

DEUTSCHES ELEKTRONEN - SYNCHROTRON (DESY)

Hamburg-Gr. Flottbek 1, Flottbeker Drift 56

DESY-Bibliothek

Desy-Bericht A 1.10

Hamburg, den 11. April 1962

Arbeitsberichte der Gruppen M 1 - M 8

vorgetragen in der Sitzung des Wissenschaftlichen Rates am

15. 12. 1961

Arbeitsbericht der Gruppe M 1
vorgetragen in der Sitzung des Wissenschaftlichen Rates am
15. 12. 1961

Seit der Festlegung der Parameter des Beschleunigers wurden Untersuchungen über folgende Probleme angestellt:

1. Strahlungseffekte,
2. Intensitätsbegrenzung durch Raumladungserscheinungen,
3. Strahlrückwirkung auf das Hochfrequenz-System.

Die Untersuchungen über die Strahlungseffekte sind in letzter Zeit durch eine Arbeit von Hereward neu angeregt worden, der darauf hinwies, daß bei Benutzung eines closed orbits, der nicht mit einer isomagnetischen Linie übereinstimmt, eine Dämpfung der radialen Betatronschwingung zu erreichen ist.

Die Untersuchungen zur Intensitätsbegrenzung durch Raumladungserscheinungen haben zu folgenden Ergebnissen geführt: Die Raumladungsgrenzen liegen um etwa einen Faktor 10 höher als die geplante Intensität von 10^{+11} Elektronen/Puls.

Die Untersuchungen über die Rückwirkung des Elektronenstrahls auf das Hochfrequenz-System sind zur Zeit noch im Gange. Wir hoffen, in Kürze das Hochfrequenz-System mit Elektronenstrom auf unserem Analogrechner simulieren zu können. Das Ziel dieser Arbeit ist besonders die Untersuchung von selbstregelnden Einrichtungen zur Steuerung der Hochfrequenz (Strahlsteuersystem).

In vielen Fällen bestand die Aufgabe der Theoretischen Gruppe in der Bearbeitung von rechnerischen Problemen der anderen Gruppen. So wurden z. B. Berechnungen für die Korrekturwicklungen der Magnete durchgeführt. Zur Zeit beginnen wir die Arbeit an einem Programm, das die Ergebnisse der Magnetmessungen zur Berechnung der Eigenschaften der realen Maschine benutzen soll.

Zur Ermittlung der notwendigen Strahlenschutz-Maßnahmen wurden ausführliche Rechnungen über die Entwicklung der elektromagnetischen und der Nukleonenkaskade in Abschirmmaterialien durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Rechnungen wurden durch ein gemeinsam mit Herrn Citron und Herrn Hoffmann am CERN-PS durchgeführtes Experiment überprüft und nach den Meßergebnissen korrigiert.

Zur Vorbereitung auf die mit dem Anlaufen der Experimente bei DESY zu erwartenden Aufgaben haben wir damit begonnen, uns mit den Problemen der Datenverarbeitung bei den Experimenten zu beschäftigen.

Arbeitsbericht der Gruppe M 2
vorgetragen in der Sitzung des Wissenschaftlichen Rates am
15. 12. 1961

Im Frühjahr 1960 wurden ein F-Modell, geliefert von Ansaldo - San Giorgio und ein D-Modell, geliefert von SSW Dynamowerk Berlin, in Betrieb genommen. Bei mehreren Firmen wurden D-Blocks verklebt und 1961 ein D-Sektor daraus zusammengestellt, der auf Abb. 1 ohne die Spulen zu sehen ist. Mit Spulen versehen, kann er in der Magnethalle besichtigt werden. Auf dieser Abbildung ist die endgültig gewählte Verspannung bemerkenswert. Die Fundamente sind über die gesamte Länge von 4,20 m mit einer Genauigkeit von $\pm 0,025$ mm bearbeitet. Hierdurch entfällt die vertikale Justierung des Blocks und erleichtert sich die Montage wesentlich. Die systematische Durchbiegung der Sektoren von $\sim 0,2$ mm wird zugelassen.

Das in D-Blocks gemessene n-Plateau entsprach innerhalb 1,5 ‰ dem berechneten Plateau. Im F-Sektor fanden wir eine gewisse Diskrepanz zwischen Rechnung und Messung (Abb. 2), die auf die Fertigungsgenauigkeit zurückgeführt werden konnte. Das F-Profil wurde noch einmal neu berechnet, damit eine gewisse Reserve im $\frac{\Delta n}{n}$ - Plateau für die nicht zu vermeidenden Fertigungstoleranzen zur Verfügung steht. Abbildung 3 zeigt das alte und neue theoretische Plateau. Der Auftrag für das Anfertigen der Magnetblocks wurde im Januar 1961 an SSW-DW Berlin erteilt. Die endgültigen D- und F-Schnitte sind auf den Abbildungen 4 und 5 zu sehen. Die vier Löcher mit 40 mm ϕ werden für die Eisenkühlung verwendet. Die Blechstärke wurde von 0,35 mm auf 0,47 mm erhöht. Das Blech wurde von Armco in der Qualität Tran - Cor A 6 mit No. 4 isoliert geliefert.

Auf Abbildung 6 sehen wir einen noch unverklebten D-Endblock, der aus 270 Blechen besteht. Die einzelnen Bleche wurden in Paketen von 60 gleichen Blechen im Polbereich mit einem Walzenfräser nach je einer Schablone bearbeitet. Der Endblock liegt auf der Grund-

platte eines Schichtwerkzeuges, das auch für die Normalblocks verwendet wird. Man erkennt die Führungen und die Anschläge für die obere Druckplatte. Die F-Endblocks sind noch in der Fertigung. Sie werden genau wie die D-Endblocks 135 mm lang, jedoch sind sie nur auf einer Länge von 100 mm abgerundet. Der Vorsatz, eine vom Radius unabhängige B-Länge zu erhalten, wurde erreicht, ebenfalls die Absicht, daß sich die Endblocks nicht mehr als die Normalblocks erwärmen sollen. Alle Normalblocks haben eine Länge von 315 mm. Mit den Normalblocks hatten wir manchen Kummer durch magnetische Inhomogenitäten bei der Injektion (Buckel). Bei den Spulen entschieden wir uns für den schon früher von uns vorgeschlagenen Typ mit Kühlröhrchen und Kühlfahnen, jedoch mit nur 4 Preßseilen à 120 mm², die beim Übergang von Scheibe zu Scheibe (Abb. 7) in bestimmter Weise vertauscht sein müssen, damit Wirbelströme (Ausgleichströme) bei der Injektion vermieden werden, die sich sonst störend im Kopffeld und beim D-Typ auch im n-Plateau auf der weiten Seite bemerkbar machen. Eine vollständige Kompensation wird nach Passieren von 2 Sektoren erreicht. Der Auftrag auf Anfertigen der Spulen ging im April 1961 an die Firma SSW-DW Berlin.

Zum Schluß noch ein kleiner Blick in die Zukunft. Auf den nächsten beiden Abbildungen (8 und 9) ist die Anordnung der Drähte für die Polflächenwindungen zu sehen, die nur bei kleinen Feldern benötigt werden. Die Polflächenwindungen enthalten je:

einen Quadrupolsatz für systematische n-Korrekturen.
(Der Feldindex bei der Injektion ist 2 % beim D-Typ und 4 % beim F-Typ zu groß),

einen Sextupolsatz für systematische n'-Korrekturen, um die Betatronschwingung unabhängiger vom Impuls zu machen und so die Kopplung zwischen Synchrotron- und Betatronschwingung zu verringern und die Satellitenstopbänder zu unterdrücken.

einen Dipolsatz für systematische und individuelle B-Korrekturen.

Bis auf den Dipolsatz für individuelle Korrekturen sind alle Drähte so geschaltet, daß in den Polflächenwindungen keine Spannung induziert wird, also ein Betrieb mit Gleichstrom möglich ist. Alle Blocks und Spulen sollen bis Ende 1962 bei DESY sein. Wir hoffen, Mitte 1963 alle Magnete, mit Polflächenwindungen versehen, im Ring installiert zu haben.

