzise Verschiebung der Magnete der Höhe nach und quer zum Strahl, wenn die drei Beine so aufgestellt werden, daß das eine in der den Strahl enthaltenden Vertikalebene, die beiden restlichen seitlich, aber symmetrisch dazu stehen. In der Strahlrichtung ist eine genaue Justierung meist nicht erforderlich. Hier genügt in der Regel die Genauigkeit, die durch das Markieren der Gestellfüße am Boden und das rein mechanische Aufstellen der Gestelle über diesen Markierungen bedingt ist. Nimmt man dafür einen maximal möglichen Fehler von 5 mm an, dann erhält man bei einem Ablenkarmmagneten mit einem Ablenkwinkel von 5° zwar eine Strahlversetzung von 0.4 mm gegenüber dem Soll! Da die Justierung der folgenden Magnete normalerweise aber von der mittleren Vermessungsmarke des Ablenkarmmagneten in Bezug auf

die vorausgegangenen Magnete erfolgt, wird die Versetzung automatisch berücksichtigt. Von den Experimentatoren müssen lediglich die tatsächlichen Entfernungen in ihre Berechnungen eingeführt werden.

Die Feinjustierung der Magnete geht folgendermaßen vonstatten: Zunächst werden die Magnetachsen auf die Höhe der Teilchen-Sollbahn im Beschleuniger gebracht! Bei justierten Magneten müssen die einzelnen Vermessungsmarken genau um den Betrag über dem Sollkreis liegen, der ihrem Abstand von der Magnetachse entspricht. Die notwendigen Messungen erfolgen mit einem Feinnivellier und den zu den Vermessungsplatten gehörigen Nivelliermaßstäben. Die Vergleichshöhen liefern im Ring die Vermessungspfeiler, in den Hallen die Höhenbolzen A1.

Im Anschluß daran werden die Querneigungen der Magnete beseitigt. Dazu ist zunächst die Messung der vorhandenen Neigung der Vermessungsplatten mit der Koinzidenzlibelle vonnöten. Die Horizontierung erfolgt dadurch, daß die Hälfte des Libellenausschlages durch Anheben der Spindel des einen seitlich stehenden Fußes, die andere Hälfte durch Absenken der Spindel des anderen seitlichen Fußes des Untergestelles beseitigt wird. Dadurch bleibt die Höhe der dazwischen liegenden Vermessungsmarke und damit der Magnetachse erhalten, solange es sich um relativ geringe Neigungen handelt. Das dritte Bein des Untergestelles bleibt unangetastet, so daß auch hier die Höhe der Achse nicht verändert wird!

Erst nach Beendigung der gerade beschriebenen Justierarbeiten kann an eine Lagejustierung gedacht werden. Mit Hilfe der Kreuzschlitten an den Gestellfüßen können die Magnete quer zum Strahl bewegt werden, ohne daß die Höhenjustierung beeinflußt wird. Umgekehrt wäre dies nicht möglich!

Bei der Lagejustierung sind mehrere Fälle zu unterscheiden. Einmal die Justierung der Magnete direkt im Anschluß an

das Synchrotron, die in der Regel von einer Vermessungsmarke eines Synchrotronmagneten aus erfolgt. Hier besonders bewähren sich die vorhin beschriebenen Aufsatzstücke auf die Vermessungsplatten der Experimentiermagnete. Der Abstand der Maschinenvermessungsmarke von der Soll-Lage des aus der Maschine herausgeleiteten Strahles läßt sich mit Hilfe der Synchrotronvermessungen leicht bestimmen. Außerdem kann von dieser Marke jederzeit eine Parallelrichtung zum Strahl mit Hilfe eines Theodoliten abgesetzt werden, wobei der Absetzwinkel ϑ gegen eine zweite Maschinenvermessungsmarke ebenfalls aus der Synchrotronvermessung hervorgeht (siehe Abb.14). Auf den Experimentiermagneten brauchen dann die Meßspitzen nur um den Betrag der Parallelversetzung p ausgefahren werden, um mit einer Visur die Lage der Magnete in Bezug auf die gewünschte Strahlachse zu erfassen. Die Justierung erfolgt dann dergestalt, daß die Magnete solange quer zum Strahl verschoben werden, bis alle Spitzen auf der Visurlinie liegen. Der Vorteil dieser Methode liegt vor allem darin, daß die Entfernungen der Meßspitzen vom Instrumentenstandpunkt nicht bekannt zu sein brauchen. Bei den Ablenkmagneten, die vom Synchrotron aus eingemessen werden sollen, müssen die Ausfahrbeträge nur auf die gewünschte Schräglage umgerechnet werden. Soll der Mittelpunkt des Magneten außerdem quer zur Strahlrichtung verschoben sein, so kann dies ebenfalls bei den Ausfahrbeträgen berücksichtigt werden.

Die Lagejustierung der Strahlführungsmagnete nach dem ersten Ablenkmagneten erfolgt, wie bereits angedeutet, nach dessen Ausrichtung von seiner mittleren Vermessungsplatte aus. Zentrisch über dieser Platte wird eine Vermessungsmarke aufgebaut, wie wir sie auch auf den Synchrotronmagneten finden (Abb.15). Dadurch sind wir in der Lage, auf dem Zentrum des Ablenkmagneten einen Theodoliten aufzustellen (Abb.16). Steht der Magnet zwar gedreht, mit seiner Mittelmarke aber über dem Strahlschnitt, wie in der

Abbildung 14, dann kann der Ablenkwinkel direkt zwischen den Vermessungsplatten der Magnete vor und nach dem Ablenkmagneten gemessen werden. Es wird dann ein Aufsetzen der Zwischenstücke höchstens dann erforderlich, wenn unterschiedlich hohe Magnete die Sicht beeinträchtigen, wobei die Spitzen aber nicht ausgefahren werden dürfen. Nur wenn ein Ablenkmagnet mit seinem Zentrum nicht genau über dem geometrischen Schnittpunkt des ursprünglichen und des abgelenkten Strahls steht, was vielfach vorkommt, um die Magnetöffnung besser auszunutzen (der Strahl wird ja nicht schlagartig in einem Punkt abgelenkt, sondern folgt einer gekrümmten Bahn im Magnetfeld), muß wieder mit ausgefahrenen Spitzen gearbeitet werden. Der Ausfahrbetrag e bei den vorausgegangenen und bei den folgenden Magneten ist derselbe und hängt von der Größe der Verschiebung E des Magnetmittelpunktes in Bezug auf den Strahlschnitt und vom Ablenkwinkel ab (Abb.17). Auf diese Weise können alle Strahlführungsmagnete bis zur Mauerdurchführung justiert werden. Liegt dazwischen noch ein weiterer Ablenkmagnet, so werden die folgenden Magnete von ihm aus eingemessen!

Der quadratische Mittelwert der nach der Justierung verbleibenden Restabweichungen der Magnetachsen quer zum Strahl liegt bei den Experimentiermagneten im Ring bei ± 0.2 mm. In diesem Wert sind die Meßfehler bei der Justierung, Abweichungen der Vermessungsplatten von der Soll-Lage, Übertragungsfehler beim Aufsetzen der Zwischenstücke, Teilungsfehler der Maßstäbe auf den Führungsschienen und verbliebene Querneigungen enthalten. Der quadratische Mittelwert der Höhenabweichungen liegt dagegen bei ± 0.1 mm. Beide Genauigkeitsangaben gelten jedoch nur für die Zeit unmittelbar nach der Justierung. Änderungen der Bodenbelastungen, wiederholtes An- und Abflanschen der Vakuumanschlüsse können unter Umständen deutliche Veränderungen sowohl der Höhe, als auch der Lage der Magnete bewirken!

Leider ist es im Augenblick nicht möglich, die Justierung der Strahlführungsmagnete mit Hilfe von Winkelmessungen auf den Ablenkmagneten bis in die Hallen hinein weiterzuführen. Die Abschirmwände zwischen Halle und Ring verhindern es. Zwar kann die Strahlführung in der Halle in sich nach der beschriebenen Methode mit der angegebenen Genauigkeit ausgerichtet werden, doch muß vorher der Ablenkmagnet, der der Abschirmmauer am nächsten liegt, von den Vermessungspunkten im Fußboden aus eingerichtet werden.

Über die Sollkoordinaten läßt sich die Richtung von einem günstig gelegenen Vermessungspunkt 1 zum Magnetmittelpunkt M_s errechnen und mit Hilfe eines zweiten Festpunktes 2 absetzen (Absetzwinkel δ_{1s}). Außerdem können die Winkel $(\varphi + \psi)$ der Magnetachse mit der Meßlinie $1.M_s$ und damit die Abstände der beiden Vermessungsmarken an den Magnetenden von dieser Meßlinie ermittelt und die Zielspitzen entsprechend ausgefahren werden. Wären in Strahlrichtung keine Aufstellungsfehler des Magneten vorhanden, dann bräuchte er nur noch quer zu seiner Achse verschoben werden, bis beide Zielspitzen auf der Meßlinie liegen (Abb.18). Praktisch kann diese Verschiebung jedoch nur als Vorjustierung betrachtet werden! Im Anschluss daran muß die Entfernung s zwischen Instrument und Magnetmitte M' gemessen und mit der Sollentfernung verglichen werden. Aus der Differenz Δ und dem Winkel des eintretenden Strahls mit der Magnetachse φ bzw. mit der Ziellinie ψ läßt sich dann der Betrag Δe errechnen, um den die Magnetachse nochmals parallel verschoben werden muss, damit der Magnetmittelpunkt M wieder in Strahlachse (Abb.19) bzw. in einem vorgegebenen Abstand dazu liegt. Außerdem kann die Größe der Verschiebung in der ursprünglichen Strahlrichtung Δs und damit die Mittelpunktskoordinaten, sowie die Parallelversetzung Δp des abgelenkten Strahls gegenüber der Wunschachse ermittelt und festgehalten werden. Nach Berechnung

der endgültigen Richtung 1.M und Kontrolle der Justierung durch Absetzen dieser Richtung (Absetzwinkel δ_1) ist dann auch der Weg frei zur Angabe der Strahlachsen vom Magnetmittelpunkt aus. Die Sollrichtungen sind bekannt, so daß die Absetzwinkel δ_2 und δ_3 gegen den Festpunkt 1 (siehe Abb.20) ohne weiteres ermittelt werden können!