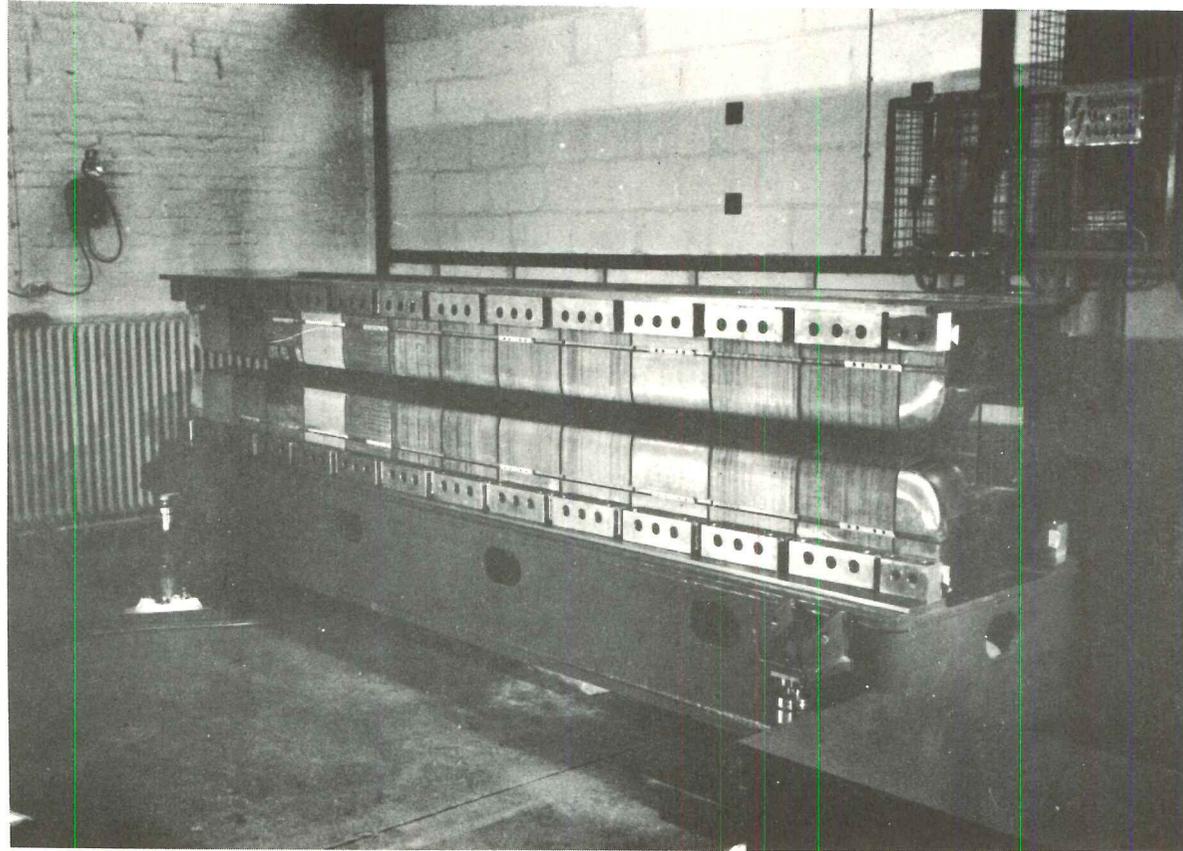


Abb. 1

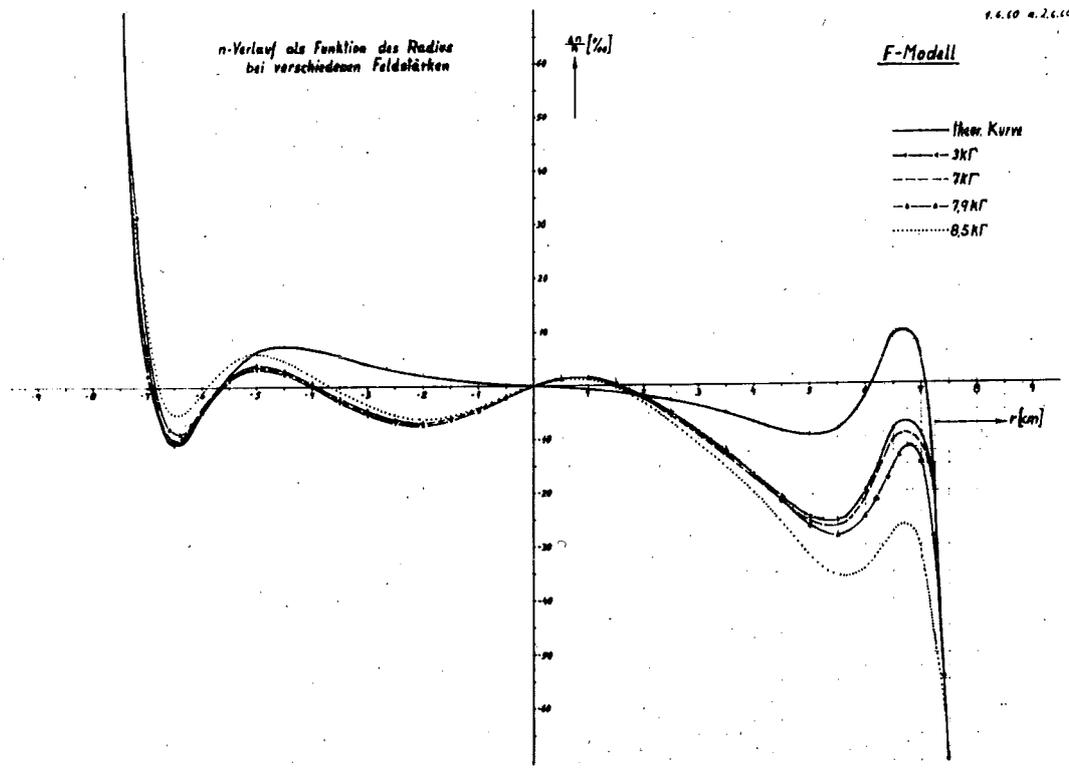


Abb. 2

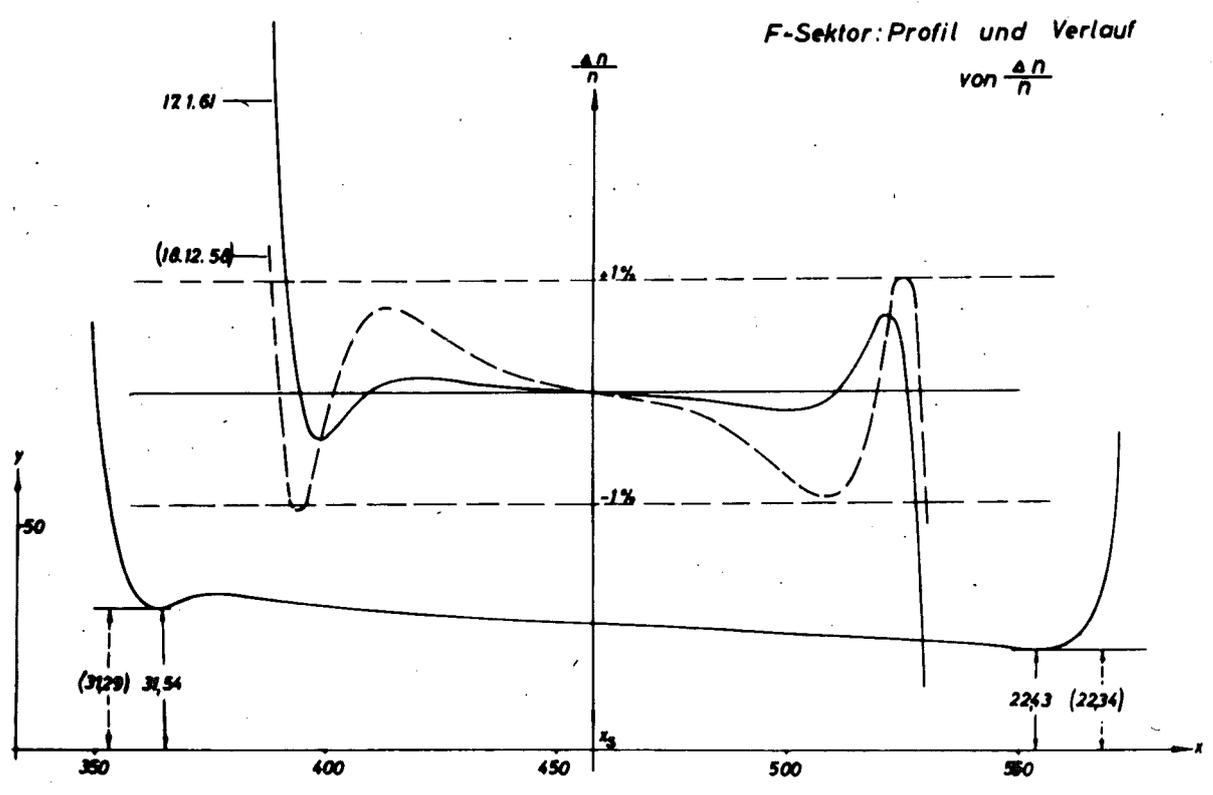


Abb. 3

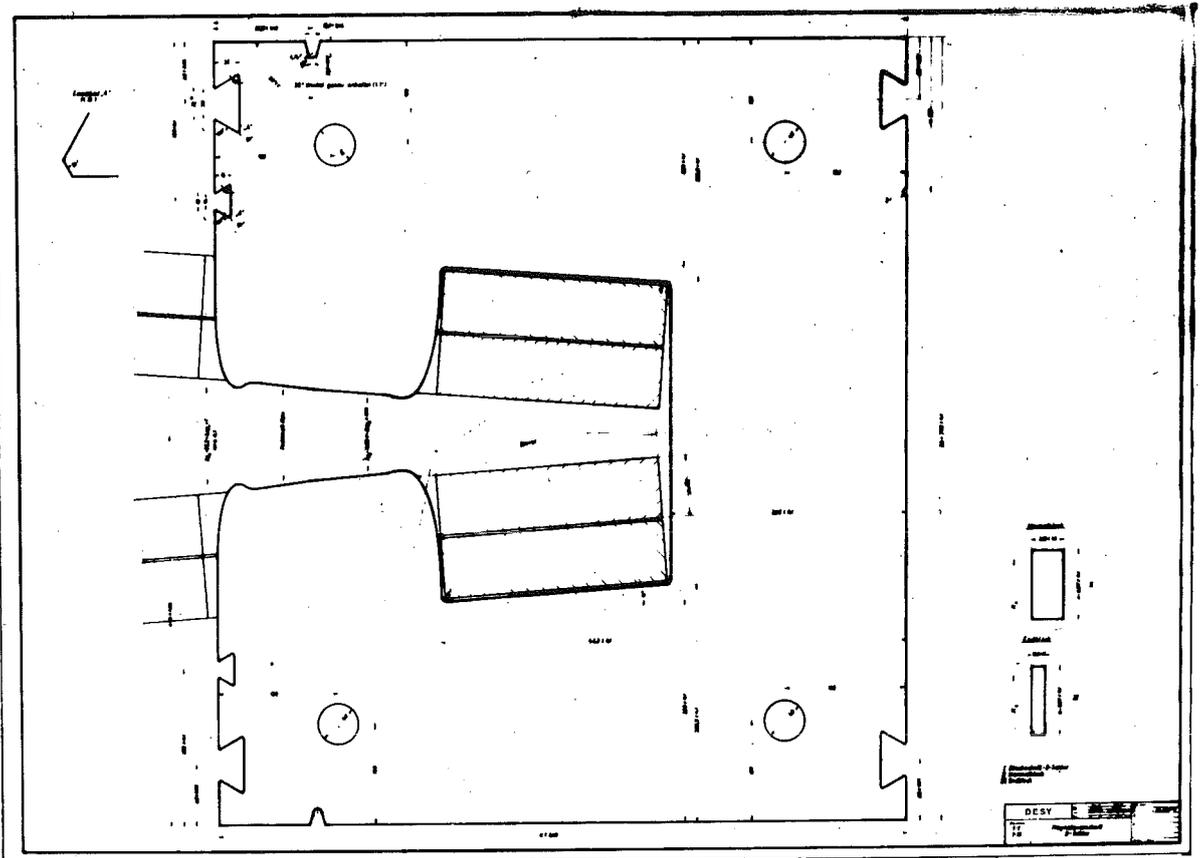


Abb. 4

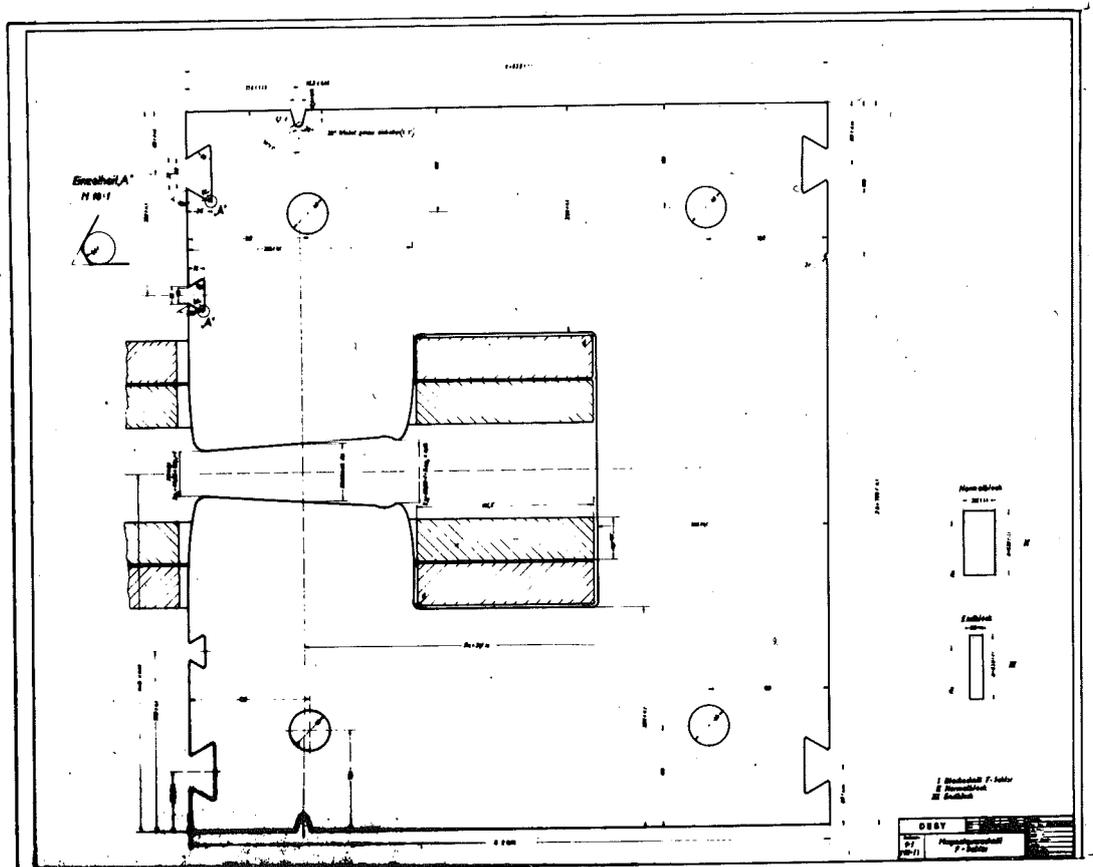


Abb. 5

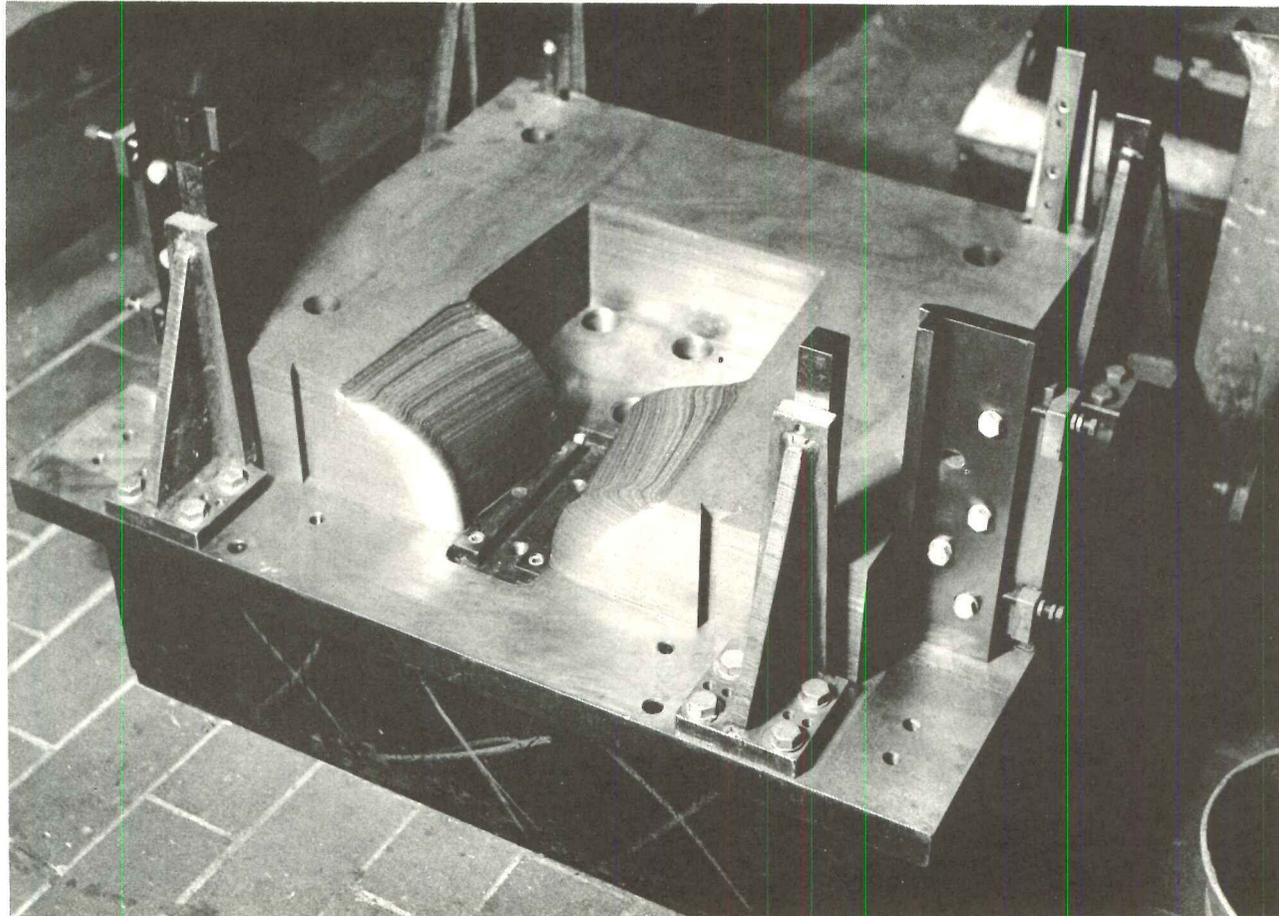


Abb. 6

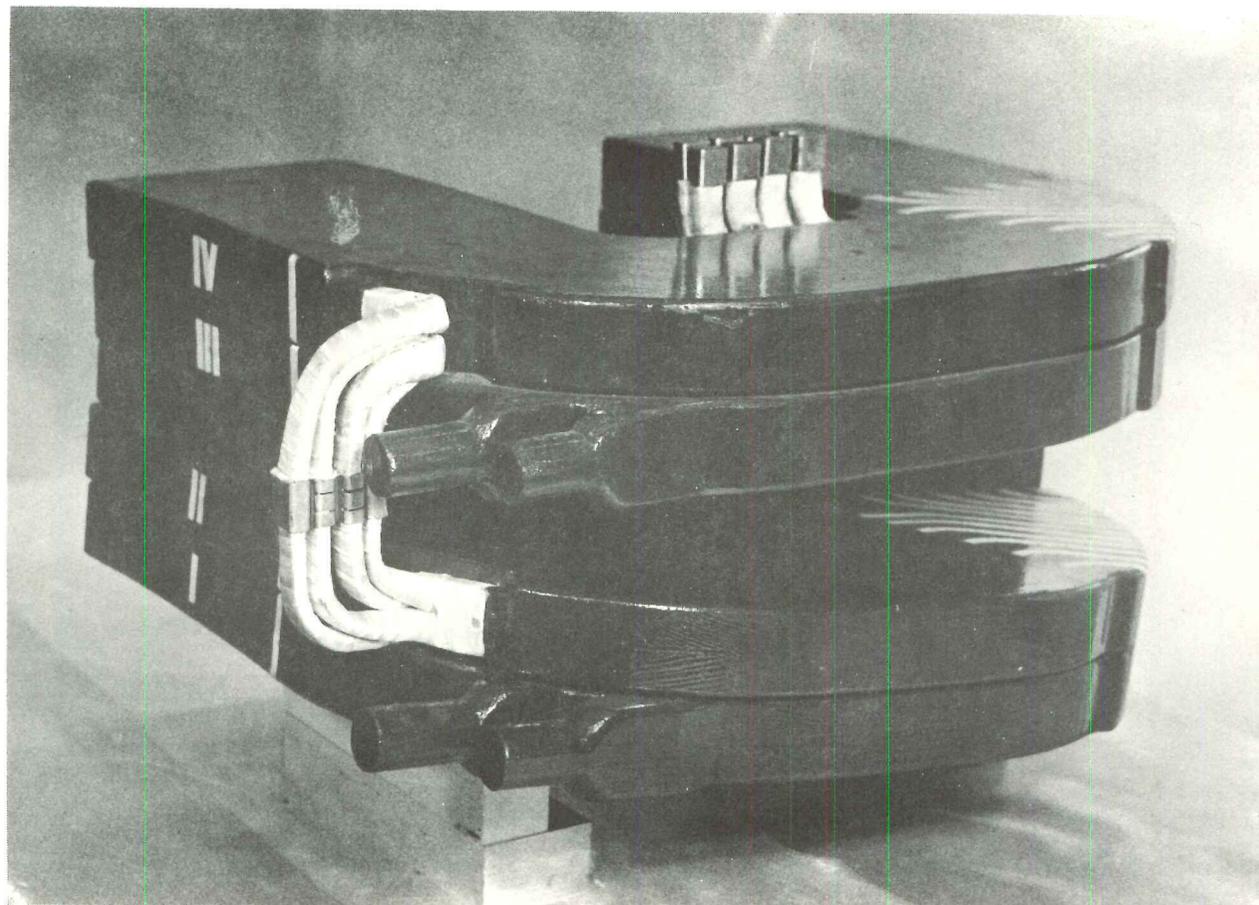


Abb. 7

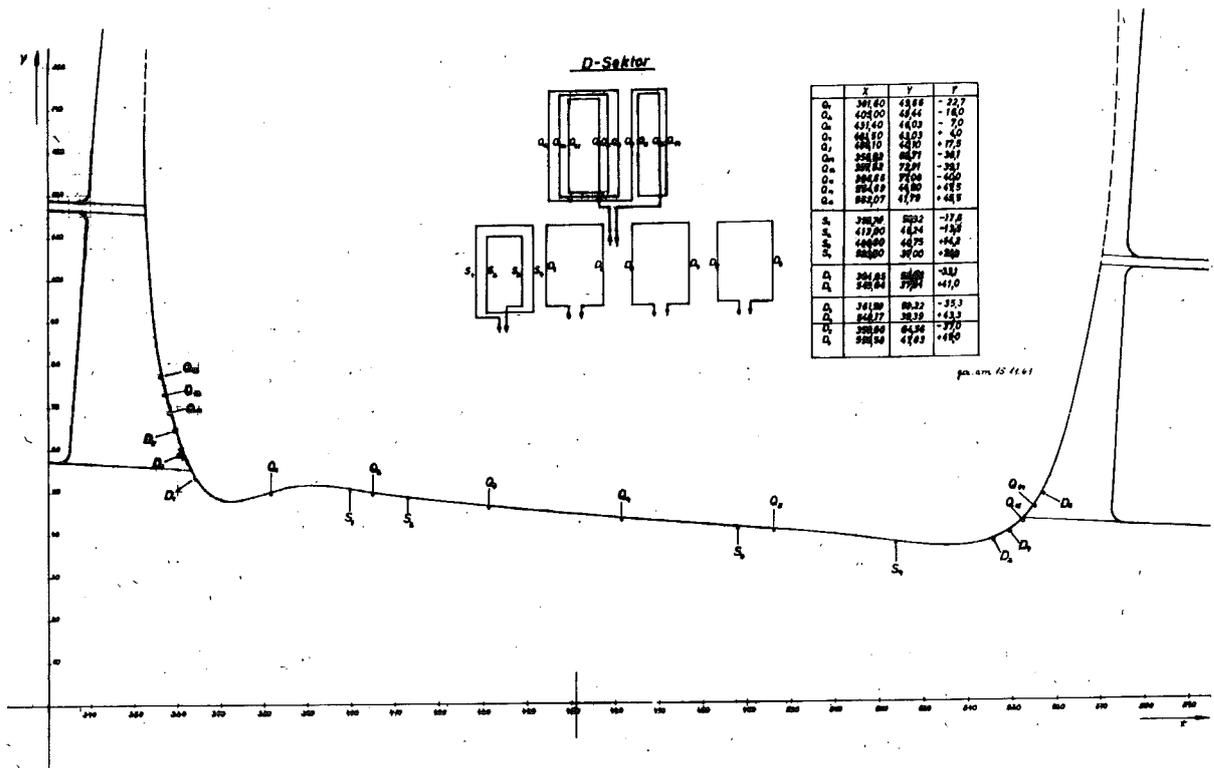


Abb. 8

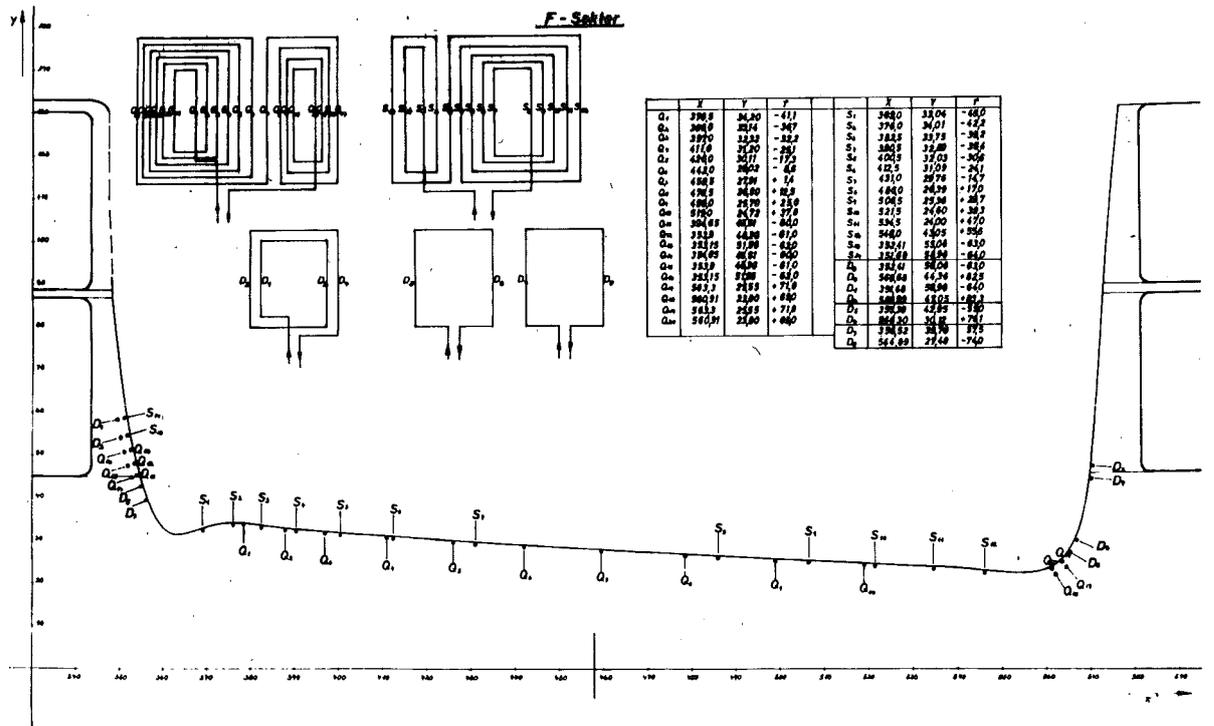


Abb. 9

Arbeitsbericht der Gruppe M 3
vorgetragen auf der Sitzung des Wissenschaftlichen Rates am
15. 12. 1961

Bei der Hochfrequenz-Gruppe ist das Stadium der Modellversuche im Laufe des Jahres 1961 annähernd zum Abschluß gekommen.

I. Erzeugung der HF-Leistung

Wir haben in der ersten Hälfte des vergangenen Jahres den 500 MHz-Klystron-Versuchssender durch die Parallelschaltung eines 2. Klystrons auf die doppelte Pulsleistung erweitert. So konnten wir im Labor zum ersten Mal die für 6 GeV-Betrieb notwendige Pulsleistung von 400 kW erzeugen. Insgesamt haben wir nunmehr 2 1/2 Jahre eigene Erfahrungen über das Verhalten der amerikanischen Klystron-Röhren. Diese Röhren, welche uns anfangs noch einige Schwierigkeiten bereitet haben, sind inzwischen von der Firma Eimac verbessert worden. Der Einbau von Getterpumpen hat zu einer wesentlich besseren Spannungsfestigkeit geführt.