Der Idealfall für die Justierung eines solchen Ablenk-
magneten in der Halle wird natürlich der sein, daß der Ver-
messungsbolzen 1, über dem der Theodolit aufgestellt wird,
in unmittelbarer Nachbarschaft des in den Magneten eintreten-
den Strahls oder seiner Verlängerung liegt. Dann kann man
von ihm aus eine Richtung absetzen, die parallel zum Strahl
ist und die Vermessungsspitzen auf dem Magneten unter Be-
rücksichtigung der Parallelversetzung so ausfahren, daß
eine Justierung ähnlich der von einem Synchrotronmagneten
aus möglich ist. Nur in diesem Fall wirkt sich ein Auf-
stellungsfehler des Magneten in Strahlrichtung nicht auf die
Lage quer zum Strahl aus. Allerdings kommt man auch hier
nicht darum herum, den Verschiebungsbetrag Δs in Längs-
richtung und die tatsächlichen Koordinaten des Magnetmittel-
punktes M zu bestimmen, will man zu den richtigen Absetz-
winkeln δ_2 und δ_3 für die Strahlachsen gelangen.

In der Regel reicht jedoch die Länge des Maßstabs auf den
Führungsschienen nicht aus, um die Justierung auf diese
einfache Art erledigen zu können. Dann sind geringe Rest-
fehler quer zum Strahl allerdings nicht auszuschließen, da
die Beträge Δ nur mit einer Genauigkeit von ± 0.5 mm zu
erfassen sind. Bei einem Winkel $\psi = 17^\circ$, wie er bei den bis-
herigen Justierungen als Maximalwert aufgetreten ist, kommt
dies einer Querabweichung des Magnetmittelpunktes von ± 0.1 mm
in Bezug auf den einfallenden Strahl gleich.

Leider gilt das bisher Gesagte nur für den Fall, daß die bei
der Messung verwendeten Vermessungsbolzen genau an den

Stellen liegen, die durch ihre Koordinaten festgelegt werden. Auf Grund der bereits früher angegebenen möglichen Punktfehler erscheint das jedoch als sehr unwahrscheinlich. Bei der derzeitigen Position des Ablenkmagneten Nr. 1206 im Blasenkommerstrahl muß deshalb mit einem mittleren Lagefehler für die mittlere Vermessungsmarke bis zu ± 1.3 mm gerechnet werden, wobei allerdings auch die unvermeidlichen Meßfehler bei der Justierung einkalkuliert sind! Der quadratische Mittelwert der Querabweichungen der vom Magnetmittelpunkt abgesteckten Strahlachse (Absteckwinkel δ_3) in Bezug auf den Strahl, der aus dem Ring in die Halle kommt, beträgt dann in 10 m Entfernung vom Magneten ± 2.7 mm.

Im Prinzip kann man diese Abweichungen vermindern dadurch, daß man bei der Justierung den Abstand der Bolzen 1 und 2 möglichst groß, den Abstand des Bolzens 1 vom Magnetmittelpunkt dagegen möglichst klein wählt. Bei der Winkelabsteckung vom Magneten sollte man dann nicht diesen Bolzen 1 zur Orientierung heranziehen, sondern einen weiteren Bolzen 3, der wieder möglichst weit weg vom Magneten gelegen ist. Durch die Abschirmungen in der Halle sind diese Möglichkeiten aber weitgehend begrenzt!

Wie bereits erwähnt, kann von der Mittelmarke des 1. Ablenkmagneten in der Halle ausgehend das gesamte dortige Strahlführungssystem in Bezug auf die abgesteckte Strahlachse (Absteckwinkel δ_3) ausgerichtet werden, wobei dieselbe Methode, wie bei den Experimentiermagneten im Ring Anwendung findet (Abb.17). Die erreichte Genauigkeit innerhalb dieses Systems ist dabei dieselbe, wie im Ring. Es darf aber nie übersehen werden, daß das System gegen den aus dem Ringgebäude kommenden Strahl sehr wahrscheinlich versetzt und gedreht sein wird, entsprechend den oben genannten Unsicherheiten für die Aufstellung des Ablenkmagneten und die Absteckung der Strahlrichtung von seiner Mittelmarke. Diese Verfälschung kann nur dann vermeiden werden, wenn eine

direkte Sicht vom letzten Ablenkmagneten im Ring zum ersten Ablenkmagneten in der Halle geschaffen wird!

5.3. Der Verlauf der Elektronen- und Gammastrahlen

Für den Verlauf der Strahlen zu den Experimenten sind differenzierte theoretische Angaben vorhanden.*⁾ Hieraus können unmittelbar die Absteckmaße für die erforderlichen Experimentiermagnete u.s.w. abgeleitet werden, wenn es sich um Elektronenstrahlen, also die Auslenkung des Strahls aus dem Synchrotron in die Halle handelt. Bei DESY sind dies zur Zeit Strahl 8 und Strahl 20, deren Parameter in der Abb.21 angegeben sind. Dasselbe gilt für den Blasen-kammerstrahl 12, dessen Verlauf in Abb.23 erläutert wird.

Finden dagegen Gammastrahlen direkt Verwendung, die durch Abbremsung der Elektronen in einem Maschinentarget erzeugt werden, so kann die vorausberechnete Strahlachse nicht unbedingt mit der tatsächlichen gleichgesetzt werden, da es hier weniger Möglichkeiten gibt, ihre Lage vom Synchrotron aus zu beeinflussen! In der Regel sind hier deutliche Verschiebungen des Ursprungsortes und der Richtung des Gammastrahls festzustellen, ganz gleich, ob ein rotierendes oder ein festes Target verwendet wird.

Daher ist es ratsam, vor dem Aufbau eines neuen Experimentes die tatsächliche Lage des Gammastrahls, wie er aus der Maschine kommt, zu bestimmen! Den Physikern bleibt es überlassen, den für ihre Zwecke geeigneten "optimalen" Strahl zu finden, der dann durch Aufnahmen mit Polaroidfilm in Verbindung gebracht wird mit der theoretischen Achse. Dazu dienen Filmrahmen, deren Meßmarken auf dem Film die Lage und Höhe des Sollstrahles angeben. Sie werden mit Hilfe von justierbaren Untergestellen senkrecht über Bodenpunkten aufgestellt, die die Lage der theoretischen Achsen markieren, wobei diese durch die in Abb.22 angege-

benen Parameter festgelegt sind! Für jeden Gammastrahl sind im Ring wenigstens zwei solcher Bodenpunkte vorhanden, die vom Synchrotron aus abgesteckt wurden. Sind ihre Entfernungen vom Target bekannt, dann brauchen auf den Aufnahmen nur noch die Abstände der Strahlmittelpunkte von den Meßmarken bestimmt zu werden, um die Lage des tatsächlichen Strahls in Bezug auf die theoretische Achse und das DESY - Vermessungssystem zu ermitteln. Die Absteckung der so gewonnenen Strahlachse im Ring oder in der Halle ist dann Routine-sache. Es muß allerdings dazu bemerkt werden, daß die Auswertung der Strahlaufnahmen meist auf etwa 2 mm unsicher sein wird. Um eine zuverlässige Aussage über den Strahlverlauf zu erhalten, wird man deshalb eine ganze Reihe von Aufnahmen anfertigen, wobei die Filmgestelle gleichmäßig über den ganzen Strahlverlauf, also auch in den Hallen, verteilt werden!

=====

*) DESY-Bericht 65/18

Interne Mitteilung der Gruppe M 9 vom 18.3.64

Interne Mitteilung der Gruppe F 1 vom 13.5.64

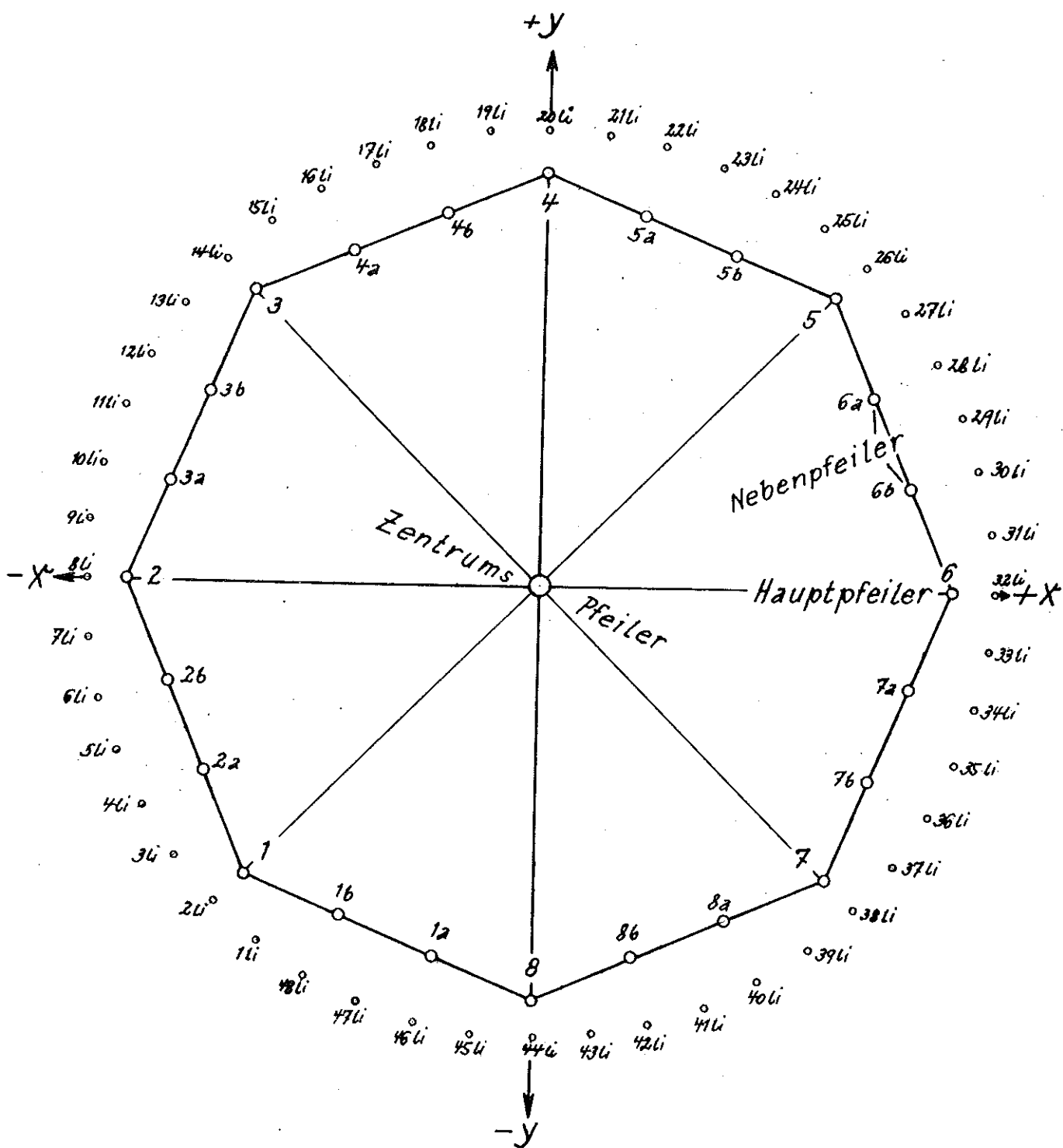


Abb. 1

a) Sollkoordinaten [m] bei einer Speichenlänge des regelmäßigen Achtecks von $S_m = 47,98823\text{m}$

	1	2	3	4	5	6	7	8	Z
\bar{x}	-33,93280	-47,98823	-33,93280	0	+33,93280	+47,98823	+33,93280	0	0
\bar{y}	-33,93280	0	+33,93280	+47,98823	+33,93280	0	-33,93280	-47,98823	0

b) Lageabweichungen [0.01mm]

	1	2	3	4	5	6	7	8	Z
$d\bar{x}$	-16	+11	-19	+6	-7	+12	+30	-21	+4
$d\bar{y}$	+5	0	+4	-25	-7	+7	+7	+8	-1

c) Ist-Koordinaten [m]

	1	2	3	4	5	6	7	8	Z
x	-33,93296	-47,98812	-33,93299	+0,00006	+33,93273	+47,98835	+33,93310	-0,00021	+0,00004
y	-33,93275	0	+33,93284	+47,98798	+33,93273	+0,00007	-33,93273	-47,98815	-0,00001

Abb. 2

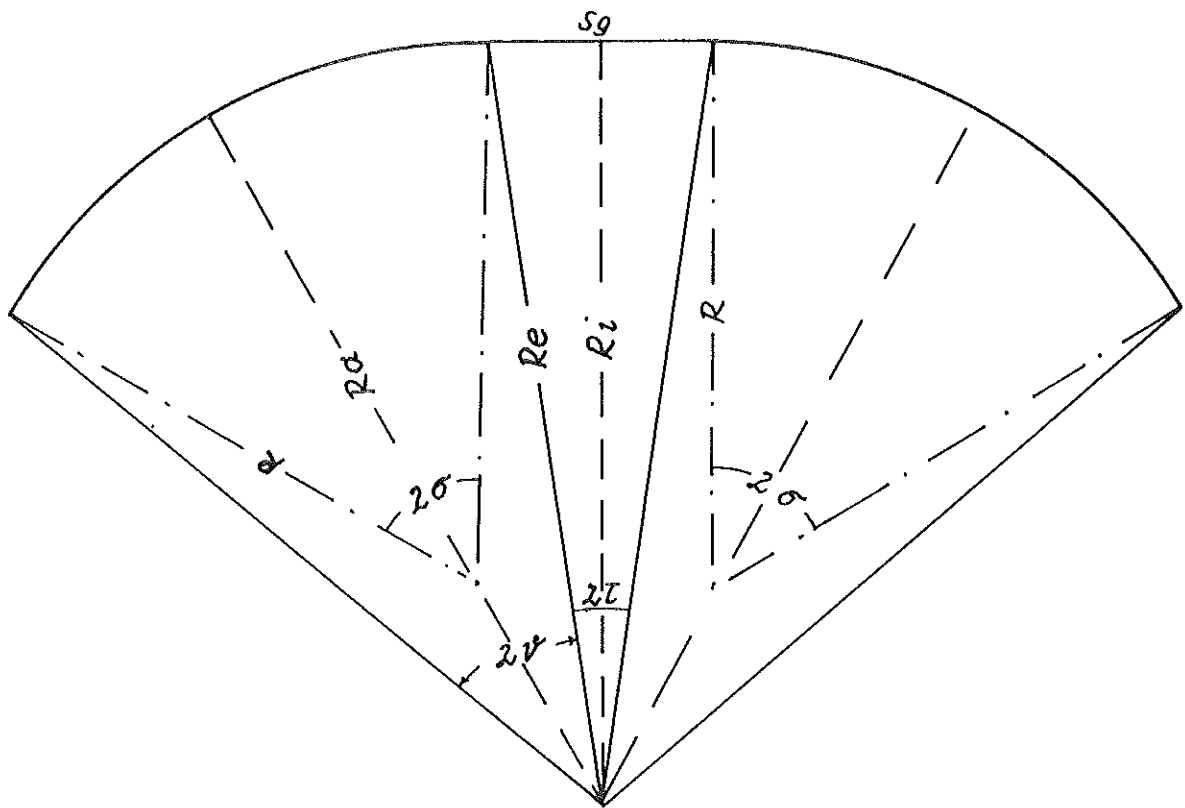


Abb. 3

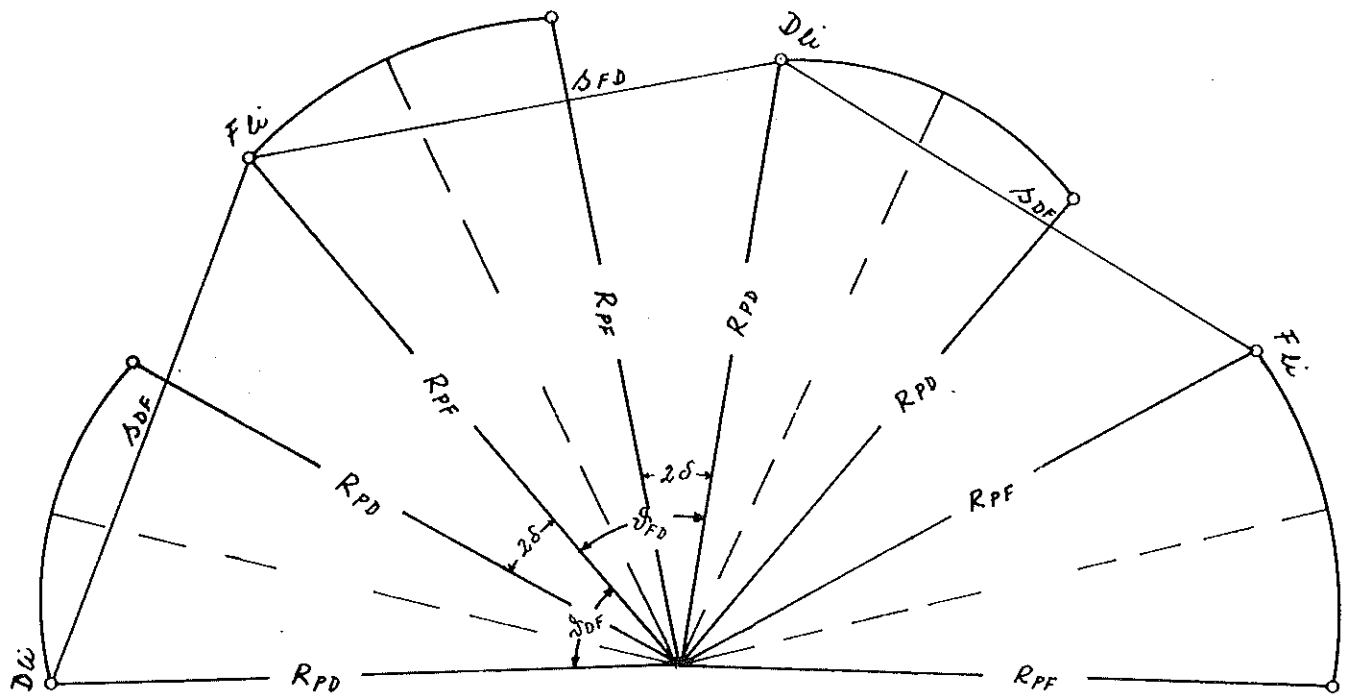
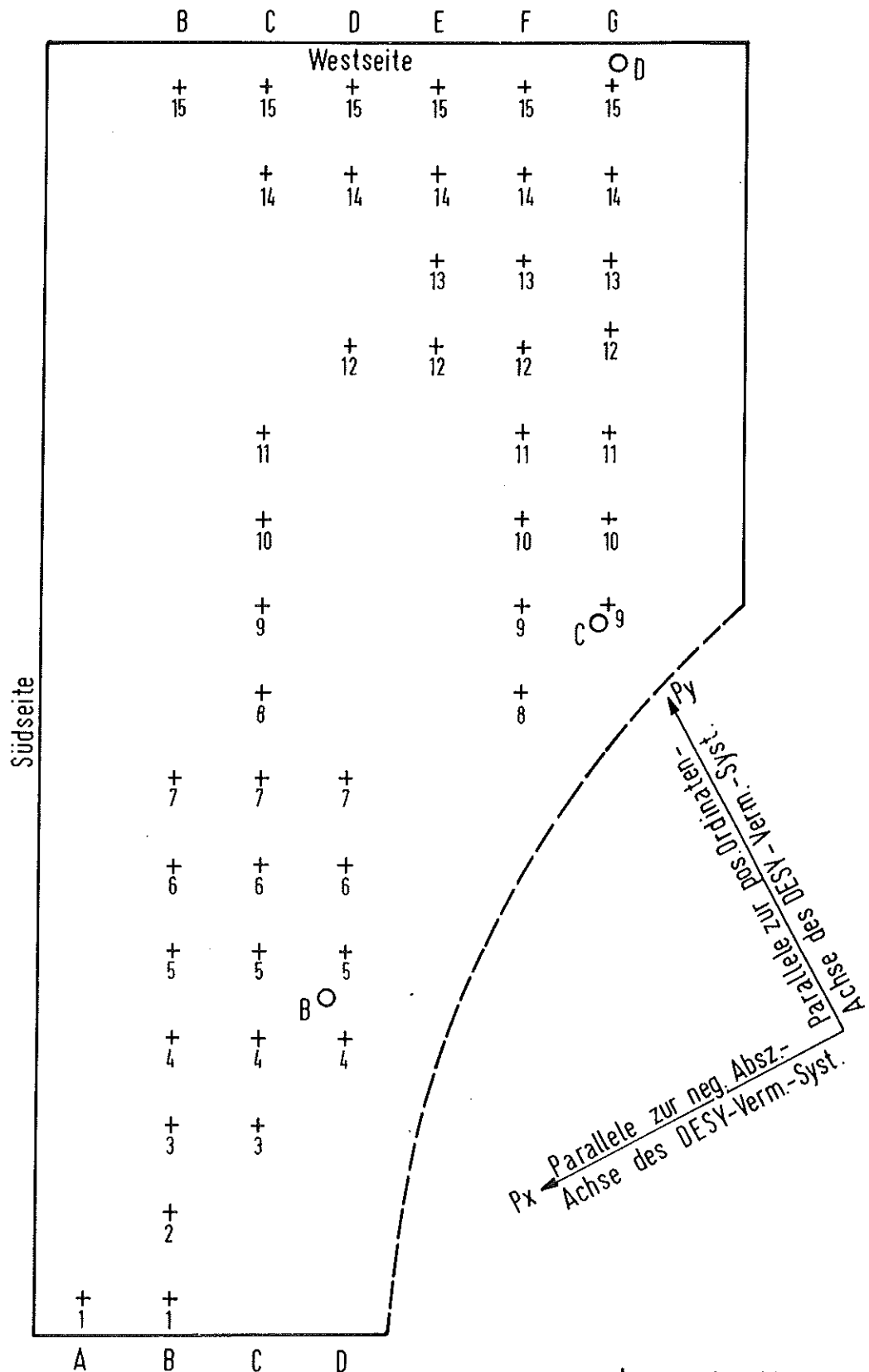