Wir betreiben zur Zeit die beiden 200 kW-Klystrons an einem gemeinsamen 50 kV-Netzteil und einem gemeinsamen Modulator, um die Problematik eines solchen Doppelsenders näher zu untersuchen. Die beiden Röhren sind über einen Diplexer zusammengeschaltet und können unabhängig voneinander in ihrer Phase und Amplitude abgestimmt werden. Eine solche Anordnung ist auch für den späteren Betrieb des Beschleunigers vorgesehen. Sie hat u.a. den Vorteil, daß der relative Rauschpegel des Leistungsverstärkers um 3 db unter dem relativen Rauschpegel eines einzelnen Klystrons liegt.

Wir haben den Sender durch einen einwöchigen Dauerbetrieb mit täglich 8 Stunden auf seine Betriebssicherheit mit befriedigendem Erfolg geprüft. Die mittlere Leistung, welche durch den 50 kV-Gleichrichter noch begrenzt ist, betrug 50 kW. Dieser Wert würde für einen Beschleunigerbetrieb mit kleiner Stromstärke genügen. Wir wollen jedoch die mittlere Leistung des Senders im Hinblick auf eine möglichst ho-

he Stromergiebigkeit des Beschleunigers noch erheblich steigern und haben für die endgültige Ausführung des Senders ein Hochspannungsnetzgerät vorgesehen, welches vergleichsweise zu dem jetzt benutzten etwa die achtfache mittlere Leistung abgeben kann. Da wir mit dem jetzigen Netzgerät die Röhren noch nicht mit der vollen zulässigen Verlustleistung erproben können, soll ein Dauer-versuch mit den maximalen Garantiedaten Anfang 1962 bei der Firma Eimac vorgenommen werden. Eimac verfügt mittlerweile über entsprechende Einrichtungen hierzu. Ferner sind bei DESY noch Untersuchungen im Gange, um hinsichtlich der erzielbaren Modulationsqualität ein klares Bild zu erhalten. Eine leistungsstarke Modulationseinrichtung hat sich hierfür als notwendig erwiesen und wurde im Labor entwickelt.