Abb. 4



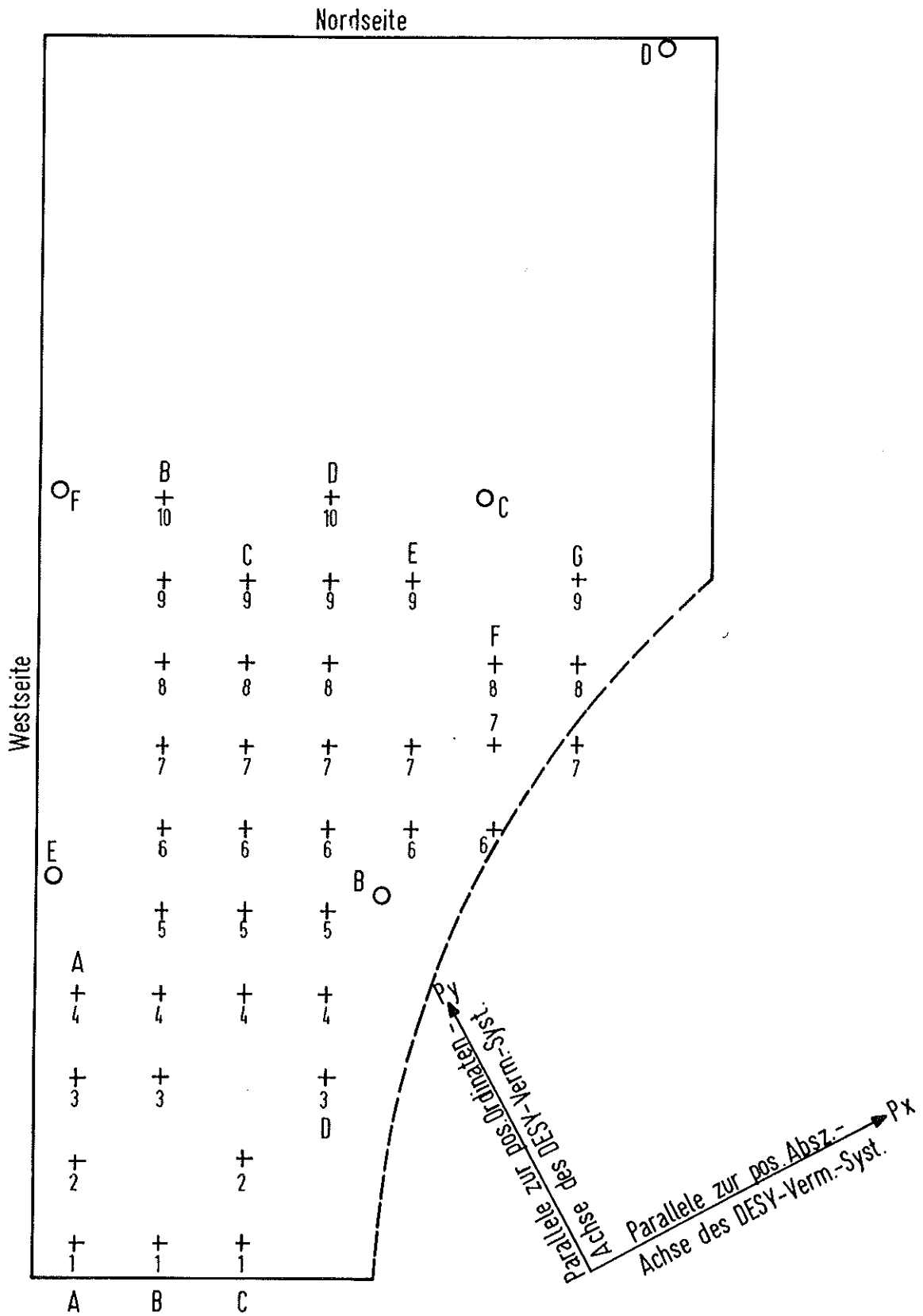
+ Vermessungsbolzen
 o Hauptpunkte

Abb.5

Lage der Verm.-Punkte
 in Halle I

0m 5m 10m

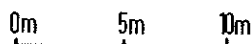
o A



- + Vermessungsbolzen
- O Hauptpunkte

Lage der Verm.-Punkte
in Halle II

Abb. 6



Koordinaten der Vermessungsbolzen in Experimentierhalle 1

Punkt Nr.	X	Y	Punkt Nr.	X	Y
A ₁	- 65.64 44	+ 40.27 55	D ₅	- 42.9560	+ 50.7783
A ₂			D ₆	- 40.5849	+ 55.1884
A ₃			D ₇	- 38.2185	+ 59.5898
A ₄			D ₈		
A ₅			D ₉		
A ₆			D ₁₀		
A ₇			D ₁₁		
A ₈			D ₁₂	- 26.3812	+ 81.5953
A ₉			D ₁₃		
A ₁₀			D ₁₄	- 21.6383	+ 90.3967
A ₁₁			D ₁₅	- 19.2725	+ 94.8127
A ₁₂					
A ₁₃			E ₄		
A ₁₄			E ₅		
A ₁₅			E ₆		
			E ₇		
B ₁	- 61.2417	+ 37.9078	E ₈		
B ₂	- 58.8772	+ 42.31 08	E ₉		
B ₃	- 56.5015	+ 46.71 31	E ₁₀		
B ₄	- 54.1338	+ 51.11 61	E ₁₁		
B ₅	- 51.7615	+ 55.5188	E ₁₂	- 21.97 75	+ 79.2266
B ₆	- 49.3944	+ 59.9222	E ₁₃	- 19.5909	+ 83.6289
B ₇	- 47.0221	+ 64.3237	E ₁₄	- 17.2347	+ 88.0394
B ₈			E ₁₅	- 14.8740	+ 92.4452
B ₉			F ₈	- 27.0431	+ 59.2471
B ₁₀			F ₉	- 24.6731	+ 63.6498
B ₁₁			F ₁₀	- 22.2986	+ 68.0557
B ₁₂			F ₁₁	- 19.9348	+ 72.4539
B ₁₃			F ₁₂	- 17.5761	+ 76.8617
B ₁₄			F ₁₃	- 15.1927	+ 81.2608
B ₁₅	- 28.0795	+ 99.5512	F ₁₄	- 12.8398	+ 85.6711
			F ₁₅	- 10.4681	+ 90.0744
C ₁			G ₉	- 20.2693	+ 61.2782
C ₂			G ₁₀	- 17.8980	+ 65.6809
C ₃	- 52.0995	+ 44.33 99	G ₁₁	- 15.5273	+ 70.0841
C ₄	- 49.7294	+ 48.74 78	G ₁₂	- 12.6878	+ 75.3480
C ₅	- 47.3601	+ 53.14 77	G ₁₃	- 10.78 78	+ 78.8892
C ₆	- 44.9890	+ 57.5524	G ₁₄	- 8.41 73	+ 83.2972
C ₇	- 42.6181	+ 61.95 24	G ₁₅	- 6.04 76	+ 87.6939
C ₈	- 40.2453	+ 66.3574	H ₁₀		
C ₉	- 37.8757	+ 70.7628	H ₁₁		
C ₁₀	- 35.5040	+ 75.1632	H ₁₂		
C ₁₁	- 33.13 78	+ 79.5692	H ₁₃		
C ₁₂			H ₁₄		
C ₁₃			H ₁₅		
C ₁₄	- 26.0492	+ 92.7727	<i>Hauptpunkte (mit rotem Kreis umrandet)</i>		
C ₁₅	- 23.6805	+ 97.1849	A	- 53.8065	+ 20.5156
			B	- 45.1770	+ 48.8032
D ₃			C	- 21.3223	+ 60.6567
D ₄	- 45.32 84	+ 46.3754	D	- 5.1275	+ 88.6867

Nullpunkt des Koordinatensystems: Vermessungspfeiler im Zentrum des Synchrotrons. Die positive X-Achse geht durch Vermessungspfeiler Nr. 6

Koordinaten der Vermessungsbolzen in Experimentierhalle 2

Punkt Nr.	X	Y	Punkt Nr.	X	Y
A1	+ 40.3335	+ 65.9033	E4		
A2	+ 44.7394	+ 63.5364	E5		
A3	+ 49.1470	+ 61.1726	E6	+ 52.9029	+ 36.4567
A4	+ 53.5520	+ 58.8092	E7	+ 57.3097	+ 34.0945
A5			E8		
A6			E9	+ 66.1201	+ 29.3644
A7			E10		
A8					
A9			F6	+ 50.5371	+ 32.0478
A10			F7	+ 54.9452	+ 29.6904
			F8	+ 59.3526	+ 27.3257
B1	+ 37.9696	+ 61.4953	F9		
B2			F10		
B3	+ 46.7826	+ 56.7667			
B4	+ 51.1885	+ 54.4008	G7	+ 52.5778	+ 25.2873
B5	+ 55.5900	+ 52.0393	G8	+ 56.9860	+ 22.9176
B6	+ 59.9974	+ 49.6726	G9	+ 61.3917	+ 20.5529
B7	+ 64.4022	+ 47.3067	G10		
B8	+ 68.8079	+ 44.9426			
B9	+ 73.2126	+ 42.5795	H9		
B10	+ 77.6184	+ 40.2126	H10		
C1	+ 35.6032	+ 57.0893			
C2	+ 40.0103	+ 54.7224			
C3					
C4	+ 48.8293	+ 50.0047			
C5	+ 53.2323	+ 47.6357			
C6	+ 57.6328	+ 45.2691			
C7	+ 62.0418	+ 42.9056			
C8	+ 66.4416	+ 40.5415			
C9	+ 70.8506	+ 38.1746			
C10					
D3	+ 42.0529	+ 47.9549	Hauptpunkte (mit rotem Kreis umrandet)		
D4	+ 46.4578	+ 45.5896			
D5	+ 50.8636	+ 43.2272			
D6	+ 55.2695	+ 40.8626			
D7	+ 59.6726	+ 38.5002			
D8	+ 64.0785	+ 36.1337			
D9	+ 68.4849	+ 33.7710			
D10	+ 72.8946	+ 31.4036			
			A	+ 21.9587	+ 54.3937
			B	+ 50.1825	+ 39.8558
			C	+ 68.5440	+ 23.1573
			D	+ 87.2300	+ 0.8392
			E	+ 60.4811	+ 56.7584
			F	+ 81.0832	+ 45.5355