II. Beschleunigungsstrecken

In zweiter Linie diente der Klystronversuchssender der Bereitstellung ausreichender HF-Leistung für Versuche an den Beschleunigungsstrecken. Zum Entwurf derselben wurden zunächst Messungen an nicht evakuierbaren Resonatormodellen durchgeführt; anschließend wurden nacheinander vier evakuierbare Modelle von 3-kreisigen Beschleunigungsstrecken gebaut. An diesen Modellen wurde ein Gütefaktor von 40000 und ein Resonanzwiderstand von 9 Megohm gemessen. Aufgrund der Meßresultate konnte auf den Bau von 5-kreisigen Beschleunigungsstrecken, welche früher sicherheitshalber noch in Erwägung gezogen worden waren, verzichtet werden.

Bei der Entwicklung der Beschleunigungsstrecken war ein sehr umfangreiches Versuchsprogramm zu erledigen, wozu auch erhebliche Kapazität in der DESY-Werkstatt eingesetzt werden mußte. Das Ziel war die Ausarbeitung eines technologisch einwandfreien Herstellungsverfahrens für die vakuumdichte Konstruktion. Der eingeschlagene Weg des sogenannten "Electroforming" hat sich dabei sehr gut bewährt

und soll bei der Fertigung der 16 Beschleunigungsstrecken beibehalten werden. Man verkupfert einen aus Aluminiumringen und Kupferscheiben zusammengesetzten Kern mehrere Wochen lang bis auf die Stärke eines Außenmantels von 5 mm und beizt anschließend die Aluminiumteile aus dem Innern der so entstandenen Kammern wieder heraus. Bei sauerstofffreiem Kupfer der Zwischenwände ergibt sich an den Rändern der Scheiben eine vakuumdichte und sehr strapazierfähige Ankupferung des äußeren Mantels, so daß an diesen Stellen keine Lötverbindungen notwendig sind.

Zur Montage der Teile für die Resonanz-, Grob- und Feinabstimmung, für die HF-Leistungszufuhr sowie zu Beobachtungs- und Meßzwecken enthält eine 3-kreisige Beschleunigungsstrecke 15 aufgelötete Flanschanschlüsse, welche mit Ausnahme der HF-Einkoppelung alle aus VA-Stahl hergestellt sind. Die Beschleunigungsstrecken können zur rascheren Evakuierung auf ziemlich hohe Temperaturen ausgeheizt werden (über 200°C), wenn entsprechend belastbare Dichtungen eingesetzt werden. Der beste bisher erreichte Enddruck lag bei 10^{-7} Torr.

An den Modellen Nr. 1 und Nr. 2 wurden Leistungsversuche ausgeführt, um die Spannungsfestigkeit zu prüfen. Es standen uns zur Evakuierung zunächst nur Öldiffusionspumpen zur Verfügung, welche jedoch infolge ihrer Rückströmung zur Ionisation des Hochfrequenzfeldes führten. Erst der Einsatz von Molekularpumpen und Ionengetterpumpen oder spezieller, jedoch sehr aufwendiger Baffles bei Öldiffusionspumpen brachte zufriedenstellende Resultate. Die Modelle konnten dann mit der maximalen Pulsleistung des Versuchssenders beaufschlagt werden, ohne daß Durchschläge auftraten. Der Druck lag während solcher Versuche zwischen 10^{-6} und 10^{-5} Torr.

An dem zuletzt gebauten Modell Nr. 4 wurde die Wasserkühlung gegenüber den früheren Modellen verbessert. Es konnte somit ein stabiler Betrieb auch bei sehr hoher Durchschnittsleistung aufrechterhalten

werden. Dieses Modell wurde mit 400 kW-Pulsleistung und 25 kW mittlerer Leistung geprüft. Die Pulsleistung entspricht dem 16-fachen Wert der zu erwartenden Belastung einer einzelnen Beschleunigungsstrecke bei 6 GeV-Betrieb und dem 4-fachen Wert der Leistung bei einem eventuellen 7,5 GeV-Betrieb. Die erzeugte Scheitelspannung lag bei 2 Mill. Volt.

III. Ringleitung

Der Entwurf des Speisesystems, mit welchem die Hochfrequenzleistung des Senders möglichst gleichmäßig den Beschleunigungsstrecken zugeführt werden soll, ist abgeschlossen. Die hierfür vorgesehene Hohlleiter-Ringleitung wurde in ihren Elementen festgelegt. Hierzu waren ebenfalls einige Entwicklungsarbeiten, z.B. bezüglich der Phasenschieber, Abzweigungen und ähnliches notwendig. Die komplette Ringleitung wird in Kürze bestellt und soll Mitte 1962 im Ringtunnel montiert werden.

IV. Weiterer Aufbau der Hochfrequenzanlage

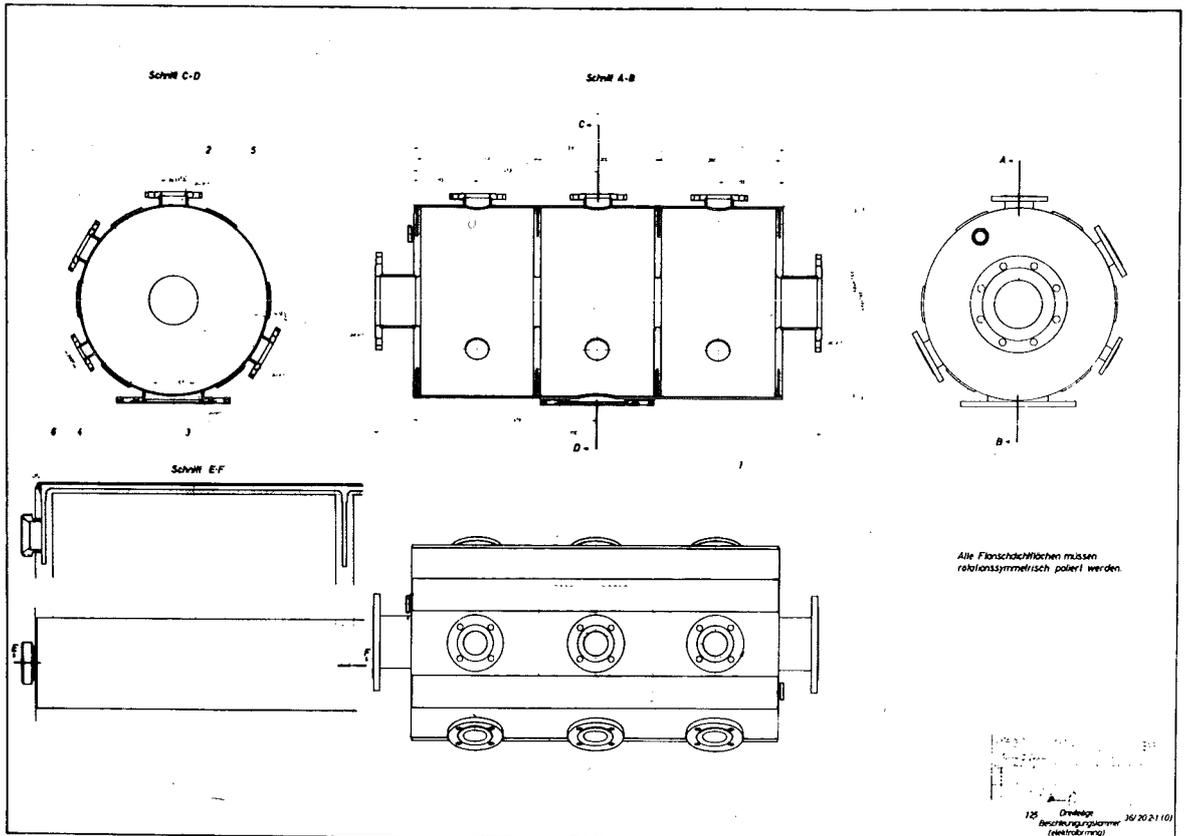
Die weitere Komplettierung der Hochfrequenzanlage umfaßt dann noch die Fabrikation der 16 Beschleunigungsstrecken, die Erhöhung der mittleren Senderleistung und diverse Steuer- und Kontrolleinrichtungen. In diesem Zusammenhang darf das Problem des Beam Loading nicht unerwähnt bleiben. Die Frage, welches Regelsystem die günstigste Lösung erwarten läßt, bedarf noch eingehender theoretischer Studien. Davon unabhängig werden jedoch bereits die für die automatische Phasen- und Amplitudenregelung des Senders notwendigen Apparate entwickelt und für den eventuellen Einsatz bereitgestellt.

Für den späteren Betrieb des Beschleunigers wird voraussichtlich die Wirtschaftlichkeit des Hochfrequenzsenders eine bedeutende Rolle spielen. Da bis heute noch nicht geklärt ist, ob Klystronröhren oder Superpowertrioden hinsichtlich ihrer Lebensdauer und Herstellungskosten überlegen sind, erscheint es zweckmäßig, den Einsatz beider Röhrentypen grundsätzlich offen zu halten; insbesondere im Hinblick auf die eventuelle spätere Steigerung der Energie des Synchrotrons auf 7,5 GeV. Nach den augenblicklichen Stückpreisen und Lebensdauer garantien liegen die Röhrenkosten des HF-Senders pro Jahr bei ca. DM 0,75 Mill., wenn ein 12- bis 16-stündiger täglicher Betrieb stattfindet. Bei der Projektierung des Hochspannungsnetzgerätes für den Sender wurde die wahlweise Umstellbarkeit von Klystronbetrieb auf Triodenbetrieb vorgesehen. Dieses Netzgerät wird voraussichtlich im Frühjahr 1963 eingeschaltet werden.

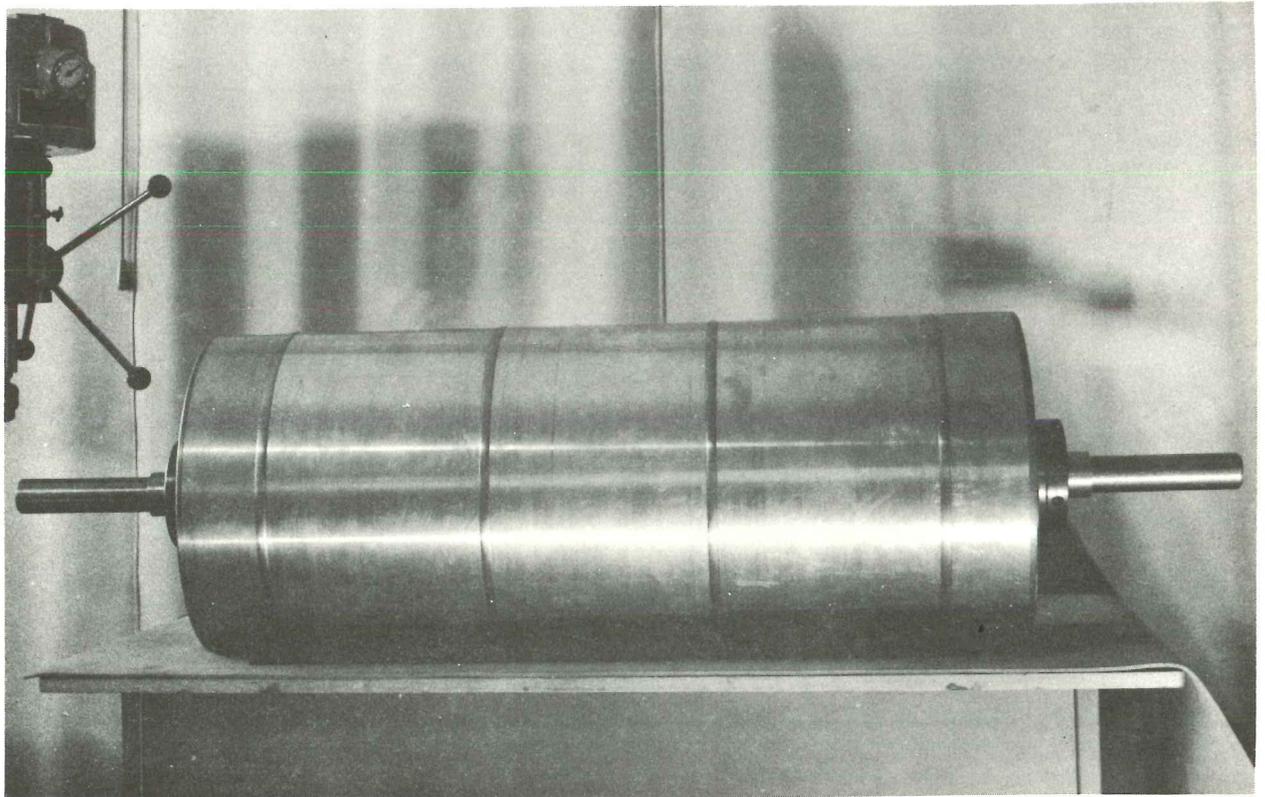
Einzelheiten des Klystronversuchssenders und der Konstruktion der Beschleunigungsstrecken sind durch die beigefügten Bilder erläutert.



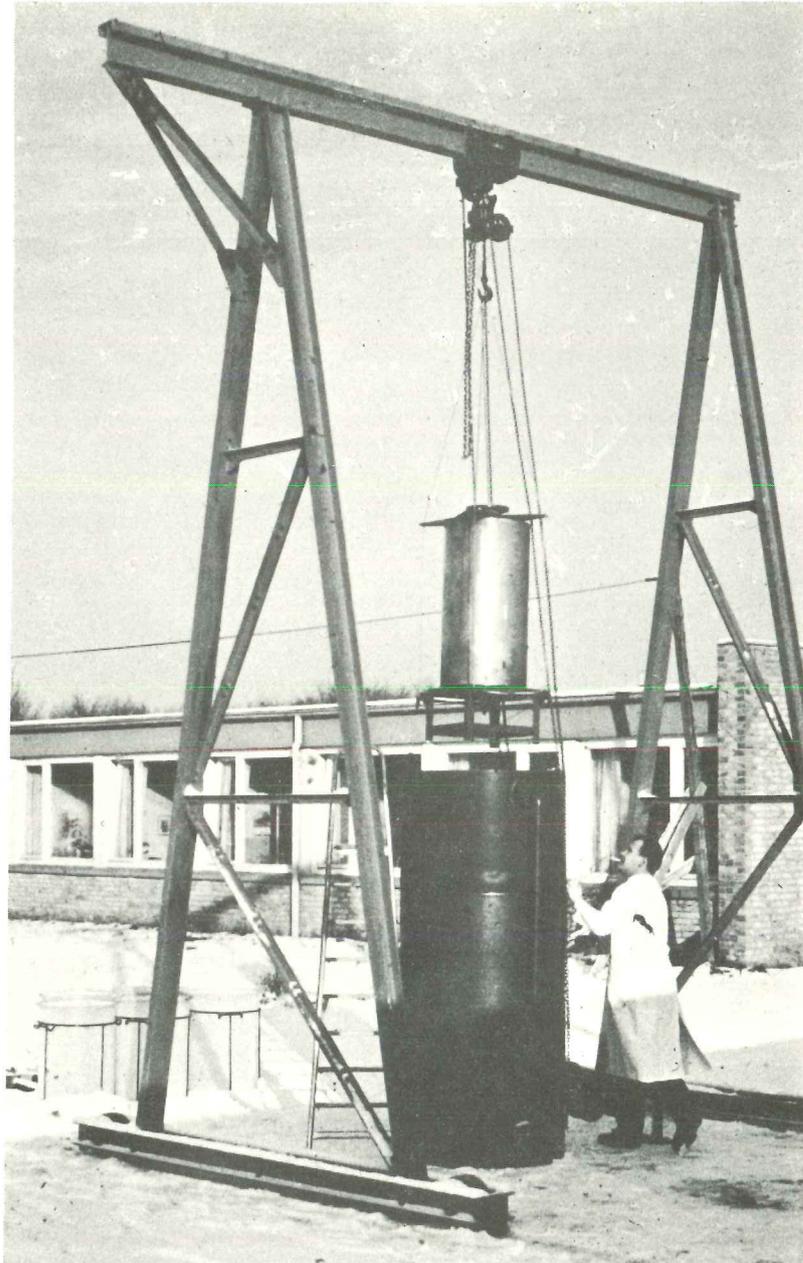
Der 200 kW-Klystron-Versuchssender (1959)



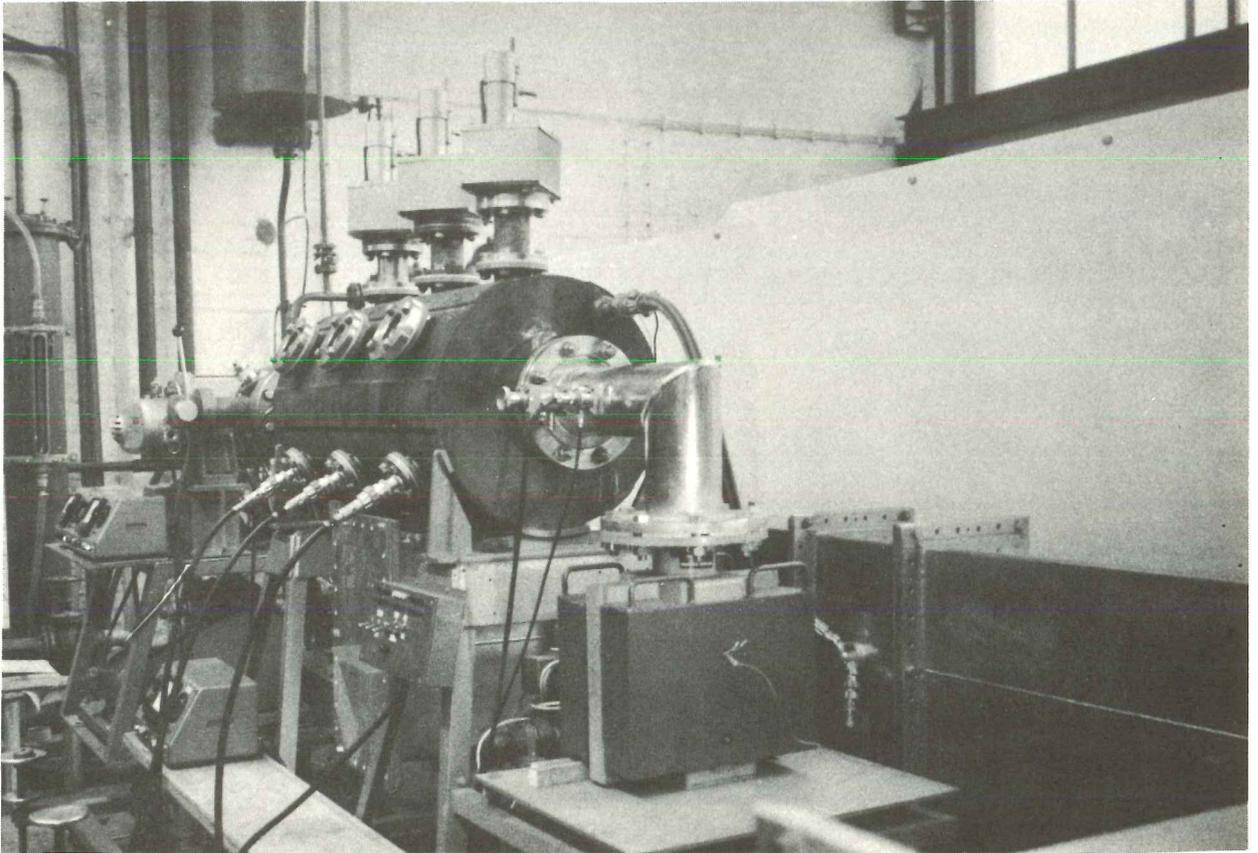
Konstruktion der Beschleunigungsstrecken



Aus Kupferscheiben und Aluminium-Zylindern zusammengesetzter Kern für die galvanische Herstellung des Außenmantels einer 4-kreisigen Beschleunigungsstrecke



Ätzanlage zur Auflösung der Aluminium-Zylinder nach dem Überkupfern des Kernes für eine Beschleunigungsstrecke



Komplettes Versuchsmodell einer Beschleunigungsstrecke beim Hochleistungstest. Im Vordergrund eine Ionengetterpumpe, rechts davon Hohlleiter für die Einspeisung der HF-Leistung

Hamburg, den 13. Dezember 1961

M 4

Arbeitsbericht der Gruppe M 4

vorgetragen in der Sitzung des Wissenschaftlichen Rates am

15. 12. 1961

Mit der Übernahme des 40 MeV Linearbeschleunigers ist eine erste Etappe im Arbeitsprogramm der Linacgruppe erreicht worden. Die Übergabe erfolgte nach drei Testen, die respektive im August, September und Anfang November durchgeführt wurden. Der erste Versuchslauf im August war außerordentlich erfolgreich. Die Maschine lief 24 Stunden ohne Unterbrechung durch. Wir konnten einen Gesamtstrom von 225 ma pro Puls registrieren und die Messung der Strahldivergenz mit Hilfe eines Q.P. Tripels und einer beweglichen Blende ergab, daß 100 % des Stromes innerhalb $\pm 0,25$ mrad liegen. Da wir ± 1 mrad gefordert hatten, ist die Divergenzforderung mit Abstand erfüllt. Fastebensogut ist der Strahlquerschnitt; während wir 10 mm ϕ gefordert hatten, gibt die Maschine noch 90 % des Stromes, das sind 200 ma, in 9 mm Durchmesser. Energie und Energiestreuung wurden nicht gemessen, außerdem trat bei dem Probelauf ein Umstand nicht in Erscheinung, nämlich daß das Gun keinen zuverlässigen Dauerbetrieb gestattet. Der Hersteller, Metropolitan Vickers Co., Manchester, hatte als Kathode die Siemens Metall Kapillar Kathode verwendet, die offenbar wegen ungünstiger Vakuumverhältnisse hier nur eine Lebensdauer von maximal 50 Stunden zeigte.

Nach diesem ersten Test im August bot Metropolitan Vickers Co. einen zweiten Probelauf im September an, der die geforderte Energie und die Energiestreuung zeigen sollte. Dieser Test konnte nicht anerkannt werden, da unsere Bedingungen über die Stromkonstanz während des einzelnen Pulses in keiner Weise erfüllt waren. Außerdem war die Dauer des Pulses zu klein. Auch arbeitete das Servosystem noch nicht, das langzeitige Schwankungen der Energie korrigieren soll. Nach einer Pause von etwa vier Wochen wurden dann Änderungen am Netzwerk der HF-Steuerstufe und an der Spannungsversorgung des Guns vorgenommen. Damit kamen die Pulsstromschwankungen im energieanalytierten Strahl jetzt gerade in die spezifizierten Grenzen von 10 % total, auch verlängerte sich der Puls auf die geforderten 1,2 μ s.

Somit konnte der dritte Testlauf Mitte November vom Gesichtspunkt der geforderten Strahleigenschaften als erfolgreich angesehen werden. Wir registrierten 140 ma im 1 % Schlitz, das waren 76 % des Gesamtstromes, bei einer Energie von 41,16 MeV. Vom Gesichtspunkt der Zuverlässigkeit der Maschine - ich muß betonen, daß das für einen Injektor eine recht wesentliche Eigenschaft ist -, war der Probelauf nicht erfolgreich. Der geplante Acht-Stunden-Versuch mußte nach vier Stunden abgebrochen werden, da die Maschine insgesamt 60mal ausfiel. Schuld waren zum überwiegenden Anteil Überschlüsse der Injektionsspannung am Gun. Damit ist das Gun nach wie vor ein sehr schwacher Punkt des Linearbeschleunigers.

Die über ein Jahr andauernde Installation und Inbetriebnahme des Linacs hat einen beträchtlichen Teil der Arbeitskraft der Gruppe absorbiert. Es sind darum noch nicht alle Hilfsmittel erstellt worden, die wir zur Prüfung des Linacstrahls benötigen. In Arbeit ist eine Meßanlage, die es gestattet, die Emittanz des Strahls kurzzeitig, d. h. auf einem Bildschirm aufzuzeichnen. Wir wissen darum noch nicht viel über Lage und Größe der Emittanz. Sicher ist aber, daß sie beträchtlich kleiner ist als ursprünglich angenommen. Da die Ergebnisse über den energieanalytisierten Strahl sozusagen noch warm sind, haben wir auch noch nicht genügend Messungen über das Energiespektrum, insbesondere über dessen Änderung während des Pulses. Andere Hilfsmittel, die wir unmittelbar für die Tests benötigten, wurden dagegen mit Vorrang fertiggestellt. Dazu gehören zwei 600 G - Analysiermagnete, eine Protonenresonanzanlage im Bereich von 500 - 700 G, zwei Quadrupoltripel, die später zur Strahlanpassung dienen, Faradaykäfige zur Pulsstrommessung und Blenden zur Ausblendung des Strahls. Die Blenden, die sich in Mittelstellung und Öffnungsweite in Schritten von 0,1 mm mittels einer Brückenschaltung verstellen lassen, haben sich bei den bisherigen Messungen sehr gut bewährt. Jedoch stieß die mechanische Herstellung auf erhebliche Schwierigkeiten wegen der schmierungsfreien Lager im Vakuum. Die Ausblendung des Strahls erfolgt hier durch Ausnutzung der Vielfach-

streuung in dicken Schichten. Die Blendenbacken sind gerade nur so dick, daß die in ihnen gestreuten Elektronen maximal breit verteilt sind und so einen geringfügigen Untergrund in Auffänger geben. Dadurch wird die Blendenkühlung wesentlich vereinfacht. Auch die kapazitiven Pickup-Elektroden zur Strom- und Positionsmessung des Strahls, die von M 5 entwickelt sind, konnten erst zum Teil am Linacstrahl getestet werden, allerdings mit gutem Ergebnis. Gegenwärtig wird das Signal für das Energieservosystem des Linacs noch von einem Plattenpaar hinter dem Analysiermagneten geliefert, jedoch schränkt das schmale, überdies noch unsymmetrische Spektrum den Regelbereich bei diesem Detektor erheblich ein. In Zukunft sollen die Pickup-Elektroden diese Aufgabe übernehmen.