Nullpunkt des Koordinatensystems: Vermessungspfeiler im Zentrum des Synchrotrons. Die +X-Achse geht durch Vermessungspfeiler 6

Abb. 8

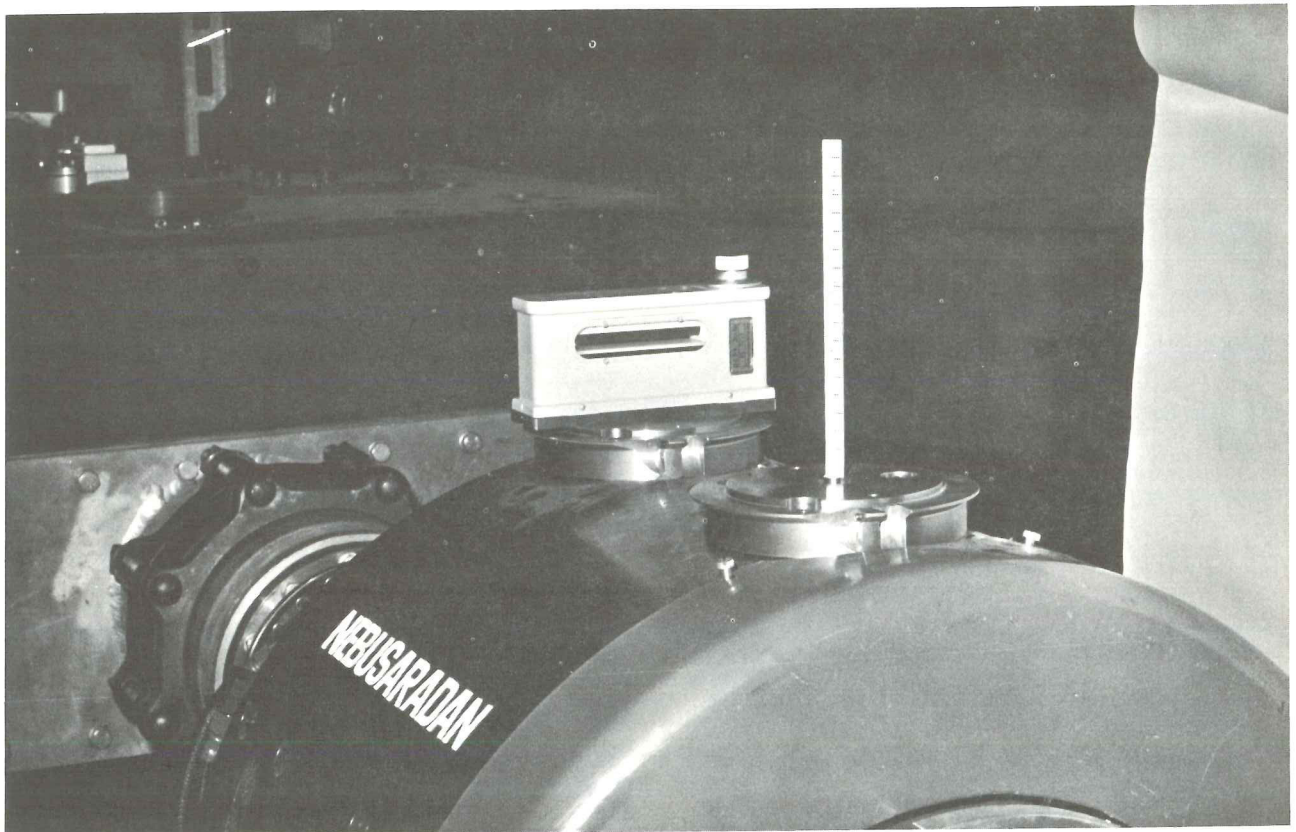


Abb. 9



Abb.10

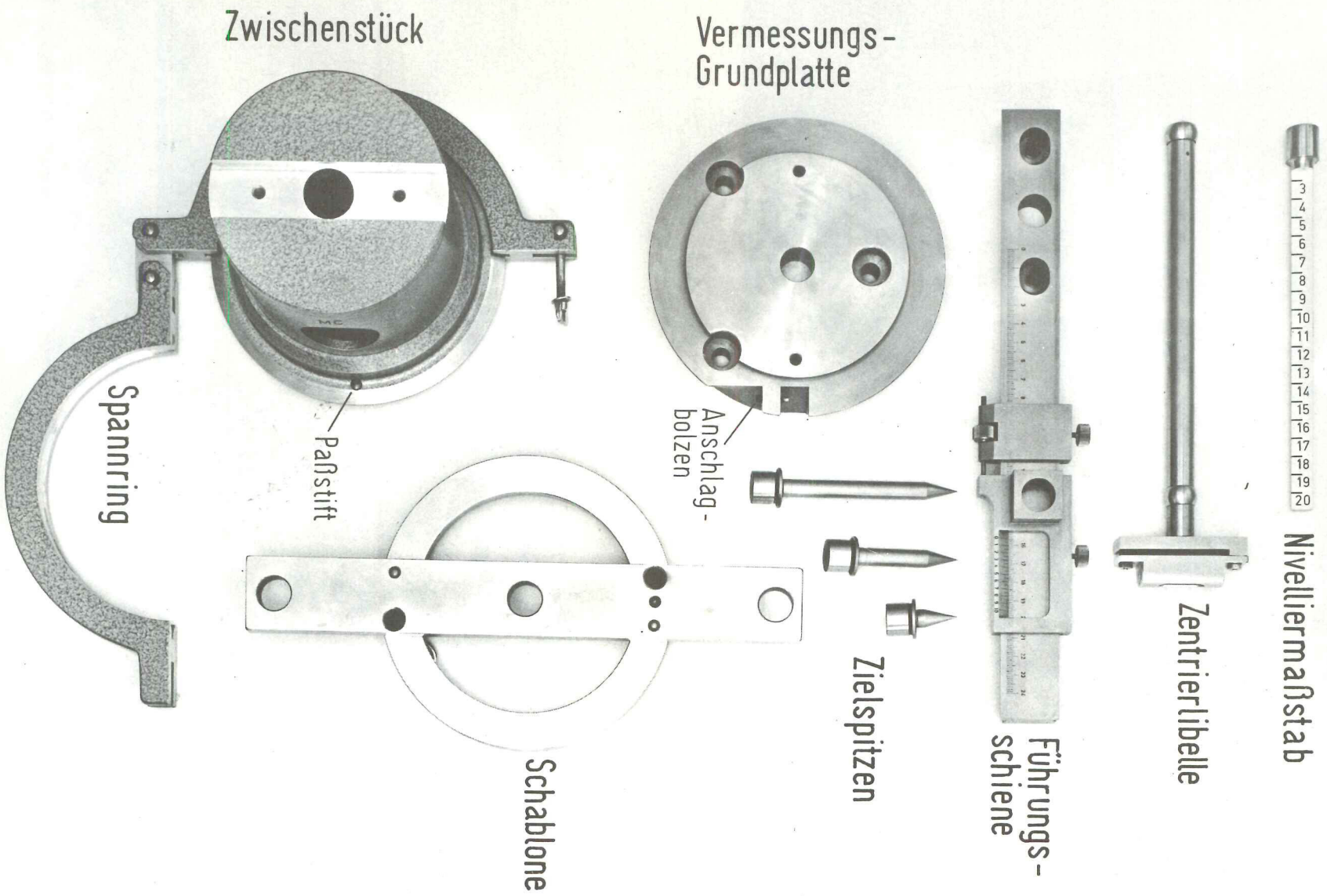
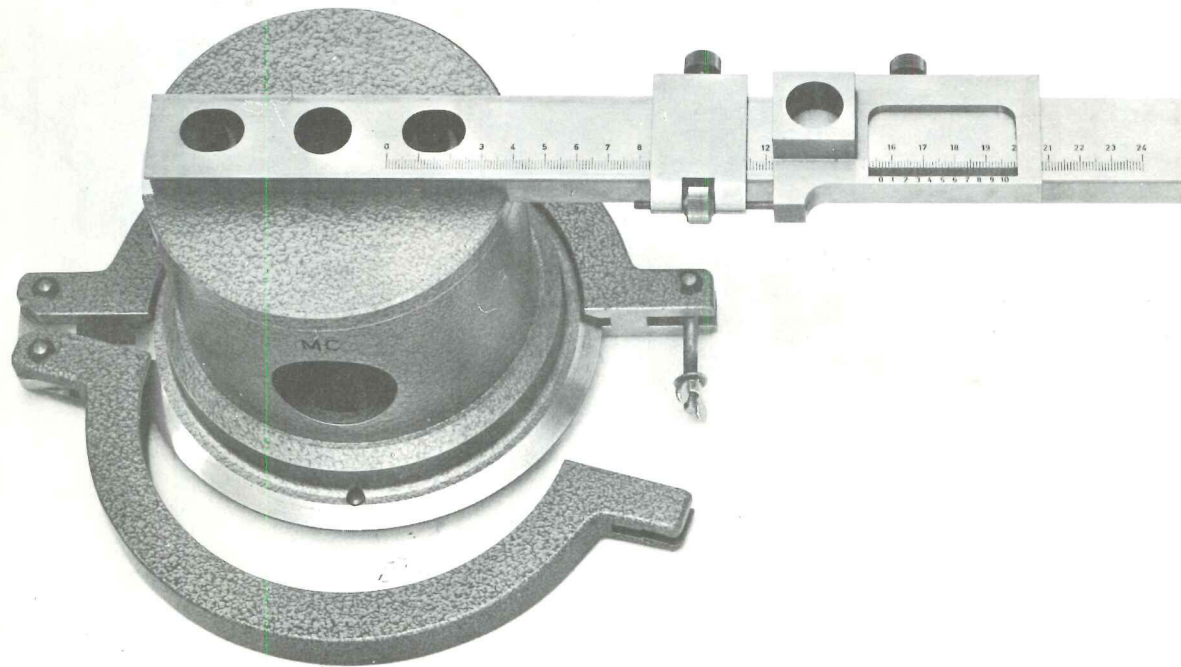
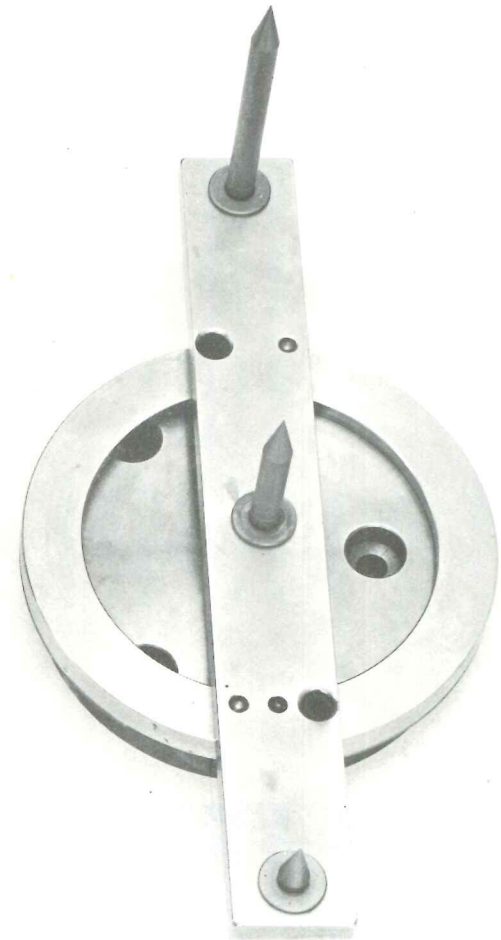