Ungehindert durch die mit der Linacinstallation verbundenen Arbeiten konnte die Entwicklung des Inflektors vorangetrieben werden. Der Inflektor macht kurzzeitig ein homogenes magnetisches Feld im Bereich des einfallenden Strahles. Die Spule besteht aus vier längs der Einschubbahn sich erstreckenden Windungen mit einer Gesamtinduktivität von etwa $5 \mu\text{H}$. Für ein Feld von 33 G braucht man etwa 150 A pro Windung. Dieser Strom wird von einem Ladekondensator über Vorwiderstände mit einer parallelen Drossel mit einem Wasserstoff-Thyratron auf den Inflektor geschaltet und nach Ablauf der Einlenkung, $1,08 \mu\text{s}$, wird mit einem zweiten solchen Schalter die Inflektorspule kurzgeschlossen. Dieser zweite Schaltvorgang ist wichtig, weil seine Dauer die Länge der Lücke festlegt, die bei der Füllung des Ringes mit Elektronen entsteht. Als Zwischenergebnis kann ich mitteilen, daß gegenwärtig das Feld $0,1 \mu\text{sec}$ nach dem Abschalten auf etwa 6% abgefallen ist, nach $0,15 \mu\text{sec}$ auf 2% und nach $0,2 \mu\text{sec}$ auf 1% . Die Angaben sind deshalb nur ein Zwischenergebnis, weil wir augenblicklich an der Grenze der Meßgenauigkeit stehen. In Kürze soll eine Meßzelle installiert werden, die uns die

störenden hochfrequenten Begleitfelder abschirmt, so daß man genauer messen kann.

Ich gebe noch einen kurzen Ausblick auf zukünftige Aufgaben. Da ist zunächst der Linearbeschleuniger. Sie haben gehört, daß man von einem Dauerbetrieb noch nicht sprechen kann. Die Einjustierung für den letzten Testlauf nahm immerhin fünf Stunden in Anspruch. So ergibt sich zunächst die Aufgabe, die Maschine auf ihre schwachen Punkte hin zu überprüfen. Speziell ist hier das Gun zu nennen. Nachdem der Hersteller nun drei Jahre daran gearbeitet hat, ist es unwahrscheinlich, daß nun noch eine wirklich gute Lösung dort gefunden wird. Diese Aufgabe müßte dann von uns gelöst werden. Ferner besteht der Wunsch, den Linacstrom auf der Synchrotronfrequenz vorzubündeln, das bedeutet den Einbau eines 500 MHz Prebunchers am Eingang des Linac.

So gibt es eine Reihe von Gründen, warum wir froh sind, daß der Linac wenigstens termingerecht geliefert wurde. Als nächste Aufgabe wäre dann die Untersuchung des Strahls zu nennen, seine Emittanz und deren Abhängigkeit von den Maschinenparametern. Die Informationen über die Emittanz führen dann in Verbindung mit den Quadrupoltripeln zur Strahlanpassung und deren Kontrolle. Schließlich mündet das Programm ein in die ersten Einschüßversuche in den Ring.

Arbeitsbericht der Gruppe M 5

vorgetragen auf der Sitzung des Wissenschaftlichen Rates am

15. 12. 1961

Der von der Gruppe "Steuerung und Regelung" zu erbringende Anteil beim Bau der Maschine ist, verglichen mit dem anderer Gruppen, relativ wenig kapitalintensiv.

A) Die einzige Ausnahme stellt das Kabelnetzwerk dar. Die Voranschläge hier belaufen sich auf rund 1,5 Mill. DM, wovon etwa DM 700 000,-- für das Synchrotron selbst und DM 800 000,-- für die Erstausrüstung des Experimentellen Kabelnetzwerkes vorgesehen sind. Einer unserer Ingenieure ist damit beschäftigt, alle für die richtige Übertragung kurzer und kürzester Impulse erforderlichen Bedingungen herauszufinden und die hierzu nötige Meßmethodik an Probelängen zu realisieren, die notwendigen Vorverhandlungen mit den Lieferfirmen zu führen und baulich alle für die reibungslose Installation erforderlichen Maßnahmen zu veranlassen. Kabellieferzeit und Montage bedingen eine Auftragserteilung etwa Mitte nächsten Jahres.

B) Viel Kleinarbeit war aufzubringen im Arbeitsgebiet der geregelten Spannung und Ströme. Nach ersten Versuchen mit Röhren-Schaltungen zur Deckung von unter Termindruck stehendem Bedarf hat sich mit steigender Vielfalt der Anforderungen ein starker Zug zur Vereinheitlichung ergeben. Hauptkennzeichen der Anforderungen ist fast immer die hohe Genauigkeit und Stabilität, die über das bei Industriegeräten gegebene übliche Maß merklich hinausgeht.

Stark gefördert und geradezu ermöglicht wurden alle diese Arbeiten durch die unerwartete Aufwärtsentwicklung auf dem Gebiet der Halbleiter und durch die Technik der Druckschaltungen. Insbesondere diese Druckschaltungstechnik erlaubt es, über die hausinternen Verbraucher hinaus in außerordentlich rationeller Weise auch den Kreis von Elektronikern von den hier geleisteten Arbeiten profitieren zu lassen, der später auf dem experimentellen Gebiet mit DESY zusammenarbeiten wird. Es existiert bereits eine ganze Serie von Geräten im Bereich

von wenigen Volt bis zu 300 V und wenigen mA bis 100 A, die völlig ohne Röhren aufgebaut sind; immer unter der Bedingung einer Konstanz von 10^{-4} und besser. Zur Zeit laufen Vorversuche, Ströme bis 700 A mit Transistoren zu regeln. Bei diesen hohen Strömen handelt es sich praktisch um Zusatzgeräte, die die Genauigkeit kommerzieller Anlagen mit etwa 10^{-3} in Richtung auf 10^{-4} verbessern.

In diesem Zusammenhang seien die Netzgeräte für die Ionengetterpumpen erwähnt. Auf den ersten Blick scheint es sich nur um den Differenzbetrag von DM 1 000,-- auf \$ 1 000, bei 60 bis 70 Pumpen also um rund DM 200 000,-- zu handeln, die selbstverständlich bereits eine Herstellung in eigener Regie lohnenswert machen. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß trotz der vergleichsweise unkomplizierten Schaltung auch die von der Industrie erhältlichen Geräte keineswegs so betriebssicher sind, wie es erwartet werden konnte. Eine Beobachtung, die sowohl hier als auch bei CEA in Cambridge gemacht wurde. An 3 selbstgefertigten Mustergeräten wird zur Zeit im Labor versucht, die Langzeitstabilität auf das erforderliche Maß heraufzusetzen.

C) Der vorher erwähnte Schritt von 10^{-3} auf 10^{-4} spielt auch bei der Konstanz der Stromversorgung für die Führungsmagnete eine sehr wichtige Rolle. Mit wachsender Erfahrung beim Betrieb der Magnetmodelle wuchsen auch die Anforderungen an die Genauigkeit, so daß die von der Gruppe "Steuerung und Regelung" in der 1. Baustufe erstellten Geräte für die Meßgrößenerfassung nicht ausreichten. Die stark nichtlineare Beziehung zwischen Arbeitsaufwand und erreichbarer Genauigkeit ist der Grund dafür, daß wir in manchen Punkten weniger rasch vorankamen als ursprünglich angenommen. Doch möchte ich wenigstens kurz erwähnen, daß in diesem Zusammenhang voll durchentwickelt wurde:

1. ein Drehzahlmesser auf digitaler Basis mit etwa 10^{-4} Genauigkeit,

2. ein Wechselspannungssollwertgeber mit ungefähr der gleichen Konstanz. Sollwertgeber deshalb, weil in der Regeltechnik immer ein Vergleich zwischen gewünschter und erzielter Wirkung vorgenommen und die Differenz auf ein möglichst kleines Maß heruntergedrückt wird. Oft ist jedoch der Sollwert technisch gar nicht existent, so daß man ihn sich künstlich schaffen muß;
3. ein Istwertgeber für Wechselspannungen,
4. ein Frequenzgangmeßgerät, welches das Verhalten des gesamten Maschinensatzes nach Amplitude und Phase zu erfassen gestattet;
5. Im Zusammenhang mit der Messung der Gleichstromistwerte und der Aufbereitung der Signale im Regler werden sehr stabile sogenannte Rechenverstärker verwendet. Zur Zeit befindet sich die 3. Auflage dieser sehr vielseitig verwendbaren Verstärker im Druck. Ähnlich wie bei jeder Neuauflage eines Buches wird die Schaltung jeweils neu überarbeitet.

D) Ein weiteres Arbeitsgebiet der Gruppe umfaßt die Spezial-Elektronik zum Analogrechner. Hier sind es vor allem zwei Probleme, an denen wir von der elektronischen Seite aus aktiv mitarbeiten.

1. die Berechnung und Optimalisierung von Strahltransportsystemen. Über die analytische Seite wird Herr Steffen Näheres berichten. Technisch-elektronisch handelt es sich um einen Impulsfolge-Generator, der einen Transportweg aus max. 35 Elementen, also Zahl der Magnete und Separatoren + Driftstrecken, zu simulieren gestattet mit den dazugehörigen Präzisionsschaltern und einer visuellen Ausgabeeinrichtung. Der schaltungsmäßige Aufwand bewegt sich in der Größenordnung von 2... 3 000 Bauelementen. Das Ziel der Anstrengungen ist es, die Genauigkeit soweit zu steigern, daß ohne Nachbehandlung durch digitale Rechenmaschinen alle für den praktischen Aufbau wichtigen Werte ermittelt werden können. Die andere Aufgabe, an der wir zusammen mit der Theoretischen und der Hochfre-

quenz-Gruppe arbeiten, betrifft das beam loading problem. Der kritische Teil bei der Nachbildung sind die Beschleunigungsresonatoren, deren Güte als Invariante in das Analogon übernommen werden muß. Eine bereits Mitte dieses Jahres fertiggewordene Ausführung eines Gerätes mit Stahlstimmgabeln ergab eine unzulässige große Abhängigkeit der Güte und auch der Eigenfrequenz von der Aussteuerung. Zur Zeit sind wir dabei, den Umbau auf Quarzstimmgabeln vorzunehmen, welche diese Störeffekte nicht haben.

E) Für die Beobachtung des Strahles im Synchrotron werden zwei verschiedene Verfahren ausgearbeitet:

1. das mit elektrischen Mitteln. Hier haben erste Versuche mit einem Plattenpaar am Ausgang des Linearbeschleunigers wider Erwarten keine Störungen durch Sekundärteilchen ergeben. Nachdem aber an verschiedenen Stellen, insbesondere in Cambridge, gegenteilige Erfahrungen gemacht worden sind und wir keineswegs übersehen können, was im Synchrotron selbst in dieser Hinsicht passieren wird, bereiten wir Versuche vor, bei denen wir absichtlich Schauer von langsamen geladenen Teilchen, zum Beispiel an Blenden, erzeugen werden, wobei wir einmal den erwarteten Störeffekt hervorrufen wollen, dann aber durch Zwischenschalten von Schichten mit einer bestimmten Leitfähigkeit die Funktionen Signalaufnahme und Abführen unerwünschter Teilchen zu trennen beabsichtigen.
2. Die 2. Methode nutzt das Synchrotron-Licht zur Beobachtung aus. Zum Aufbau dieser Anlage war das praktische Ingangsetzen einer Photometrie mit Absolutwerten unerlässlich. Die ermittelten Empfindlichkeitswerte der Fernsehkameraröhren bestätigen die Vermutungen, daß für ein erwünschtes Zeitauflösungsvermögen von 10 μ sec und weniger neben einem Bildverstärker wenn möglich auch noch andere Mittel zur Steigerung der Empfindlichkeit benutzt werden sollten. Ein relativ einfacher Weg bot sich mit dem sogenannten Stapelbetrieb der Aufnahmeröhre an. Da wir von unseren Fernsehbeobachtungsschirmen im Gegensatz zum Unterhal-

tungsfernsehen kein kinematografisch richtiges Bild brauchen, sondern zum Beispiel schon mit 1 Bild pro Sekunde auskommen, läßt sich durch einen gepulsten Betrieb in diesem Fall theoretisch eine Empfindlichkeitssteigerung um den Faktor 50 erreichen. Praktisch erreicht man nicht so viel, doch ist das Verfahren immerhin lohnend.

F) Zwei der wesentlichen Aufgabenstellungen für die Gruppe "Steuerung und Regelung" im Hinblick auf die Gesamtfunktion der Maschine, nämlich organischer Einbau von Überwachungseinrichtungen in das Gesamtkontrollsystem und Erfassung von wichtigen Betriebsdaten konnten bei der Entwicklung einer Anlage zur Überwachung der Orts-Dosis-Leistung genau studiert werden. Die Geräte sind seit einigen Monaten in Betrieb. Die letzte Ausbaustufe, die automatische Meßwerterfassung mittels Lochstreifenstanzers nähert sich ihrer Fertigstellung, so daß in absehbarer Zeit die Gesamtanlage wie ursprünglich geplant und mit den inzwischen eingebauten Zusatzgeräten betrieben werden kann. Schließlich lassen wir uns bei der Planung für die zentrale Steuerung der Maschine, insbesondere der Einrichtung des Hauptkontrollraumes, von dem Grundsatz der größtmöglichen Flexibilität leiten; d.h. praktisch werden bei aller notwendigen Vorausschau schrittweise immer nur diejenigen Maßnahmen technisch ausgeführt, bei denen keine wesentlichen Änderungen mehr zu erwarten sind. Alle übrigen werden so vorbereitet, daß man zum gegebenen Zeitpunkt ohne Verzögerung alles Erforderliche einrichten kann.