Abb.11

Abb.12



Zwischenstück
mit Führungsschiene



Vermessungsplatte
mit Schablone zur Ausrichtung des
Anschlagbolzens

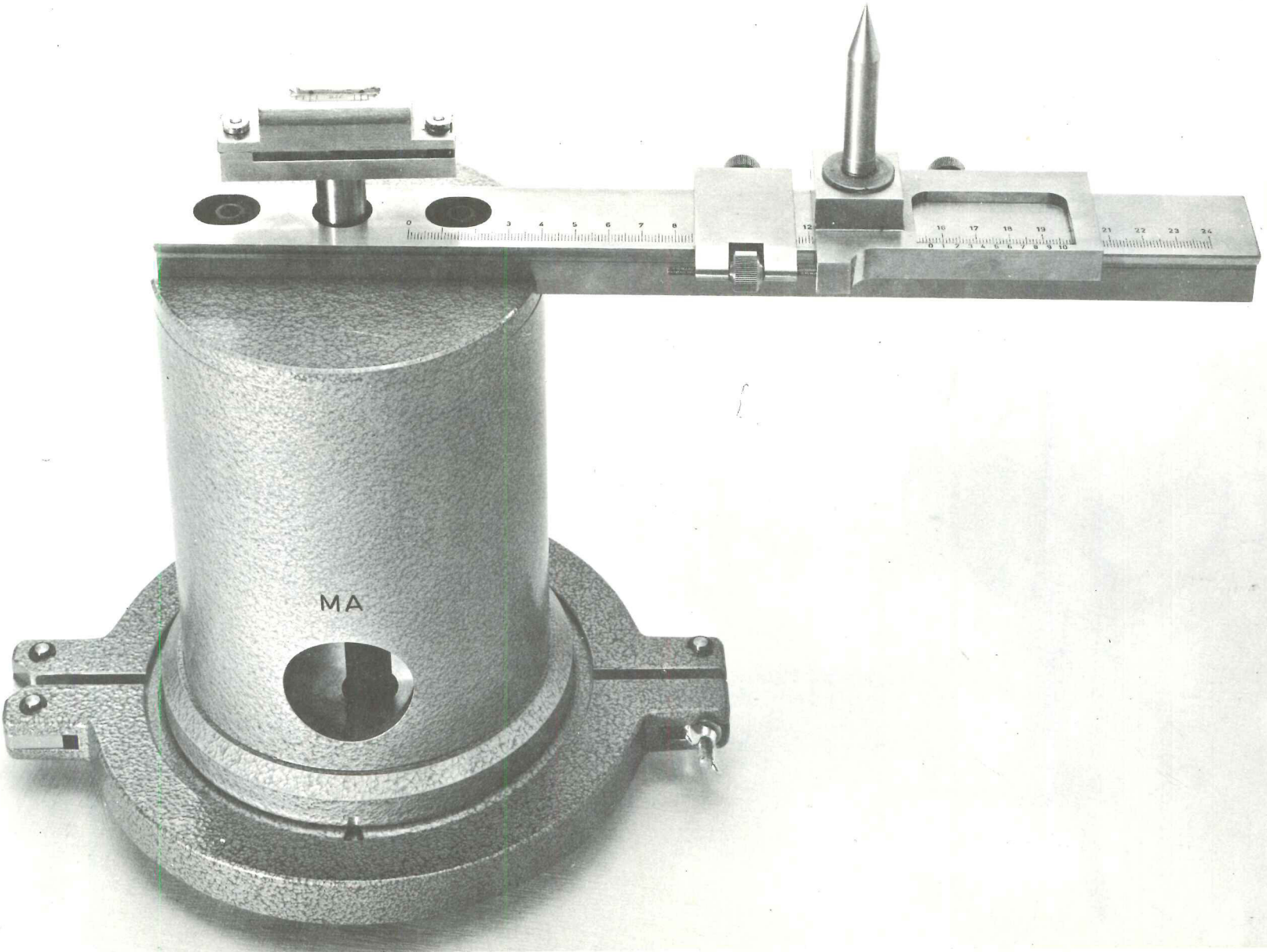


Abb. 13

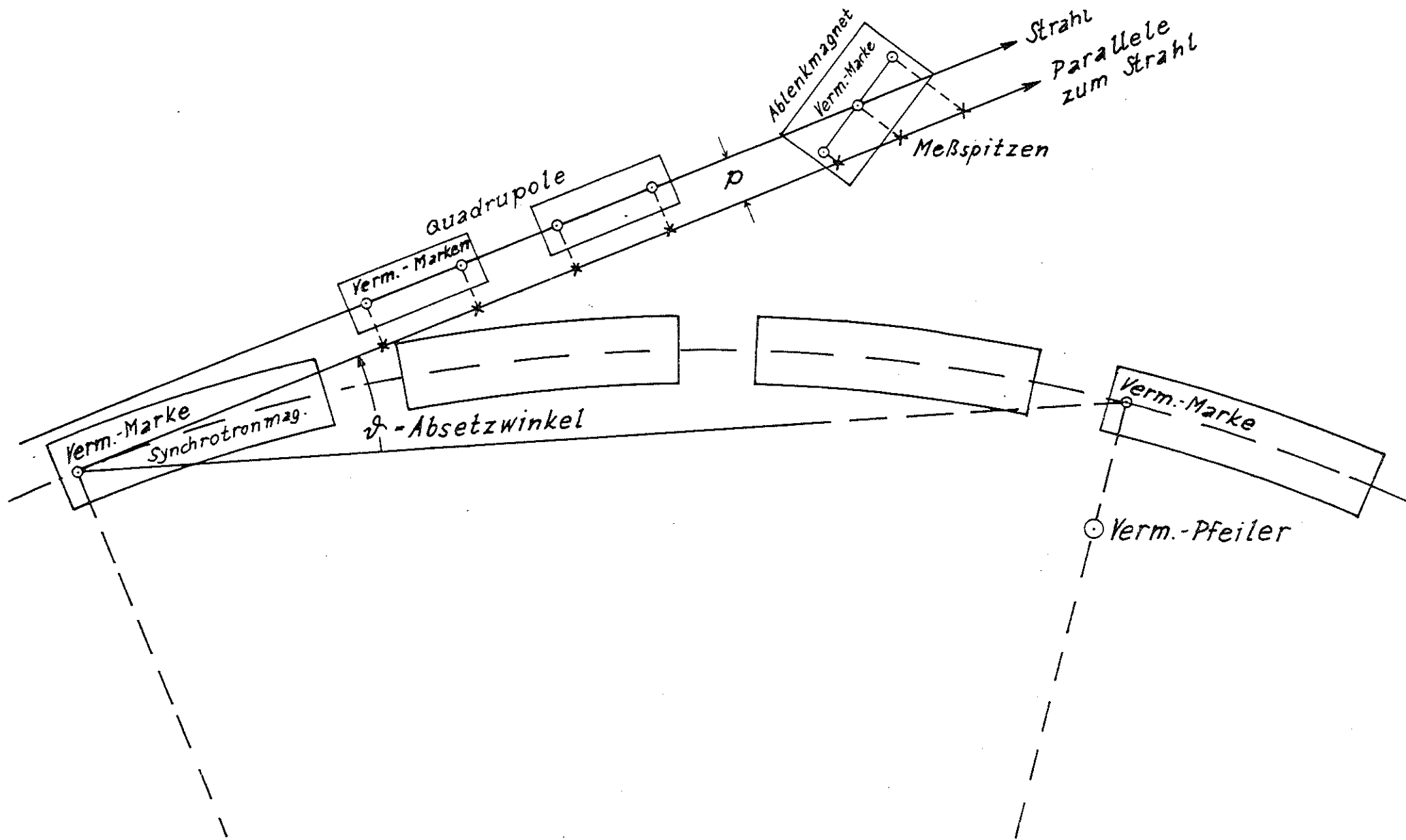


Abb. 14

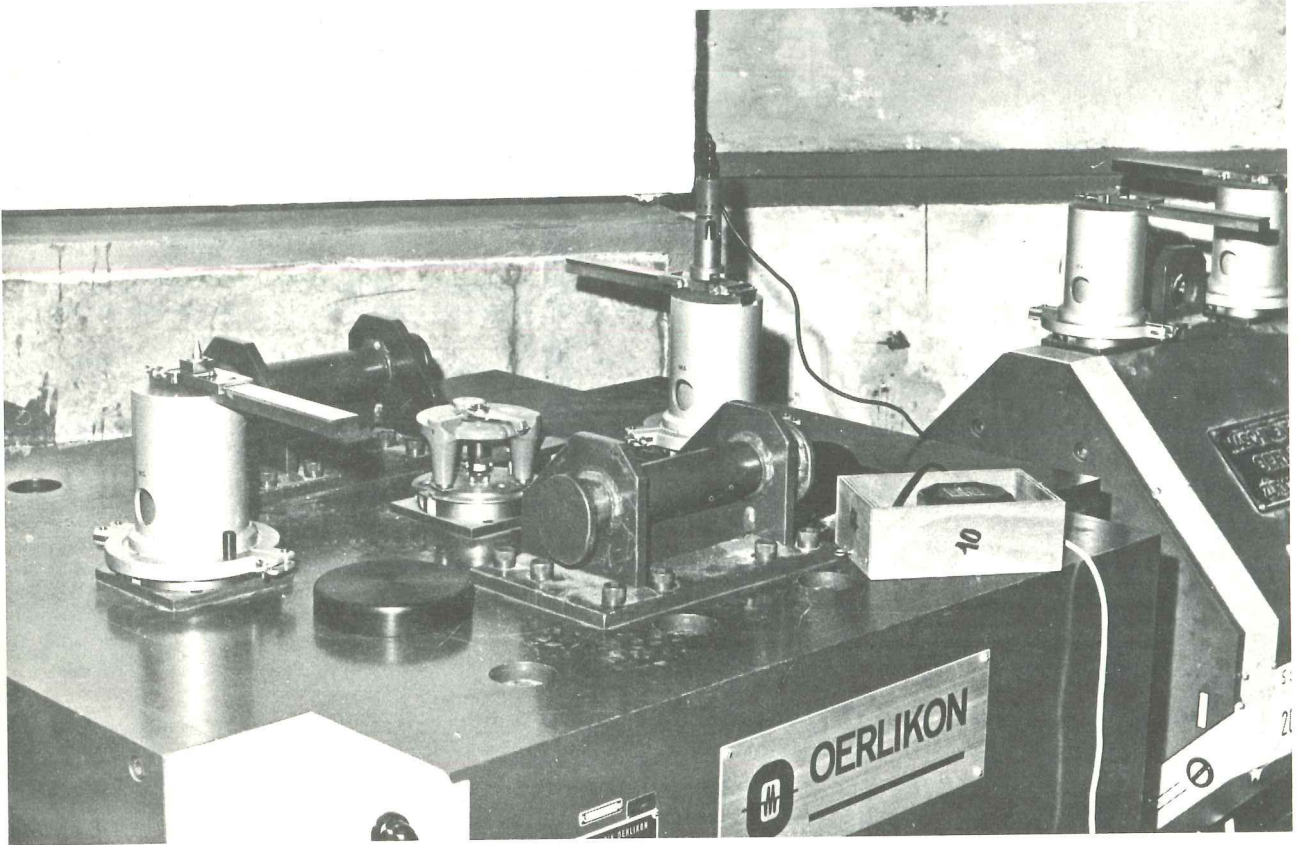


Abb.15



Abb.16

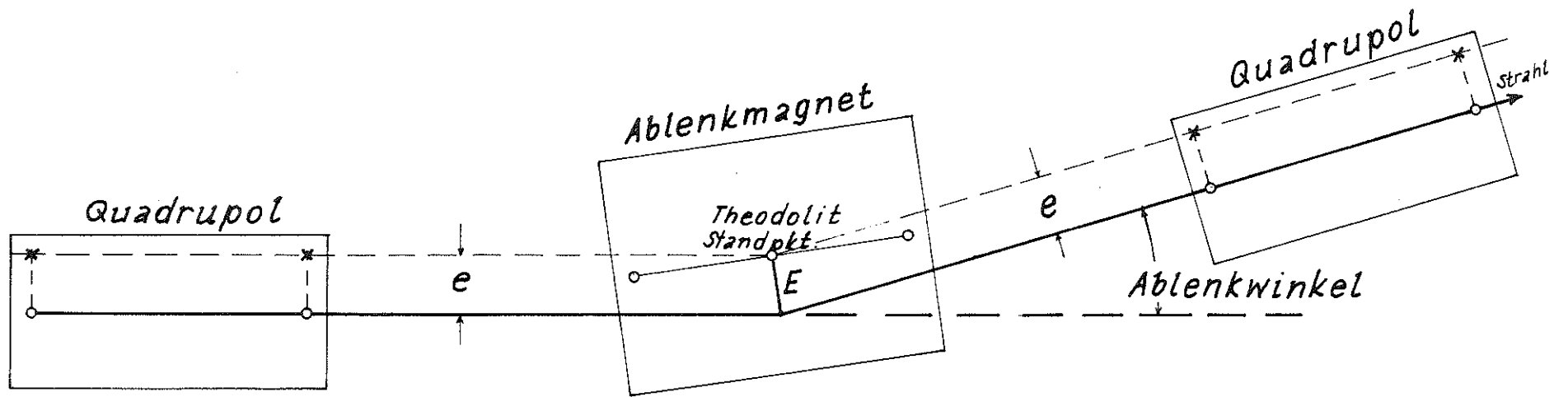


Abb. 17

Justierung eines Ablenkmagneten von Vermessungsbolzen aus

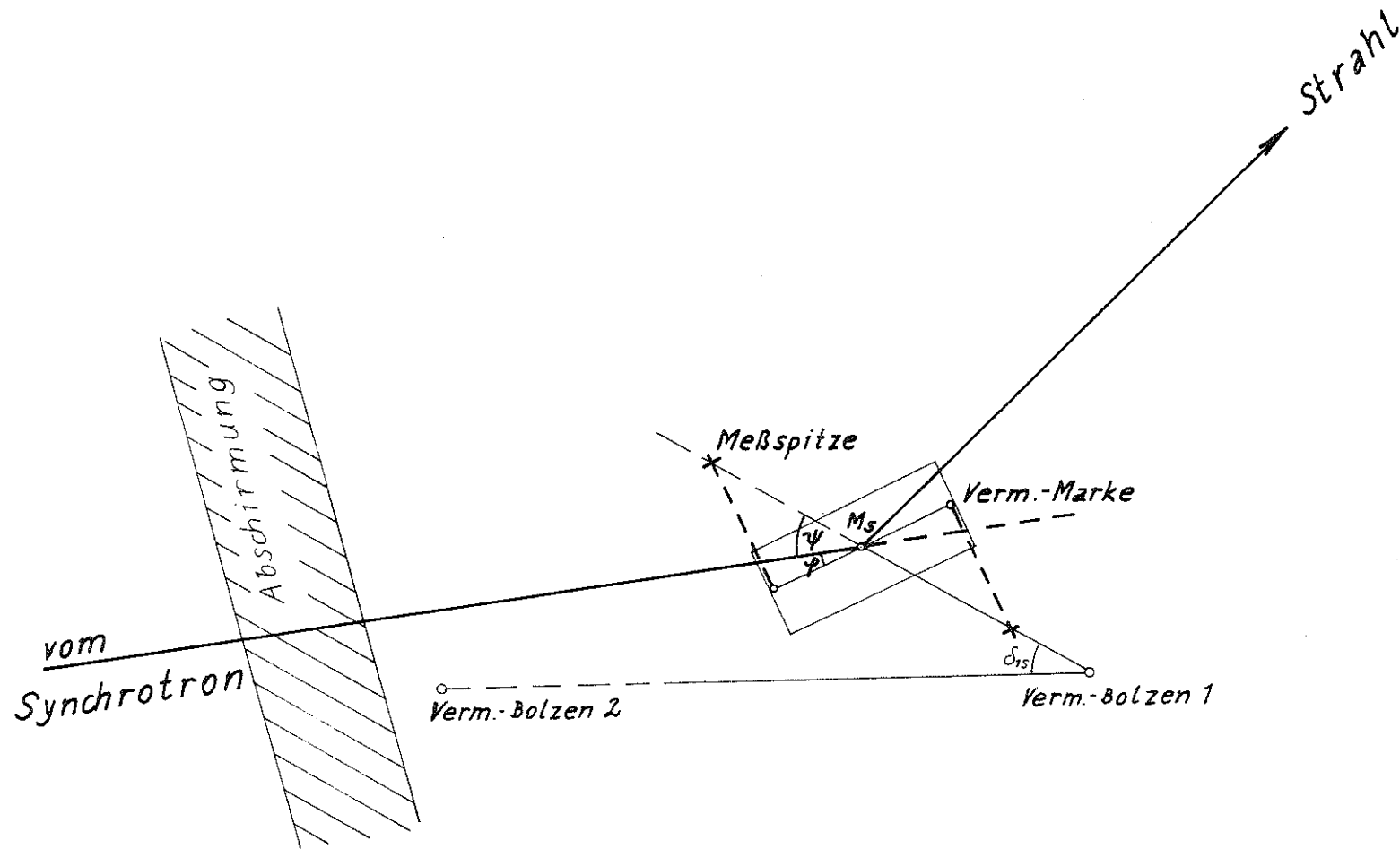


Abb. 18

Einflüsse des Aufstellungsfehlers eines Ablenkmagneten
in Strahlrichtung, bei der Justierung von Vermessungsbolzen aus.