Arbeitsbericht der Gruppe M 6

vorgetragen in der Sitzung des Wissenschaftlichen Rates am

15. 12. 1961

Die Entwicklung der Energieversorgung hat sich im verflossenen Jahre folgendermaßen gestaltet:

1. Magnetstromversorgung

Die Bestandteile der von White angegebenen und von uns wie von allen vergleichbaren Beschleunigern angewendeten Schaltung zur Erregung unserer Führungsmagnete wurden in Auftrag gegeben. Bei den Kondensatoren handelt es sich dabei um insgesamt 3 000 Einheiten, die eine Energie von 0,48 MWS speichern, was einer Blindleistung von 150 MVA bei 50 Hz entspricht. Vom sogenannten kapazitätskonstanten Typ, der auf unsere Anregung von einigen deutschen Industriefirmen entwickelt wurde, sind wir wieder abgekommen, da dieser höhere Verluste und höhere Anschaffungskosten hat. Statt dessen wollen wir die Änderung der Kapazität mit der Temperatur durch Zu- und Abschalten von einzelnen Kondensatoren mittels spezieller amerikanischer Schalter ausgleichen. Für die Sperrdrossel, die in einer Einheit für alle 12 Teilschwingkreise gebaut wird, war von uns ein Ringdrosseltyp konstruiert worden, der eine Weiterentwicklung der von CEA angegebenen Ringdrossel darstellt und der durch unsere Arbeit und Firmenangebote Fertigungsreife hatte. Auch hier wurde jedoch ein anderer Weg beschritten und von uns eine Drossel angegeben, die es gestattet, mit konventionellen Methoden der Transformatorenfertigung auszukommen. Dabei werden die Wicklungen der einzelnen Reaktanzen als Zylinderspulen in Luft übereinandergesetzt und von einem eisengeblechten Rückschlußjoch in der Weise umschlossen, daß dieses oben und unten als magnetischer Spiegel wirkt. Abweichungen von der idealen Geometrie der Anordnung, die z. B. durch die für Preßeinrichtungen benötigten Abstände bedingt sind, werden durch eine Angleichung der Windungszahlen der Einzelspulen erreicht. Die Kühlung und Isolation erfolgt mit Öl wie bei einem Transformator. Die Spulenscheiben stehen senkrecht,

so daß gute Bedingungen für die Kühlung vorhanden sind. Zur Beherrschung der mechanischen Vibrationen werden vom Hersteller Modellversuche durchgeführt. Die Drossel speichert eine Energie von 1,46 MWh bei einer maximalen Induktion von 17 kGauß im Eisen und einer effektiven Stromdichte von 3 A pro mm². Ihre Typeleistung wäre auf reinen Wechselstrombetrieb bei 50 Hz bezogen 450 MVA. Zu unabhängig voneinander einstellbaren Gleich- und Wechselstromquellen gehören auch getrennte Gleich- und Wechselstromquellen. Für die Versorgung der Magnetmodelle benutzen wir einen Maschinensatz, der synchrotron zum Netz betrieben wird und der einen Wechselstrom- und einen Gleichstromgenerator hat. Infolge der hohen Güte der Schwingkreise, die ungefähr 100 beträgt, ist der mit großer Genauigkeit zu stabilisierende Magnetwechselstrom sehr stark von Schwankungen des Netzzeigers und damit des Polradwinkels des Synchronmotors um die synchrone Lage abhängig und es mußte große Mühe, zum Teil in Zusammenarbeit mit unserer Elektronikabteilung, auf die Gestaltung der Regelkreise verwendet werden. Parallel dazu wurde deshalb von uns der Einsatz eines selbsterregten, fremdgeführten Wechselrichters zur Lieferung des Magnetwechselstromes vorgeschlagen. Eine Verbesserung brachte ein Vorschlag aus der Industrie, der sogenannte "Schwingkreisumrichter", der auf einen Reihenschwingkreis arbeitet und selbstgeführt ist.

Mit einer Versuchsanlage wurden unsere Magnetmodelle erregt und hinsichtlich der Stabilisierung des Magnetstromes gute Ergebnisse erzielt. Die endgültige Stromversorgungsanlage wird auf diesem Prinzip beruhen. Der Wechselstrom wird durch einzelne verteilte Wechselrichtertransformatoren so in die White-Schaltung eingeführt, daß von der Stromquelle aus ein Reihenschwingkreis vorliegt. Der Magnetgleichstrom wird durch gesteuerte Gleichrichter erzeugt.

Um Klarheit über alle stationären und transienten Vorgänge der White-Schaltung zu erreichen und für Modellversuche für Weiterentwicklungen wurde eine Modellschaltung der Magnetstromversorgung aufgebaut und erste Versuche daran durchgeführt.

Die Weiterarbeit der Magnetstromversorgung betrifft vor allem die Verkabelung der Magnete und der Stromversorgungsschaltung, die Projektierung der benötigten Schutzeinrichtungen und Versuche zur Weiterentwicklung, z.B. zur Modifizierung der Kurvenform des Magnetstromes.

2. Allgemeine Stromversorgung

Unsere Hauptschaltanlage, der erste Netztransformator und die drei Zuführungskabel, die eine Übertragungsfähigkeit von insgesamt 15 MVA bei 10 kV (Drehstrom) haben, wurden in Betrieb genommen. Der Ausbau des Verteilungsnetzes ist im Gange. Gebäudeinstallationen im Linearbeschleuniger-Gebäude, in der Kraftstation und in der Experimentierhalle I wurden beendet. In der Heizzentrale und im Ringtunnel werden sie bald abgeschlossen sein. Die Weiterarbeit betrifft hier den Ausbau der 10 kV-Station und der im Gelände verteilten Transformatorenstationen, die gesamte Starkstromverkabelung, die Notstromversorgung und Gebäudeinstallationen.

3. Stromversorgung verschiedener Verbraucher

Ein Stromversorgungsgerät für unseren Hochfrequenzsender mit Siliziumgleichrichtern und Transduktoren wurde in Zusammenarbeit mit der Hochfrequenzgruppe spezifiziert. Seine abgegebene Leistung ist 800 kW bei 50 kV Gleichspannung. Es wird demnächst in Auftrag gegeben. Das bestehende Gerät für die Modellanlage des Hochfrequenzmodellsenders wird auf Siliziumgleichrichter umgestellt, wobei die Konstruktion des Gleichrichters von uns erfolgt. Die Arbeiten für die Gleichstromversorgung der Experimentiermagnete haben begonnen. Eine Gleichrichteranlage für 100 kW mit Germanium-Gleichrichtern und Transduktoren wurde in Auftrag gegeben. Die Weiterarbeit betrifft hier die Stromquellen für 400 kW und die Blasenkammerstromversorgung.

4. Kühlung

Ein zweiter Tiefbrunnen wurde gebohrt, so daß wir jetzt eine Rohwasserkapazität von $160 \text{ m}^3/\text{h}$ haben. Eine Rohwasserringleitung ist in Bau, mit der alle Teile des Synchrotrons mit Wasser versorgt werden können. Eine erste Versickerungsanlage wurde erstellt, in der das Linac-Kühlwasser versickert wird. Die Tatsache, daß die Rohwasserversickerung auf unserem Gelände unsicher ist und eingehende Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen haben uns dazu gebracht, die Rückkühlung des Synchrotrons nur zum kleineren Teil mit Brunnenwasser durchzuführen, zum größeren Teil mit Kältemaschinen. Diese wurden zusammen mit den Kälteanlagen für die Klimatisierung des Ringtunnels in Auftrag gegeben, desgleichen die Klimaanlage selbst. Die Projektierungsarbeiten für die Wasserkühlanlagen des Synchrotrons und der Experimente sind fast abgeschlossen. Alle Verbraucher im Ring werden mit destilliertem Wasser aus einer einzigen Leitung versorgt. Das führt zu einer wesentlichen Vereinfachung der Anlagen, setzt aber gleichartige Metalle, hier Kupfer, voraus. Die Kühlwasserleitungen aus innen gummiertem Stahl im Bereich des Ringtunnels wurden in Auftrag gegeben, desgleichen Wärmeaustauscher, Ionenaustauscher, Pumpen und Kühltürme zur Rückkühlung der Experimentiermagnete, die sich auf höherem Temperaturniveau als die Verbraucher des Synchrotrons befinden und zur Rückkühlung der Kälteanlagen.

Die weiteren Arbeiten umfassen die Projektierung einer Aufbereitungsanlage für das Rohwasser und die Projektierung der Versickerungsanlagen und die Konstruktion der Rohrleitungen und Apparatenaufstellung im Maschinenhaus. Daran schließt sich die Konstruktion der Kühlwasserverteilerleitungen in den Experimentierhallen an.

Arbeitsbericht der Gruppe M 7
vorgetragen auf der Sitzung des Wissenschaftlichen Rates am
15. 12. 1961

Im letzten Jahr brachte ich einen, wie mir gesagt wurde, langweiligen Bericht über den personellen Aufbau von DESY, die Besprechungen, die wir hier abhalten müssen und organisatorische Fragen. Diese langweilige Tätigkeit nimmt einen wichtigen Teil meiner Arbeitszeit in Anspruch. Ich will mich also heute darauf beschränken, Ihnen einen kurzen Überblick über den Fortschritt der Aufbauarbeiten zu geben und dabei auch als Beispiele noch nicht ganz geklärte Probleme erwähnen.

Als wichtigste Voraussage: Wir sind der Meinung, daß die Maschine gegen Ende des Jahres 1963 zum ersten Mal einen Strahl mit der Endenergie von 6 GeV produzieren wird, obwohl noch Schwierigkeiten, vor allem bei der rechtzeitigen Fertigstellung der Bauwerke, auftreten können. Für diese sind wir nicht alleine verantwortlich.

Noch nicht abgeschlossene Probleme sind zum Beispiel und vor allem die Strahlrückwirkung und die Vakuumkammer. Über erstere werden Sie später aus berufenerem Munde hören, über letztere will ich nachher ein paar Worte sagen. Jedoch zuerst zum Bau. Wie Sie bei Ihrer Besichtigung sehen werden, ist der Ringtunnel im wesentlichen vollendet. Die erste Experimentierhalle ist fertig, der erste Bauabschnitt der Kraftstation ist bezogen und wird installiert.

Die zweite Experimentierhalle wird im Frühjahr vollendet, ebenso der zweite Bauabschnitt der Kraftstation (in diesen Teil zieht auch die Hochfrequenz-Gruppe). Auch das Zentralgebäude mit seiner Klimaanlage ist in wenigen Monaten beziehbar. Die Verbindungskanäle zwischen den Hallen und der Kontrollstation sowie die Laborgebäude sind im fortgeschrittenen Stadium der Planung. Der Betonring, auf den die Maschine aufgestellt wird, ist in Arbeit. Mit seiner Montage wird etwa im April begonnen. Die ersten Stützen, auf denen dieser Ring an je 42 Drähten aufgehängt wird, sollen im Februar geliefert werden.

Nun zwei Beispiele aus der Tätigkeit des letzten Jahres:

1. Messungen am Ringfundament:

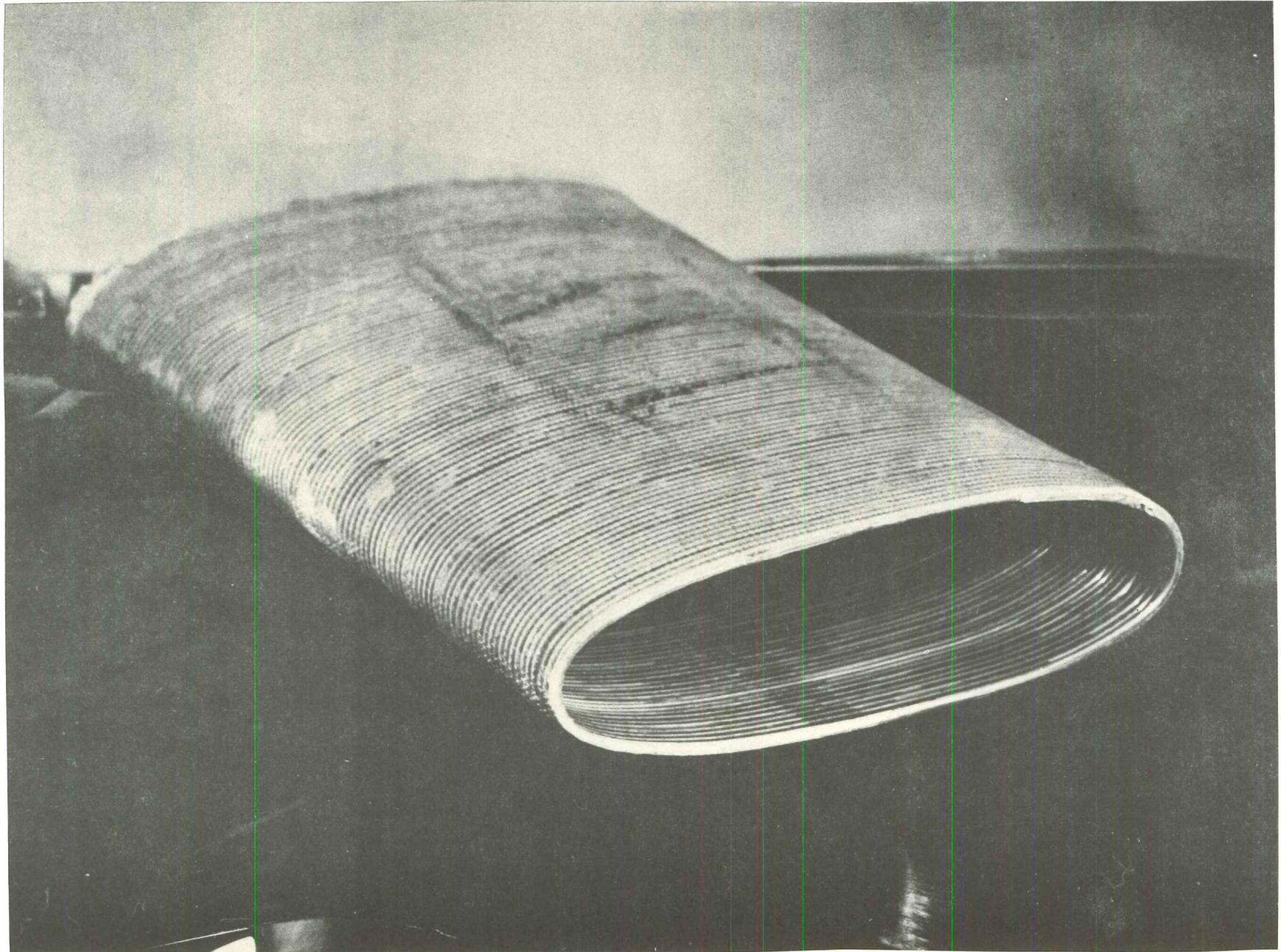
Messungen am Ringfundament haben Änderungen der Höhenlage dieses Fundamentes bis zu 3 mm ergeben (Abb. 1). Diese stärkste Senkung trat an einer Stelle auf (zwischen den Sektoren 2 und 3), an der das Ringfundament aufgespalten ist und sowohl oberhalb als auch unterhalb des Versorgungskanals verläuft, der von der Kraftstation in das Ringinnere führt. Diese Bewegungen wurden von den Bauingenieuren vorausgesagt. Sie rühren von der Alterung der großen Betonmassen, die an dieser Stelle verwendet werden mußten, her. Das Kriechen des Betons sollte in etwa einem Jahr abgeklungen sein. Alle weiteren Bewegungen des Fundamentes lassen sich zeitlich der Auffüllung des Ringinneren oder -äußeren mit Sand zuordnen. Sie liegen in der Größenordnung von etwa 1 mm. Wie bereits früher berechnet wurde, werden Bewegungen großer Massen in der Nähe des Ringfundamentes Höhenänderungen des Ringfundamentes hervorrufen. Die vorliegenden Messungen bestätigen die Aussage, in der festgestellt wurde, daß Massenbewegungen von 1 000 t bis nahe an den Ring eine Senkung bzw. Hebung des Fundamentes von etwa 2 mm hervorrufen werden. Die Verschiebung großer Teile der Abschirmwand wird also ein Nachjustieren des Ringträgers erforderlich machen.

Die Vermessung der Bewegung der auskragenden Decke im Targetbereich während Erhöhung des Gegengewichtszuges im Innern des Ringes von 400 auf 700 t ergab, daß keine Bewegung der auskragenden Decke festgestellt werden konnte. Die Meßgenauigkeit war dabei in der Größenordnung von 0,1 mm.

2. Vakuumkammer:

Es wurden Versuche mit Keramik-, Glas- und Quarzkammern gemacht. Bei allen diesen Formen zeigte sich, daß die erforderlichen Toleranzen von $\pm 0,5$ mm in der Höhe auf eine Länge von 4 m von der Herstellerseite aus nicht eingehalten werden konnten. Eine Sinterquarzkammer machte zunächst einen hoffnungsvollen Eindruck; aber auch diese Form mußte wegen der außerordentlichen Schwierigkeit der Herstellung wieder verlassen werden. Versuche, die Kammer aus einem Kupferrohr mit dem richtigen Kammerprofil herzustellen und dieses Kupferrohr bei 950°C . zu oxidieren, so daß das ganze Kupferblech zu Kupferoxyd, bzw. Kupferoxydol umgewandelt wurde, hatten großen Erfolg und die Bestrahlung eines derart hergestellten Kammerstückes im Linearbeschleuniger zeigten, daß das Oxyd nicht wieder zu Kupfer reduziert wurde. Aber auch dieses Projekt scheiterte an der Schwierigkeit der Herstellung langer Stücke. Es war trotz mehrfacher Diskussion mit verschiedensten Herstellern nicht möglich, ein Verfahren zu finden, nach dem der Kupferrohling während des Oxydationsprozesses seine Form im Bereiche der erforderlichen Toleranzen beibehält. Schließlich wurden Modellstücke des Kammerprofils, aus V2A- oder Aluminiumdraht gewickelt, hergestellt. Der Draht wurde mit Aluminiumoxyd "in der Flamme" gespritzt, so daß der Zwischenraum von Windung zu Windung fast ganz dicht ausgefüllt wurde und trotzdem keine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Windungen bestand. Um die erforderliche Steifigkeit der Kammer zu erreichen, wurde diese Herstellungsform dann mit aralditgetränkten Glasfasermatten umklebt. Vermessungen dieser Ausführungsform im Magneten zeigten, daß mit Drahtstärken von etwa 2 mm keine Störfelder auftreten, die größer als die Toleranzen des n-Feldes sind. Die Kammer kann in dieser

Form hergestellt werden, jedoch werden noch weitere Versuche mit einer aus Titandraht, bzw. Titanband gewickelten Kammer gemacht. Wie Versuche zeigten, kann man in diesem Falle die Windungsspalten mit Glaslot verschmelzen. Die Bindung des Glaslotes ist dann besonders gut, wenn der Titandraht wiederum mit Aluminiumoxyd bespritzt wurde. Bei dieser Ausführungsform besteht die ganze Kammerwand aus Materialien, deren Strahlungsanfälligkeit sehr gering ist. Weitere Versuche sollen ergeben, ob eine aus Titanband gewickelte Kammer die beste Ausführungsform ist, wie wir zur Zeit glauben.



Hamburg, den 20. Dezember 1961

M 8

Arbeitsbericht der Gruppe M 8

vorgetragen in der Sitzung des Wissenschaftlichen Rates am

15. 12. 1961

Unsere Gruppe befaßt sich mit den Vorbereitungen zur Strahlführung für die Experimente. Wir versuchen, die Methoden und die allgemeine Ausrüstung zu erstellen, die für die Herstellung, Führung und Messung von Teilchenstrahlen erforderlich sind. Dazu gehört:

- 1.) die Ausarbeitung von Mechanismen, die den Strahl im Synchrotron auf ein Target lenken oder ein Target in den Strahl hineinbewegen;
- 2.) die Herstellung von Vakuumrohren, Kollimatoren und Reinigungsmagneten zur Führung der erzeugten Gamma-Strahlen. Die gleichen Bauteile werden auch für geladene Teilchenstrahlen benötigt;
- 3.) der Bau von Meßinstrumenten zur Ausmessung der Gamma-Strahlen, insbesondere eines Paarspektrometers zur Messung des Gamma-Spektrums und mehrerer Quantameter zur Messung der Gesamtintensität;
- 4.) die Vorbereitung eines Ejektions-Verfahrens, das es ermöglicht, den Elektronenstrahl - zeitlich verteilt über eine große Zahl von Umläufen - aus dem Synchrotron hinauszuholen;
- 5.) die Entwicklung und der Bau von Quadrupolmagneten zur Fokussierung geladener Teilchenstrahlen und von Ablenkmagneten zur Impulsanalyse;
- 6.) die Entwicklung einer übersichtlichen Methode zur Untersuchung der optischen Eigenschaften von Strahlführungs-Systemen, die aus Quadrupollinsen, Ablenkmagneten und Teilchenseparatoren zusammengesetzt sind. Wir benutzen dazu ein Analogrechenverfahren;

7.) der Bau eines Standardsystems von Zählern, welches für das routinemäßige Ausmessen und Justieren von Teilchen-Strahlen bereitgestellt wird.

Diese Aufstellung ist nicht vollständig. Die einzelnen Aufgaben greifen ineinander über und gewinnen detailliertere Gestalt in dem Maße, wie wir uns von den verschiedenen Seiten an sie heranarbeiten.

Die Arbeiten für die Ejektion, für die Strahlführungsmagnete und für die strahloptischen Untersuchungen sind am weitesten fortgeschritten, weil sie den größten Aufwand erfordern. Hier soll daher nur auf diese Aufgaben etwas näher eingegangen werden.

Mit der Ejektion befaßt sich seit ein paar Jahren Herr Brasse, der seit einem Jahr bei CEA ist und dort an dem Ejektions-System arbeitet. Er kommt Anfang Januar 1962 zurück, und wir hoffen, daß er dann zusammen mit einem weiteren Mitarbeiter hier mit den technischen Vorbereitungen für unser Ejektions-System beginnen kann.

Das Ejektionsverfahren besteht im wesentlichen darin, daß an einer Stelle in das Synchrotron ein nichtlineares Störfeld eingeführt wird, welches durch eine am Rande der Vakuumkammer montierte stromdurchflossene Schiene erzeugt wird. Mittels zweier zusätzlicher Ablenkfelder wird der Strahl gegen Ende des Beschleunigungsvorganges in den Bereich dieses nichtlinearen Feldes hineingeschoben. Dadurch verschiebt sich die Betatronfrequenz auf eine halbzahlige Resonanz und die Amplituden der Betatronschwingungen wachsen so stark an, daß die Teilchen eine große Chance haben, von einem Umlauf zum nächsten über die Stromschiene hinwegzuschreiten. Außerhalb der Stromschiene finden sie ein umgekehrtes Feld vor, das ihre Richtung so stark ändert, daß sie aus der Akzeptanz des Synchrotrons herauslaufen und mit Hilfe eines weiteren Ablenkmagneten aus dem Beschleuniger herausgeholt werden können. Numerische Rechnungen lassen erwarten, daß man auf diese Weise 30 bis 50 % des Strahles bei guter Strahldefinition ejizieren kann.

Die Entwicklung der Quadrupolmagnete hat zu einem Typ geführt, der sich von dem Quadrupol üblicher Bauart im wesentlichen in zwei Punkten unterscheidet:

- 1.) Von der Linsenöffnung wird nicht nur ein kreisförmiger Querschnitt ausgenutzt, sondern ein kreuzförmig erweiterter Querschnitt (s. Abb.). In einem stark fokussierenden System ist der Strahlquerschnitt im Innern der Linsen im allgemeinen nicht kreisförmig, sondern entweder breit und flach oder schmal und hoch. Der von uns vorgeschlagene Querschnitt ist dieser Tatsache besser angepaßt als der kreisförmige Querschnitt und führt daher zu einer wesentlich vergrößerten Akzeptanz bzw. Lichtstärke. Der Linsenquerschnitt wurde von Herrn Hultschig technisch so gestaltet, daß man eine hohe Feldgenauigkeit bis in die Ecken hinein erwarten kann.
- 2.) Die Endstreufelder, welche die Teilchen beim Ein- und Austritt passieren, wurden mittels einer bestimmten Polabrundung in Verbindung mit einer magnetischen Spiegelplatte so linear wie möglich gestaltet. Wir hoffen, die nichtlinearen Aberrationen damit weitgehend zu eliminieren.

Es sind zwei Standardlinsen-Typen von ca. 1 m Länge vorgesehen, die sich nur im Querschnitt unterscheiden. Die Öffnung der großen Linse schließt ein größtes Rechteck von $10 \times 40 \text{ cm}^2$ ein, während die Öffnung der kleinen Linse in ihren Abmessungen gut halb so groß ist. Von dem großen Typ sind jetzt 11 Linsen bei Oerlikon (Schweiz) bestellt worden und von dem kleinen Typ 11 Linsen bei ACEC (Belgien). Es ist vorgesehen, den kleinen Linsentyp auch mit 50 cm Länge herzustellen; Angebote dafür sind bereits angefordert.

An dem Analogrechner für strahloptische Untersuchungen arbeitet Herr Kern in Zusammenarbeit mit der Gruppe Krolzig. Der Rechner macht Teilchenbahnen und Strahlenveloppen auf einem Oszillographenschirm sichtbar. Er ist schon vor ca. einem Jahr betrieben worden, doch stellte sich heraus, daß die Rechengenauigkeit, die da-

mals ein paar Prozent betrug, für manche Zwecke nicht ausreichte; es wurde daher ein wesentlich verbessertes System entwickelt, das jetzt kurz vor seiner Fertigstellung steht. Damit hoffen wir, eine Rechengenauigkeit von der Größenordnung Promille zu erreichen, die voll ausreichen würde, um das lineare Verhalten von Strahlführungssystemen zu bestimmen.

Die Gruppe umfaßt zur Zeit sieben Physiker, die auf die genannten Aufgaben eingearbeitet sind und hat - wenn jetzt noch ein paar Ingenieure und Techniker hinzukommen - diejenige Größe erreicht, mit der wir glauben, der Gesamtaufgabe gerecht werden zu können. Wir hoffen, daß es gelingen wird, ein praktisches und zuverlässiges System von aufeinander abgestimmten Hilfsmitteln zu schaffen für alle Strahlführungs-Probleme, die bei den Experimenten auftreten werden.

Linsenquerschnitt (schematisch)