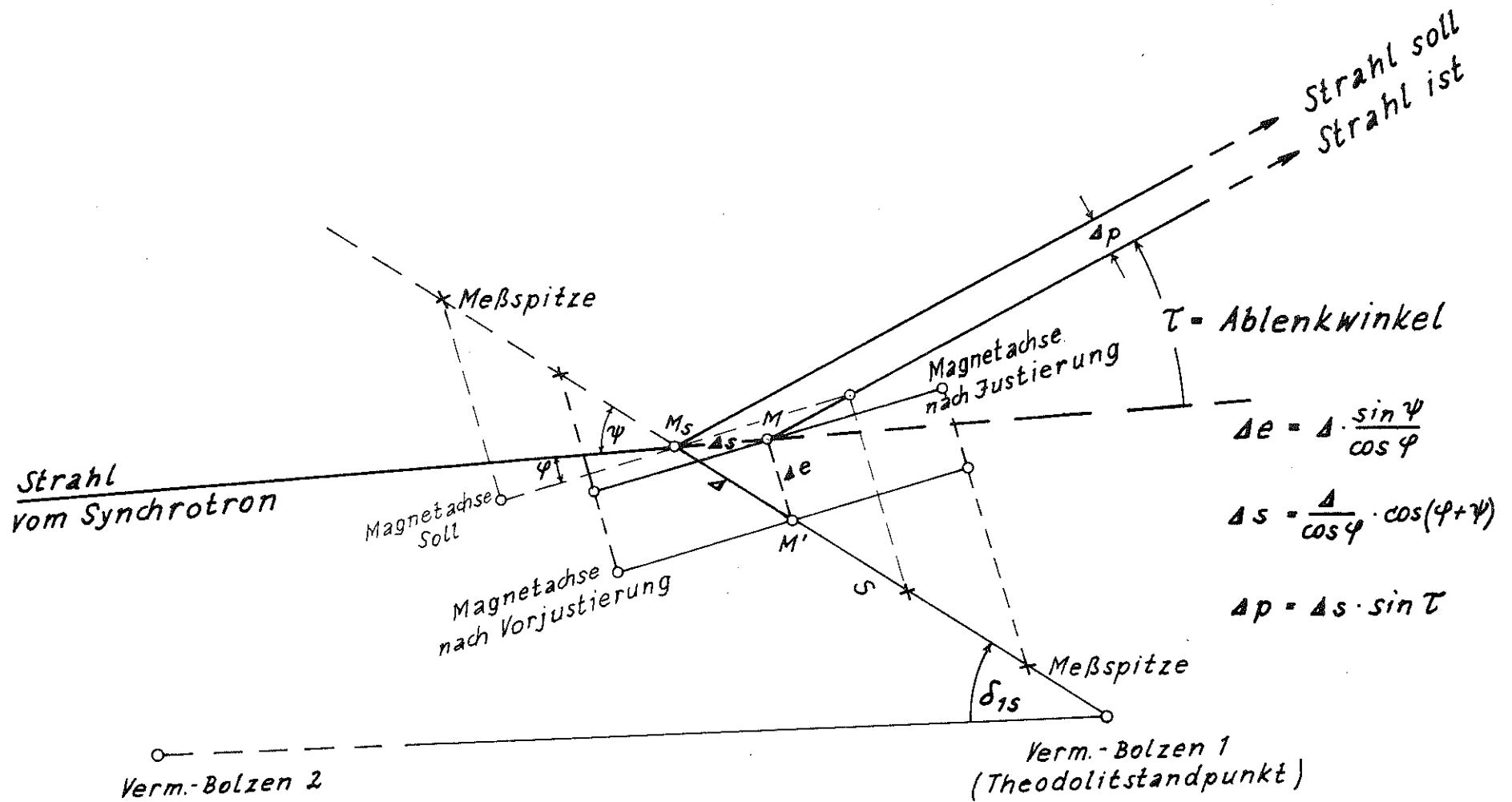


Abb. 19

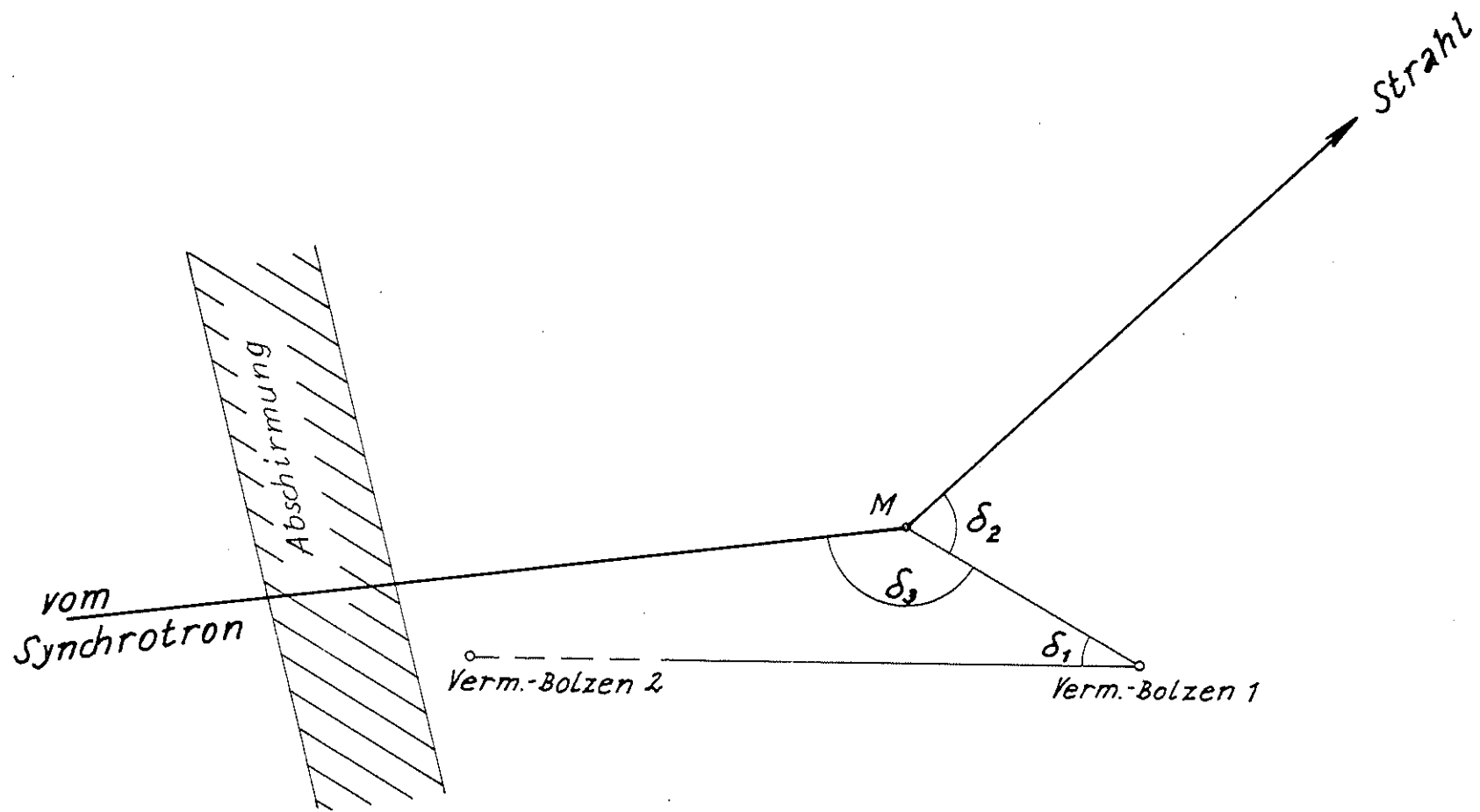


Abb. 20

Sollbahn der äußeren Elektronenstrahlen

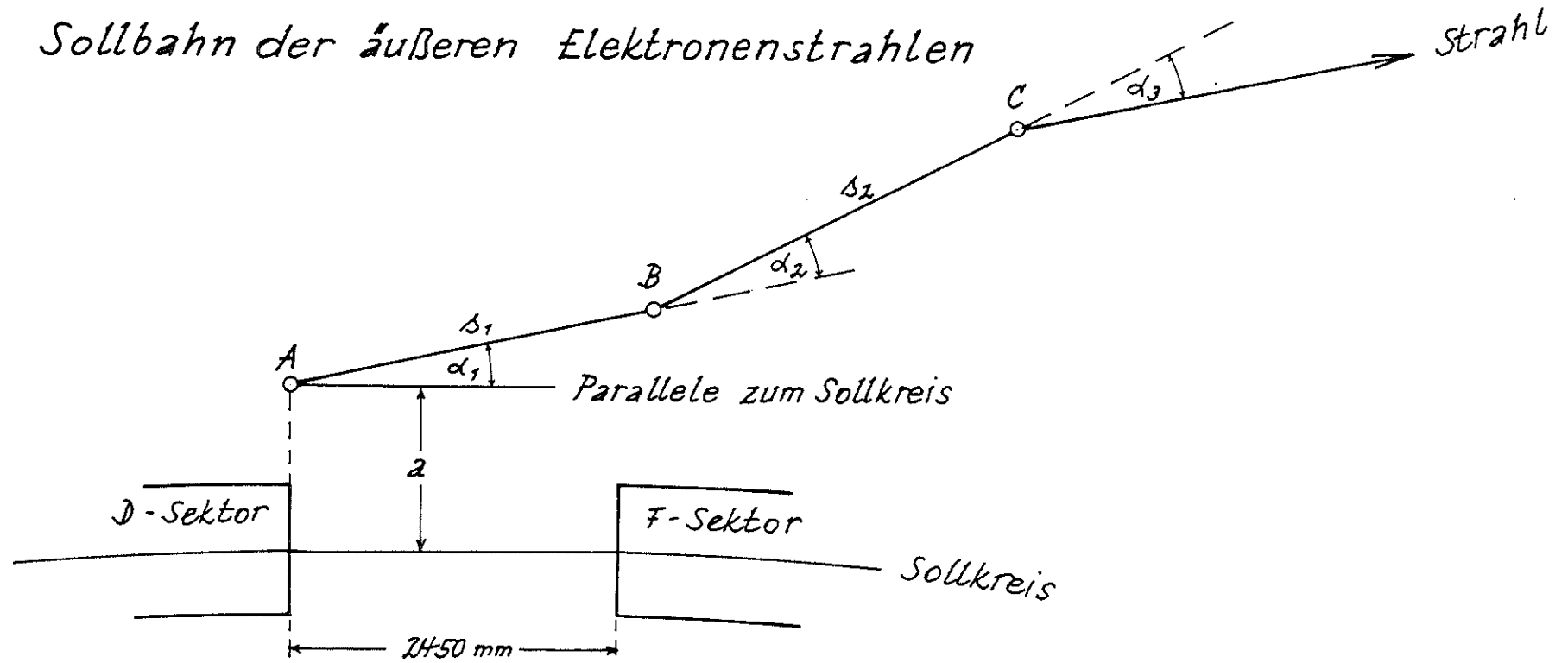
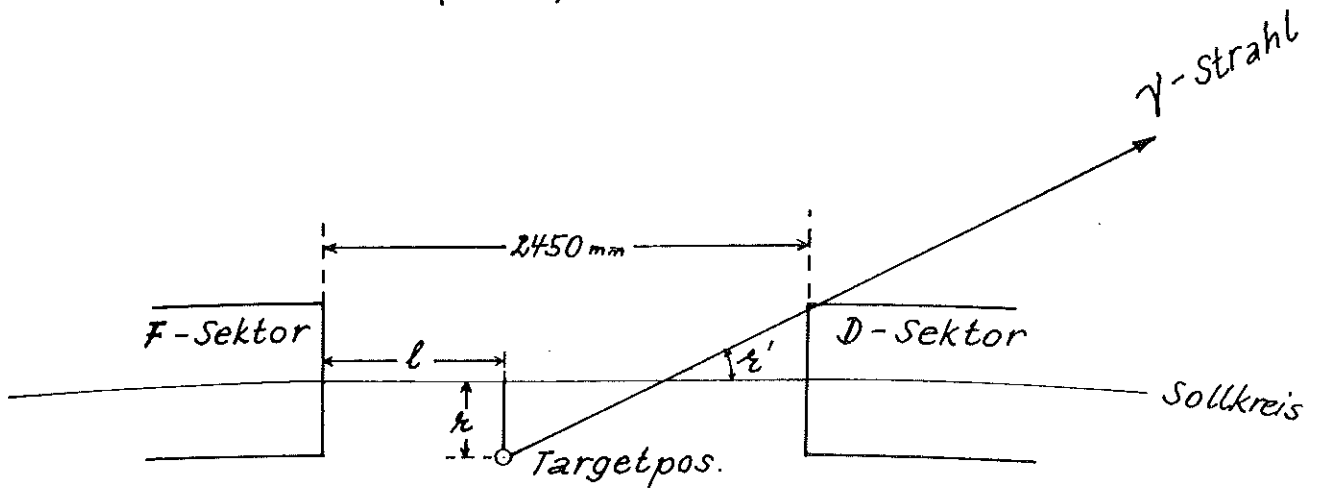


Abb. 21

Strahl Nr.	Punkt A am magnetisch. Ende	a [mm]	α_1 [mrad]	δ_1 [m]	α_2	δ_2 [m]	α_3
8	von Sektor 8	155	52,3	10,0715	5°	14,5745	5°
20	von Sektor 20	155	52,3	11,9200	5°	13,8400	4,7°

Position der Synchrotrontargets und
Richtung der Gammastrahlen
(Soll)



Nr. des ger. Stückes	l [mm]	r [mm]	ϵ' [mrad]
8	1925	38	6,3
10	640	45	6,2
12	640	45	6,3
20	1925	38	6,2
22	640	45	6,3
24	640	35	4,9

Die entsprechenden Werte für die Targets
der Elektronenstreuung:

10	1540	30	4,7
22	1380	30	4,7

Sollbahn des Blasen-kammer-Strahls

Abb. 23

